



“ALGO ESTÁ CAMBIANDO”:

PROPUESTA DIDÁCTICA SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO BASADA EN

APRENDIZAJE POR INDAGACIÓN PARA 1º Y 3º DE ESO



SANDRA IBÁÑEZ FERNÁNDEZ



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

**Máster Universitario Formación del
Profesorado de Educación Secundaria,
Bachillerato, Formación Profesional y
Enseñanza de Idiomas. Especialidad
Biología y Geología**



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



UNIVERSIDAD DE GRANADA

**Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación
Secundaria, Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de
Idiomas. Especialidad Biología y Geología.**

Curso 2020-2021

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Autora: Sandra Ibáñez Fernández

Título: “Algo está cambiando”: Propuesta didáctica sobre cambio climático basada en aprendizaje por indagación para 1º y 3º de ESO

El/la autor/a	V.B. Tutor/a	V.B. Cotutor/a
Fdo: Sandra Ibáñez Fernández	Fdo: F. Javier Carrillo Rosúa	Fdo: Francisco J. Jiménez Espejo

Resumen

Hoy en día, el desarrollo de la competencia científica durante la etapa educativa se ha convertido en uno de los objetivos internacionales de mayor trascendencia. El uso de metodologías activas en el aula, como son la enseñanza de las ciencias basada en indagación (IBSE), la modelización y el uso de experimentación analógica, constituye un recurso eficaz para favorecer tanto el desarrollo de esta competencia como el conocimiento de la naturaleza de la ciencia (epistemología). Se presenta una propuesta didáctica fundamentada en las estrategias anteriormente mencionadas y destinada a la materia de Biología y Geología de los cursos 1º y 3º de Educación Secundaria Obligatoria. Esta consta de 12 actividades que versan acerca del tópico del cambio climático y otros contenidos relacionados con el mismo presentes en el currículo establecido en la legislación para estos niveles. Asimismo, se ofrece una propuesta de evaluación y de medidas para la atención a la diversidad.

Palabras clave: competencia científica, epistemología, indagación, modelización, cambio climático.

Abstract

Nowadays, scientific competency development in the different educational stages is one of the greatest international aims. The use of active learning methodologies in the classroom, such as the Inquiry based on Science Education approach (IBSE), the modelling and the use of analogue experiments, represents an effective resource to support both the development of this competence and the knowledge about the nature of science (that is, epistemology). We present a didactic project based on the strategies previously mentioned and aimed at the subject of Biology and Geology for the first and third year of Secondary Education. The project consists of twelve activities dealing with the climate change topic and other related contents which can be found in the legislation for these levels. Additionally, an assessment design and attention to diversity measures are provided.

Keywords: scientific competency, epistemology, inquiry, modelling, climate change.

*“Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo,
involúcrame y lo aprendo”*

Benjamin Franklin

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
MARCO TEÓRICO.....	3
Competencia científica en el marco PISA.....	4
Enseñanza de las ciencias basada en indagación (IBSE).....	9
Modelización y experimentación analógica en la enseñanza de las ciencias.....	13
MARCO CURRICULAR.....	18
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EDUCATIVA	21
Actividad 1. ¿Qué está pasando en la Antártida?.....	22
Descripción de la actividad.....	22
Fundamentación de la actividad.....	25
Actividad 2. Busquemos pruebas.....	29
Actividad 3. ¡Esto hay que comprobarlo!.....	31
Actividad 4. Estas son nuestras conclusiones.....	34
Actividad 5. ¿Y el Polo Norte?	35
Actividad 6. ¡Rompe el hielo!.....	38
Actividad 7. Publicamos nuestro artículo científico.....	41
Actividad 8. Una gota de agua que viaja por todo el planeta.....	43
Actividad 9. Océano y atmósfera van de la mano.....	47
Actividad 10. El océano en un cubo.....	49
Actividad 11. ¡Echa un vistazo a nuestra web!.....	53
Actividad 12. ¿Y hemos trabajado como verdaderos/as científicos y científicas?.....	54
ATENCIÓN A LA DIVERSIDAD.....	56
EVALUACIÓN.....	57
CONSIDERACIONES FINALES.....	60
REFERENCIAS.....	63
ANEXOS.....	68
Anexo A. Datos relacionados con el marco curricular.....	68
Tabla A1. Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables.....	68
Tabla A2. Competencias básicas desarrolladas por la presente	

“ALGO ESTÁ CAMBIANDO”: PROPUESTA DE INDAGACIÓN PARA 1º Y 3º DE ESO

propuesta didáctica.....	70
Tabla A3. Objetivos de la asignatura de Biología y Geología.....	71
Anexo B. Transposición curricular de la secuencia didáctica.....	72
Anexo C. Listado de recursos web para Actividad 2.....	73
Anexo D. Fundamentación de las Actividades 2 – 12.....	74
Anexo E. Mapas conceptuales de “Atmósfera”, “Efecto invernadero”, “Destrucción capa de ozono” y “Cambio climático”.	87
Anexo F. Procedimiento experimental “Efecto invernadero” de la Actividad 3.....	91
Anexo G. Procedimiento experimental “Deshielo polar” de la Actividad 6.....	94
Anexo H. Material necesario para la realización de la Actividad 8.....	97
Anexo I. Propuesta práctica sobre el fenómeno de exclusión de la salmuera Basada en el diseño de Villaroel y Zuazagoitia (2016).....	99
Anexo J. Material necesario para la Actividad 10.....	100
Anexo K. Rúbricas de evaluación.....	106
Rúbrica de evaluación de la Competencia Científica.....	106
Rúbrica de evaluación del trabajo de Indagación.	107

1. Introducción

Hoy en día, nuestra sociedad está fuertemente influenciada por la ciencia y la tecnología, por lo que adquiere gran importancia la necesidad de formar personas responsables y críticas capaces de tomar decisiones fundamentadas sobre cuestiones socio-científicas. Es por esto por lo que la alfabetización científica representa uno de los objetivos internacionales más importantes para enfrentarse a los grandes problemas de la humanidad (OECD, 2016). Por tanto, es completamente necesaria una transformación a nivel educativo que introduzca metodologías que favorezcan el desarrollo de una adecuada competencia científica (Romero-Ariza, 2017).

El Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA) sustenta esta alfabetización científica en cuatro dimensiones: contexto, conocimiento, competencias y actitudes. Es de resaltar que dentro de la segunda dimensión, no solo se hace referencia al conocimiento de contenidos y conceptos científicos, sino también al de los procesos que se utilizan en ciencia para producir este conocimiento (conocimiento procedimental) y a los mecanismos sobre los que se apoya y valida dicho conocimiento (conocimiento epistémico). El desarrollo de estos tres tipos de conocimiento, la adquisición de ciertas subcompetencias y la preocupación por cuestiones científicas y medioambientales hará posible la aplicación de la competencia científica a nivel de diferentes contextos (personal, local/nacional o global).

El aprendizaje por indagación (IBSE) se presenta como una efectiva metodología didáctica para la enseñanza de las ciencias y el desarrollo de la competencia científica. Está basada en la promoción de habilidades de investigación y en la adquisición de nuevo conocimiento a través de la búsqueda de respuestas a problemas científicos planteados en el aula. Además, dota al alumnado de un papel más activo en el propio proceso de aprendizaje y favorece un aumento de la motivación y el interés por la práctica científica (Bevins y Price, 2016). Una buena aproximación de esta metodología es aquella que está enfocada a la modelización (Couso, 2014) y que otorga un papel principal a la construcción de modelos científicos explicativos, a los procesos de argumentación, a la reflexión y los aspectos epistémicos de la ciencia, al uso de modelos analógicos o trabajos prácticos y al razonamiento y explicación de las pruebas.

Este Trabajo Fin de Máster (TFM) incluye una propuesta didáctica que se fundamenta en la necesidad de contribuir a atajar un problema global, como es el cambio climático, actuando a nivel de la formación del alumnado en cuanto a competencia científica mediante el uso de estas metodologías activas, innovadoras y contextualizadas. Consta de una secuencia de actividades contextualizada mediante un hilo conductor y basada en procesos de indagación y modelización acerca de contenidos relacionados con este tópico y presentes en el currículo correspondiente a

la asignatura de Biología y Geología en los niveles de 1º y 3º de ESO según lo establecido en el Real Decreto 1105/2014 (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015a). Asimismo, se da una especial importancia al desarrollo de la dimensión epistémica del conocimiento de la ciencia finalizando la secuencia con un proceso meta-cognitivo sobre lo trabajado. Consistirá en una reflexión sobre la forma en la que el alumnado ha construido su conocimiento y lo ha validado, destacando así su similitud con el trabajo realizado por la comunidad científica y acercándonos a esta mediante el contacto directo con un investigador real.

Una vez establecidos los objetivos de nuestro trabajo, se ofrece un marco teórico que recoge el enfoque de la competencia científica en el marco PISA y el uso de la metodología ISBE como aproximación para favorecer el desarrollo de esta competencia, haciendo hincapié en su dimensión epistemológica. Además, se puntualiza el uso de la modelización y la experimentación analógica para la enseñanza de las ciencias. Seguidamente, se detalla el marco curricular sobre el que se desarrolla la propuesta y se da comienzo a la descripción de la secuencia de actividades. Finalmente, se desarrolla una propuesta de evaluación y unas consideraciones finales.

2. Objetivos

Los objetivos que se pretenden alcanzar en el presente Trabajo Fin de Máster son los siguientes:

- Llevar a cabo una revisión teórica y posterior síntesis sobre el desarrollo de la competencia científica en el marco PISA, la enseñanza de las ciencias basada en la indagación y el uso de modelización y analogías en la clase de ciencias.
- Diseñar una propuesta didáctica fundamentada en la enseñanza por indagación que trabaje el tópico del cambio climático desde una perspectiva centrada en el desarrollo de la competencia científica y del conocimiento epistémico y el uso de modelos y analogías.

3. Marco teórico

Actualmente, el cambio climático es una de las amenazas ambientales más importantes a las que nos enfrentamos de manera global. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (1992) lo define como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (p. 3). Naturalmente, la variabilidad climática está condicionada por la radiación solar, la órbita terrestre, las corrientes oceánicas, los cambios en la posición de los continentes y la composición de la atmósfera. Todos estos factores mantienen un equilibrio energético estable y su rotura tiene como consecuencia cambios climáticos. Y es esto, de hecho, lo que está ocurriendo desde

mediados del siglo pasado debido, principalmente, a la influencia de la actividad humana sobre la composición de la atmósfera.

Por un lado, la concentración de gases de efecto invernadero procedentes de la quema de combustibles fósiles y otras actividades humanas, y por otro, la destrucción de los principales reservorios de carbono del planeta que actúan como sumideros de este elemento, confluyen en una potenciación del efecto invernadero perjudicial para el planeta; estos gases se encuentran en la atmósfera de manera natural y permiten que cierta cantidad de radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre al calentarse quede atrapada por la atmósfera y no sea liberada al espacio exterior, manteniéndose así una temperatura relativamente constante que hace posible la vida en La Tierra; sin embargo, el aumento de la concentración de estos gases en la atmósfera conduce a una mayor retención de radiación terrestre y, por consiguiente, un calentamiento del planeta. Algunas de las consecuencias más inmediatas de este aumento de la temperatura media global son la disminución de la superficie terrestre cubierta por nieve o hielo, reducción del tiempo que algunos lagos o ríos permanecen congelados, calentamiento del mar que contribuye a la descongelación de los glaciares y casquetes polares, aumento del nivel medio del mar y cambios en patrones de precipitación, velocidad de los vientos, nubosidad e intensidad de eventos climáticos extremos, por ejemplo, sequías e inundaciones.

Según Fernández (2013), el cambio climático es un problema que afecta y afectará a todos los sistemas biológicos del planeta, incluyendo a toda la humanidad sin distinción por nivel de desarrollo económico ni posición geográfica (aunque las regiones más vulnerables serían aquellas que se encuentran en vías de desarrollo en la zona tropical). Ya se observan, de hecho, cambios en los sistemas biológicos marinos y de agua dulce (causados por cambios de temperatura, salinidad o nivel de oxígeno), en los sistemas agrícolas y forestales (causados por plagas e incendios) o en los sistemas biológicos terrestres (afectación del ciclo de vida de plantas y animales o la migración de aves). Por lo que este problema constituye una amenaza grave a muchos ecosistemas y propicia desequilibrios en gran cantidad de nichos ecológicos.

La oportunidad de poder frenar todos estos mecanismos y revertir, en la medida de lo posible, todo el deterioro causado, se sustenta en gran parte en la existencia de una educación más eficaz sobre el tema para conseguir la implicación de todos los miembros de la sociedad desde edades tempranas. Formar personas críticas con el desarrollo de la sociedad y seguidores de un progreso más sostenible es uno de los principales retos de la educación (Barron *et al.*, 2010). Tal y como exponen Barron *et al.* (2010), esta sostenibilización no se respalda solo en la inclusión de contenidos ambientales en el currículo, sino también en otros cambios del proceso educativo como la sustitución de su visión estática y fragmentada de la realidad por una más

compleja y dinámica, el refuerzo de la flexibilidad y permeabilidad entre materias mediante el trabajo interdisciplinar, la mejora de la contextualización y funcionalidad de la enseñanza, el aumento de la coherencia entre la teoría y la práctica y la adopción de una epistemología constructivista y una concepción integral de la educación.

A esto hay que añadir que los contenidos sobre cambio climático que aparecen en el currículo en cualquiera de los niveles educativos, aunque hayan sido aumentados en las últimas décadas, siguen siendo contenidos que se imparten de manera ineficaz, con un modelo de aprendizaje pasivo que, la mayoría de las veces, no surte ningún efecto en el alumnado. Para poder llevar a cabo un cambio social desde la educación, es necesario incentivar el pensamiento crítico e independiente del estudiantado, para que desarrollen una capacidad de comprensión más coherente sobre la realidad (Gaudiano, 2007). Asimismo, es recomendable situar este problema en una escala humana, al nivel de nuestra vida cotidiana, haciendo que el alumnado se sienta parte de las causas y, a la vez, de las soluciones del mismo, pudiendo pensar y actuar para contribuir a su remedio (Cartea, 2011).

3.1. Competencia científica en el marco PISA.

Las cualidades deseables en una humanidad desarrollada y sostenible descritas en el fragmento anterior pueden alcanzarse potenciando en las aulas la adquisición de una buena competencia científica. El Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA), desarrollado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), se ocupa de analizar la eficacia de la transmisión de competencias y destrezas clave durante la última etapa de la educación obligatoria para la incorporación de este alumnado a la sociedad. Este programa lleva a cabo una evaluación realizada en diferentes países y grupos demográficos y centrada en las asignaturas de ciencia, lectura y matemáticas. PISA no solo evalúa las competencias y destrezas, también la futura aplicación de los mismos en otras situaciones de la vida del alumnado (OECD, 2016).

Como ya se ha mencionado, una de las áreas centrales analizadas en este programa de evaluación es la de ciencias y el estudio PISA 2015 estuvo centrado precisamente en esta disciplina. Usualmente, la enseñanza de las ciencias se basa en la transmisión de teorías y leyes por parte de un/a docente las cuales el alumnado debe posteriormente reproducir, en lugar de dotar a los/las escolares de conocimientos más relacionados con la investigación en ciencia y la naturaleza de la misma. Sin embargo, el mundo en el que vivimos está rodeado de tecnología basada en ciencia y para participar en él es primordial que todas las personas presenten una buena

comprensión de este campo (OECD, 2016). El marco PISA 2015 define la competencia científica de la siguiente manera:

Habilidad para interactuar con cuestiones relacionadas con la ciencia y con las ideas de la ciencia, como un ciudadano reflexivo. Una persona con conocimientos científicos está dispuesta a participar en un discurso razonado sobre ciencia y tecnología, lo cual requiere que las competencias expliquen fenómenos científicamente, evalúen y diseñen la investigación científica, e interpreten datos y pruebas científicamente. (OECD, 2016, p. 24)

De esta definición se deduce que un alumno o alumna competente científicamente debe poseer tres subcompetencias fundamentales: capacidad para explicar fenómenos científicamente, lo que requiere conocer las ideas básicas de la ciencia (**conocimiento del contenido**), habilidad para evaluar y diseñar la investigación científica, identificando problemas que puedan ser probados científicamente y eligiendo los procedimientos adecuados para llevar a cabo su investigación y, por último, la capacidad para interpretar datos y pruebas científicas, decidiendo si las conclusiones obtenidas son fiables. Estas dos últimas habilidades se engloban en el **conocimiento procedimental**. Además de estos dos tipos de conocimiento, la competencia científica es completada con un tercero que se encarga de analizar cómo se adquiere el conocimiento científico y como se justifica su validez. Este es el **conocimiento epistémico**, del que hablaremos en profundidad más adelante.

Las destrezas necesarias para desarrollar cada una de estas **subcompetencias** son:

1. Explicar fenómenos científicamente: los y las estudiantes deben recordar y saber aplicar el conocimiento científico del que disponen de forma apropiada, generar modelos y representaciones explicativas y saber utilizarlas, hacer predicciones apropiadas y argumentadas, elaborar hipótesis explicativas e informar sobre las implicaciones del conocimiento científico.

2. Evaluar y diseñar la investigación científica: el alumnado debe saber identificar el tema principal en un estudio científico, hacerse preguntas para una posterior experimentación, proponer formas de indagar científicamente en el tema, evaluar estas formas de investigar y describir los procedimientos que usan los científicos y científicas para garantizar una fiabilidad de los datos obtenidos.

3. Interpretar datos y pruebas científicamente: el estudiantado debe saber analizar datos y sacar conclusiones de ellos, exponerlos en diferentes representaciones, diferenciar argumentos basados en pruebas científicas de aquellos que no lo están y evaluar argumentos y pruebas científicas de distintas fuentes (revistas, internet, medios de comunicación, etc.).

La definición de competencia científica recoge, por tanto, el conocimiento de los conceptos y teorías principales de la ciencia así como el conocimiento de los procedimientos propios de la investigación científica que permiten su progreso y la justificación del uso de los

mismos para obtener resultados válidos y fiables. El objetivo de desarrollar estas habilidades es el de formar ciudadanos capaces de tomar parte en las importantes decisiones que afectan a su entorno (local o global) al disponer de una capacidad crítica y conciencia científica que les permita comprender las implicaciones sociales de cualquier problema científico, social, político o ético que se presente en sus vidas (OECD, 2016). En definitiva, crear individuos capaces de intervenir activamente en debates controvertidos de índole socio-científica, ya que podrán valorar los riesgos y beneficios de las cuestiones científicas o tecnológicas que puedan aparecer en nuestra sociedad (Romero-Ariza, 2017). De este modo, cuando estos individuos en el futuro topen con información sobre hechos trascendentales, como podría ser la evolución del cambio climático, a través de los medios de comunicación y fuentes similares, presenten una actitud reflexiva y pensativa frente a los datos que se les expondrán para que puedan evaluarla de forma fiable y válida (Romero-Ariza, 2017).

Para la evaluación de la competencia científica, el programa PISA no solo tiene en cuenta las competencias o capacidades y los conocimientos expuestos anteriormente, también evalúa los **contextos** de aplicación (personal, local/nacional y global, tanto actuales como históricos) y las **actitudes** que indican el interés hacia la ciencia y la tecnología. La interrelación entre estos cuatro aspectos se resume en la Figura 1.

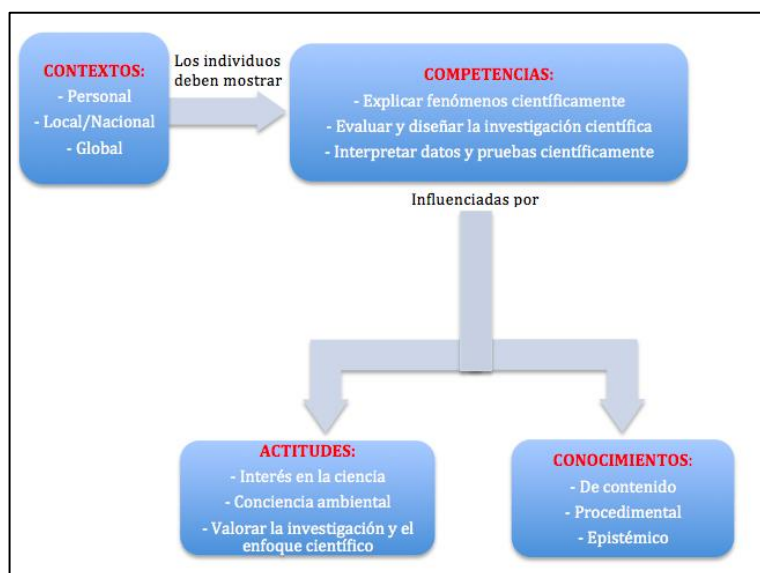


Figura 1. Interrelación entre los cuatro aspectos que conforman la competencia científica. Adaptado de OCDE, 2016, p. 27.

Como ya se mencionó anteriormente, en este marco de la competencia científica es imprescindible resaltar la dimensión **epistémica** o enseñanza de la naturaleza del conocimiento científico. Esta es definida por el proyecto PISA como “la comprensión de los fundamentos de

las prácticas comunes de la investigación científica, el estado de las afirmaciones de conocimiento que se generan y el significado de los términos fundamentales, como teoría, hipótesis y datos” (OECD, 2016). Gracias a la adquisición de este conocimiento, el alumnado es capaz, entre otras muchas cosas, de comprender la diferencia entre teorías e hipótesis, hechos y observaciones, valorar el uso de modelos como aproximaciones de la realidad, manejar adecuadamente un vocabulario científico que presenta otras acepciones en el lenguaje cotidiano y explicar la necesidad de realizar acciones como el control de variables o la replicación de mediciones para que el resultado de un experimento científico sea sólido. Es adecuado mencionar, por tanto, que la enseñanza de la naturaleza del conocimiento científico y tecnológico supone una necesidad básica para desarrollar una alfabetización en ciencias y una competencia científica adecuada (Vázquez y Manassero, 2017).

Según la OCDE (2016), la ciencia y el conocimiento científico presentan una serie de características cuya comprensión solo es posible englobar en esta dimensión epistémica y que, además, solo puede ser evaluada de forma práctica comprobando si el alumnado es capaz de entender y aplicar todas estas particularidades. Algunas de estas características son las siguientes: la definición de la ciencia por la naturaleza de las observaciones científicas, hechos, hipótesis, modelos y teorías; su objetivo es dar explicaciones de cuestiones relacionadas con la naturaleza; algunos de sus valores son la objetividad, la eliminación del sesgo y el compromiso con la publicación; por último, su razonamiento puede ser deductivo, inductivo, de inferencia a la mejor explicación, analógico, basado en modelos, etc. Asimismo, esta dimensión también engloba el hecho de que el conocimiento científico siempre se justifica apoyándose en datos y razonamientos, usa diferentes tipos de investigación que pretenden probar hipótesis o buscar patrones con diseños que engloban una observación, experimentos controlados y estudios de correlación, siempre tiene en cuenta el efecto del error de medición a la hora de presentar la fiabilidad del conocimiento generado, utiliza la física, el sistema y los modelos abstractos, considerando sus limitaciones, en él, la cooperación, la crítica y la revisión por pares juegan un rol muy importante a la hora de concederle confianza y, por último, que estas aportaciones científicas son tenidas en cuenta para identificar problemas sociales y tecnológicos.

En el marco PISA, el conocimiento epistémico consta de tres aspectos fundamentales: reconocer que el conocimiento científico cambia, considerar que este conocimiento se basa siempre en pruebas empíricas y valorar el pensamiento crítico como la forma de dar validez a las ideas (Vázquez y Manassero, 2018). Tal y como Vázquez y Manassero (2012) exponen, la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (y también de la tecnología) debe ser un andamiaje que dote de coherencia la enseñanza de las ciencias en las aulas. Consecuentemente, la educación

científica debe potenciar un aprendizaje que no esté basado en verdades absolutas y/o terminadas, no propiciar un estudio memorístico, favorecer el pensamiento crítico y no diseñar actividades de experimentación consistentes en seguir simplemente un guion. Es significativo resaltar que los resultados obtenidos en PISA 2015 demuestran la existencia de un mayor rendimiento en ciencias en aquel alumnado que muestra una mejor comprensión del conocimiento epistémico (Vázquez y Manassero, 2018).

Cabe destacar la importancia de diferenciar el conocimiento epistémico de los procesos de indagación, de los que se hablará en el próximo apartado, puesto que a veces estos dos términos son tomados como sinónimos. Mientras que la indagación permite saber aplicar las destrezas básicas que utilizan los científicos y científicas (observación, emisión de hipótesis, interpretación de datos, etc.), el conocimiento de la naturaleza de la ciencia consiste en conocer las características y propiedades de estas destrezas o procedimientos (lo que es diferente a simplemente saber aplicarlos), tal y como aclaran Vázquez y Manassero (2012). El conocimiento epistémico se eleva, por tanto, a un nivel meta-cognitivo. No obstante, la enseñanza basada en indagación puede favorecer una mejor comprensión de la dimensión epistémica de la ciencia, como muestran los resultados del proyecto PISA 2015 (Vázquez y Manassero, 2018).

Una última ventaja del desarrollo del conocimiento epistémico en las aulas es que presenta la posibilidad de corregir algunas concepciones erróneas o visiones deformadas de la ciencia que pueden ser encontradas entre el alumnado y, a veces, entre el profesorado, como lo son la visión descontextualizada de la ciencia, una concepción individualista y elitista, una visión rígida e infalible, aporética y ahistórica, una concepción ateórica de la misma y una descripción de la ciencia como analítica, acumulativa y de crecimiento lineal (Fernández *et al.*, 2002).

Para terminar, es de resaltar que el desconocimiento de la naturaleza de la ciencia y de los mecanismos sobre los que se apoya para producir y validar el conocimiento fomenta la aparición de actitudes negacionistas frente a la existencia de un cambio climático de origen antropogénico. Es propio de estos movimientos negar el valor de los datos y considerar que los resultados y conclusiones obtenidos por la ciencia son banales (Capstick y Pidgeon, 2014). Sin embargo, el aprendizaje sobre la forma en la que se hace ciencia, el rigor de los métodos en ciencia, la obtención de datos siempre basados en pruebas y la comprensión de los procesos de modificación del conocimiento científico y consideración de explicaciones alternativas hace que la sociedad pueda dar explicación a prácticas y formas de proceder que desconoce (y a veces, teme). Es un tema que, de hecho, está ocurriendo hoy en día en relación a la pandemia por COVID-19. El esfuerzo por potenciar el desarrollo de este conocimiento epistemológico en las

aulas (y eventualmente, en la sociedad) generará una mayor capacidad de participación de todas las personas en cuestiones científicas y sociales de interés, lo que se traducirá en un beneficio a todos los niveles.

3.2. Enseñanza de las ciencias basada en la indagación (IBSE).

Actualmente, siguiendo lo que afirman Prince y Felder (2007) probablemente la mayoría de los y las docentes de ciencias enseñan de una manera deductiva, esto es, comenzando con la explicación de los contenidos teóricos relevantes y posteriormente, aunque no siempre, conectando esta explicación con alguna aplicación en el mundo real. Sin embargo, esta falta de contextualización con la realidad contribuye a que el estudiantado termine perdiendo el interés y abandonando las ciencias (Seymour y Hewitt., 1997). La apuesta por un método en parte inductivo, como es el aprendizaje por indagación, se basa por tanto en la necesidad de aumentar el nivel de motivación del alumnado a la vez que se acerca al mismo a una experiencia de trabajo en ciencia lo más similar a la realidad posible.

La enseñanza de las ciencias basada en la indagación (IBSE, siglas por su denominación en inglés *Inquiry Based Science Education*), también conocida como aprendizaje por indagación (IBL, siglas por su denominación en inglés *Inquiry Based Learning*), es una estrategia pedagógica considerada idónea para la enseñanza de las ciencias y potencialmente útil para la formación de personas observadoras, críticas, analíticas y con capacidad para entender cuestiones socio-científicas, como es el tema que nos ocupa en este trabajo. Aunque existen importantes precedentes, su gran arranque como metodología eficaz y aplicada en las aulas se puede situar en la publicación en Estados Unidos de las Normas Nacionales para la Enseñanza de las ciencias por parte del *National Research Council* (NRC) en el año 2000; más tarde comenzó su expansión en Europa tras ser tratada en el informe *Science Education Now: a Renewed Pedagogy for the Future of Europe* (Rocard, 2007) como una práctica prometedora e innovadora capaz de producir un cambio radical en el interés de los y las adolescentes por las ciencias.

El diccionario de la Real Academia Española define *indagar* como la acción de intentar averiguar algo discurriendo o con preguntas. De esta manera, la indagación, como metodología innovadora, consiste en conseguir que el alumnado trabaje con algunas estrategias similares y adaptadas a su realidad a como lo hacen los científicos y científicas cuando realizan investigación en ciencia (Walker 2007); es decir, trabajar en el aula las habilidades necesarias para diagnosticar un problema, buscar información sobre el mismo, planear investigaciones, realizar experimentos, obtener datos, descubrir alternativas, construir modelos, debatir con iguales y elaborar argumentos coherentes (Rocard, 2007).

La metodología basada en indagación permite que el alumnado sea capaz de aprender cómo se obtiene el conocimiento científico y así, poder aplicar en sus vidas estas habilidades asimiladas (Walker, 2007). Dicho de otra manera, con la metodología IBSE se persigue que, al no ser posible enseñar en el aula todos los conocimientos científicos que son útiles para el progreso de la vida, el estudiantado al menos desarrolle en su lugar un espíritu crítico y aprenda a dar sentido por sí mismo a situaciones que se le puedan presentar en su futuro, tanto en cuestiones de salud como laborales, o a decisiones políticas o sociales importantes (Linn y Davis, 2004), como es el cambio climático. Caamaño (2012, citado en Rosa, 2019) define una actividad indagatoria como:

Actividades diseñadas para dar a los estudiantes la oportunidad de trabajar de un modo que tiene similitudes con el utilizado por los científicos en la resolución de problemas, de familiarizarse con el trabajo científico y de adquirir una comprensión procedimental de la ciencia, al utilizar las destrezas y los procedimientos propios de la indagación científica en un marco escolar. (p. 198)

Esta forma de enseñar consigue que el alumnado desarrolle competencias como la capacidad de observación de manera crítica, de analizar datos e interpretarlos, de obtener hipótesis y/o conclusiones acerca de esos datos, de trabajar en equipo y debatir sus resultados y aceptar otros argumentos alternativos (Nudelman, 2015). Asimismo, como apuntan Kaberman y Dori (2009) la metodología IBSE favorece la comprensión de los contenidos enseñados en ciencias, desarrolla el pensamiento crítico y promueve el aprendizaje autónomo. Además, se ha demostrado que la enseñanza basada en indagación presenta un efecto positivo en las notas obtenidas por el alumnado en ciencias (von Secker, 2002), que contribuye a aumentar la actitud positiva por esta asignatura y el interés por carreras de ciencias (Gibson y Chase, 2002) y que favorece una sólida alfabetización científica (Aguilera *et al.*, 2018), o lo que es lo mismo, el desarrollo de la competencia científica (Martín Páez *et al.*, 2019).

De la misma forma, la metodología IBSE es coherente con las teorías constructivistas. Así, los/las aprendices deben crear su propio entendimiento relacionándolo con sus ideas previas y aprendiendo de una manera activa (no solo escuchando al profesorado transmitir los conocimientos que considera importantes). Además, la aparición de nuevas ideas que no concuerden con las ya existentes en sus modelos mentales, crearán conflictos cognitivos cuyo cambio supondrá un acto de aprendizaje (Walker, 2007). En este escenario, el profesor/a debe favorecer procesos de andamiaje en el alumnado para que sea capaz de construir su propio conocimiento. Debe ser capaz de crear la situación de aprendizaje idónea, reconocer las contradicciones que existen en las percepciones previas de su estudiantado y ayudar a que los/las estudiantes se den cuenta de las mismas, además de infundir motivación y confianza. Es

importante no caer en el error de creer que el alumnado es el único “protagonista” de su aprendizaje indagativo, permitiendo que realicen las actividades sin la guía docente necesaria, ya que esto puede afectar a la calidad y cantidad del aprendizaje resultante (Couso, 2014); sino que el o la docente debe guiar la participación del alumnado, principalmente en las prácticas epistémicas (NRC, 2000), presentando un papel de “activador”. Todas estas características requieren una mayor formación del profesorado, tanto en el conocimiento científico y didáctico del contenido, como en la experimentación asociada al tema y en las prácticas epistémicas apropiadas (Couso, 2014).

Según el grado de implicación que se pretenda obtener del alumnado, la metodología IBSE puede aplicarse en el aula de maneras diferentes. La escala Schwab-Herron (Herron, 1971), sintetizada en la Tabla 1, establece cuatro niveles de indagación que se diferencian en la información del proceso de investigación (problema, metodología y resultados) que el profesor o profesora facilita a su alumnado en los ejercicios, a saber:

a) En el **nivel 0**, el/la docente plantea el problema y también proporciona las hipótesis de estudio, la experimentación que se llevará a cabo y las conclusiones o resultados que se obtendrán. Este es sin duda el método más alejado de la enseñanza basada en indagación pero puede ser un paso fundamental para trabajar de manera previa y familiarizar así al alumnado, sobre todo a los más jóvenes, con los métodos de la ciencia. b) En el **nivel 1**, el/la docente plantea el problema y facilita las hipótesis y experimentación, dejando que sea el estudiantado el que obtenga sus conclusiones a partir de los resultados hallados. c) En el **nivel 2**, el/la docente plantea el problema y las hipótesis, pero es el alumnado el que debe planificar su experimentación con el fin de obtener los resultados necesarios para contrastar las hipótesis. d) En el **nivel 3**, es el propio alumnado el que decide, dentro del contenido que se está tratando, sobre qué problema realizar su investigación y plantea sus hipótesis, experimentación y obtiene los resultados y conclusiones necesarios para corroborar o no sus suposiciones.

Tabla 1. *Escala Schwab-Herron sobre niveles de indagación en un trabajo de investigación.*

Nivel	Problema	Metodología	Resultados
0	Definido	Definido	Definido
1	Definido	Definido	Abierto
2	Definido	Abierto	Abierto
3	Abierto	Abierto	Abierto

La enseñanza tradicional y los libros de texto suelen trabajar con los niveles de indagación de grado 0 y 1. Con este trabajo se pretende plantear una propuesta didáctica cercana al nivel 4

de la escala Schwab-Herron, ya que el problema a indagar es sugerido por la profesora. El objetivo final será que el alumnado adquiriera las competencias mencionadas anteriormente.

Por otro lado, Bevins y Price (2016) describen la indagación como un modelo que se apoya en tres dimensiones interrelacionadas (de conocimientos, de procedimientos y motivacional o psicológica). Para estos autores, la indagación es posible gracias a la existencia de una motivación para averiguar y explorar hechos, junto con aquellos procedimientos que sean útiles para ello y el conjunto de conocimientos relevantes con respecto al fenómeno en cuestión.

Es importante mencionar que la indagación no consiste en el simple hecho de llevar a cabo experimentos. En ocasiones, el profesorado de ciencias lleva a cabo una práctica experimental para reforzar algunos de los conceptos teóricos trabajados; el alumnado lo único que debe hacer en este caso es seguir un guion de prácticas para obtener los resultados adecuados. Esto no es indagación científica y es primordial no confundirlo (Walker, 2007). Igualmente es muy común que se identifique la enseñanza por indagación con formas de enseñanza que ponen el énfasis en la “diversión” y en las que el alumnado está muy activo físicamente. Sin embargo, con este tipo sesiones lo que se potencia son partes de la metodología IBSE que se alejan de su dimensión epistémica e investigadora y que no dan lugar al involucramiento cognitivo necesario para realizar una verdadera actividad indagativa (Couso, 2014). Por último, también es necesario diferenciar la idea de que un hecho sea investigable (que se puedan buscar pruebas para responder a preguntas referentes a este hecho) con la indagación científica, que supone que las pruebas que responden a las preguntas surgidas estén relacionadas con ideas científicas clave (Couso, 2014). Es por esto por lo que esta metodología es altamente recomendable solo si es aplicada de una manera adecuada ya que, de otra forma, se estaría omitiendo la riqueza y la complejidad del quehacer científico (Bevins y Price, 2016). No obstante, pese a las dificultades que pueda suponer una aplicación óptima en el aula y a que ciertas mejoras de enseñanza indagativa son posibles, el aprendizaje por indagación supone un paso muy importante para la enculturación en las prácticas científicas (Couso, 2014). Asimismo, la orientación de esta indagación hacia la construcción paulatina de modelos que faciliten el entendimiento del conocimiento científico, como se verá en el siguiente apartado, la convierte en una metodología innovadora y eficaz para enseñar sobre ciencia, sobre cómo hacer ciencia y sobre cómo funciona la misma (López-Gay, Liso y Chico, 2015).

3.3. Modelización y experimentación analógica en la enseñanza de las ciencias.

Los modelos son considerados por una gran parte de la comunidad de didáctica de las ciencias, como un elemento clave en el proceso de enseñanza-aprendizaje de esta materia. El

término *modelo* presenta diversas acepciones, aunque la principal forma de definirlo por muchos/as autores/as es como una representación no literal de un fenómeno u objeto (Gilbert et al., 2000, citado por Oliva Martínez, 2019) la cual es aproximada o se encuentra incompleta, siendo así una representación simplificada (Concari, 2001, citado por Oliva-Martínez, 2019). Otros/as autores/as lo definen como un mediador entre el mundo y las teorías (Giere, 1999; Morrison y Morgan, 1999; Acevedo-Díaz et al., 2017, citados por Oliva-Martínez, 2019) que puede servir para responder preguntas sobre algún fenómeno sin necesidad de recurrir directamente al mismo (Minsky, 1965, citado por Oliva-Martínez, 2019). Tal y como sugiere Adúriz-Bravo (2012), el objetivo principal de un modelo es describir, explicar o predecir situaciones y hechos acerca de un fenómeno, en este caso, científico. Aunando todas estas características, una definición completa y reveladora del término modelo podría ser la sugerida por Schwarz y Gwekwerere (2007): “representaciones que abstraen y simplifican un sistema, que hacen explícitas y visibles sus características fundamentales y pueden ser usados para generar explicaciones y predicciones”.

Hoy en día, muchos autores/as están de acuerdo con un desarrollo de la enseñanza de las ciencias basado en el aprendizaje consecutivo de distintos modelos científicos clave que permitan que el alumnado pueda explicar diversos fenómenos y, sobre todo, les dote de un conocimiento conceptual que pueda ser transferido a nuevas situaciones en las que deban abordar diferentes cuestiones científicas (Garrido Espeja y Couso, 2017). Según expone Moreira (2002), un modelo conceptual científico es una representación de un sistema real que ha sido creada para comprender aquello que se observa y que es compartida por toda la comunidad científica; sin embargo, para entender este concepto se necesita hacer una representación mental del mismo, lo que se conoce como modelo mental, que puede ser una proposición formada por símbolos, un análogo estructural-funcional o una imagen. Estos modelos mentales son, internos, coherentes y funcionales para cada persona o estudiante. Ambos, modelos conceptuales y mentales, son similares en cuanto a su estructura pero no en cuanto a su apariencia.

Estos modelos conceptuales científicos considerados esenciales en la didáctica de las ciencias deben estar adaptados al contexto escolar y han de ser construidos por el propio alumnado de una manera progresiva y basada en un sistema de andamiaje, pudiendo ser apoyado este proceso por recursos externos como los modelos analógicos escolares (Harrison y Treagust, 2000), dibujos, maquetas, simulaciones o experimentos mentales (Oliva-Martínez, 2019). Estas versiones escolares de los modelos conceptuales son de naturaleza teórica, al ser entidades no lingüísticas que constituyen la “parte aplicativa de una teoría” (Adúriz-Bravo, 2012) y de naturaleza conceptual, al ser representaciones externas acordes a la ciencia y reconocidas y

creadas por la comunidad escolar para facilitar la comprensión de los fenómenos científicos (Moreira, 2002).

En base a lo anterior, podemos llamar modelización al proceso paulatino de construcción de modelos (Windschitl *et al.*, 2008) o, dicho de otro modo, al aprendizaje basado en el desarrollo y la evolución de los modelos mentales presentes en el alumnado hasta llegar a la construcción de modelos más complejos y cercanos a los propios del conocimiento científico (Márquez *et al.*, 2004). Es importante destacar que la modelización no solo implica la construcción de los modelos, sino también su uso para hacer predicciones o desarrollar explicaciones, su evaluación en base a las pruebas obtenidas y su revisión y posible mejora al recoger ideas nuevas (Schwarz *et al.*, 2009; Couso y Garrido, 2017). Tal y como exponen Márquez *et al.* (2004), esta progresión de los modelos del alumnado se orientará, dentro del marco de la indagación, gracias a la formulación de preguntas mediadoras. Estas ayudarán a que el estudiantado piense sobre cuestiones complejas referentes al fenómeno a investigar e indague para obtener respuestas que serán también de un mayor nivel de complejidad y que servirán para evaluar sus modelos iniciales y refinarlos. Esta progresión se basa en cambios parciales a corto plazo que se convierten en cambios radicales a largo plazo (Oliva-Martínez, 2019). Así, el uso de la modelización como metodología favorecería el paso de los modelos mentales más simples presentes en el alumnado, a unos modelos más sofisticados y complejos capaces de hacer mejores predicciones de los fenómenos.

La enseñanza de las ciencias basada en la evolución de modelos puede ejemplificarse mediante el ciclo de modelización propuesto por Garrido-Espeja (2016) y que se resume en las siguientes seis fases: 1. Presentar un fenómeno científico y plantear una pregunta guía que requiera de la elaboración de un modelo para contestarla; 2. Forzar la explicitación de los modelos previos del alumnado o la forma en la que usan los modelos preestablecidos para explicar el fenómeno (construcción); 3. Probar el modelo mediante la obtención de pruebas (evaluación). 4. Aportar nueva información procedente de expertos, simulaciones, discusión entre iguales, etc. (revisión). 5. Favorecer la estructuración del modelo final en sus ideas principales (comunicación). 6. Propiciar la transferencia de este modelo a nuevas situaciones (transferencia).

Como se puede observar, el proceso de modelización requiere una participación activa del alumnado y mantiene una conexión directa con la IBSE (Couso, 2014). Es así como surge la metodología de indagación centrada en modelizar (MBI), cuyo objetivo es que el alumnado sea capaz de construir y defender sus explicaciones sobre cómo funciona un fenómeno científico (Windschitl *et al.*, 2008). Esto no solo mejora el aprendizaje de las ciencias, entendido este como

la evolución de los modelos mentales del alumnado, sino que también fomenta el aprendizaje sobre la naturaleza de las ciencias y sobre cómo se construye el conocimiento científico; esto es, la comprensión de la dimensión epistémica de la ciencia, un objetivo que comparten tanto la práctica de modelización como la de indagación clásica (Soto et al., 2017). Por consiguiente, un proceso de indagación centrado en la construcción y manipulación de modelos evita aplicar la IBSE como una simple actividad experimental y contribuye a que el alumnado adquiera modelos científicos cercanos a la ciencia que les ayuden a predecir y explicar fenómenos y que, además, reciban una imagen veraz sobre cómo se trabaja en ciencia (Martínez Chico *et al.*, 2013).

El National Research Council (2012) ya incluye las prácticas anteriormente expuestas en el currículum escolar de Estados Unidos como elementos imprescindibles para la enseñanza de las ciencias. Concretamente, considera clave la presencia en el aula de las siguientes ocho prácticas científicas: a) Hacerse preguntas sobre fenómenos científicos; b) Desarrollar y usar modelos científicos; c) Planificar y llevar a cabo investigaciones; d) Analizar e interpretar los datos; e) Usar pensamiento matemático y computacional; f) Elaborar explicaciones; g) Argumentar en base a las pruebas encontradas; h) Obtener, evaluar y comunicar la información.

Cumpliendo estas pautas, Osborne (2014) considera que la enseñanza de las ciencias se basa en la interrelación entre las prácticas de indagación, modelización y argumentación. La indagación ayuda a diseñar, llevar a cabo los experimentos y analizar e interpretar los datos previo planteamiento de preguntas científicas (prácticas **a**), **c**), **d**) y **e**) del listado anterior); la modelización consistiría en la construcción progresiva por el propio alumnado de modelos o explicaciones científicas sobre los fenómenos en los que trabajan, desarrollando actitudes propias de la actividad científica a la vez que se amplía el aprendizaje de los conceptos (prácticas 2 y 6); y la argumentación consistiría en la interpretación de los propios resultados y comunicación de los mismos (prácticas 7 y 8). Esta modalidad de enseñanza exige una gran enculturación del profesorado ya que no solo debe dominar las prácticas de indagar, modelizar y argumentar, sino también ser competente en crear situaciones de enseñanza-aprendizaje acordes con estas tres prácticas científicas y en su evaluación posterior (Couso, 2014).

Es por esto por lo que en el presente trabajo se propone realizar una adaptación a partir de la secuencia indagatoria propuesta por Martínez-Chico et al. (2017) y del ciclo de modelización presentado por Garrido-Espeja (2016), expuesto anteriormente (IBM). La estructura base de nuestra secuencia de indagación (Figura 2) se corresponde con un ciclo donde existen interconexiones entre los distintos puntos sin necesidad de ser lineal:

1. **Planteamiento de la pregunta o problema científico:** debe ser una pregunta cercana y/o relevante y que no pueda ser fácilmente contestada, si no que necesite de investigación y

pruebas para que su respuesta pueda confirmarse o rechazarse. Además, debe cumplir su papel de contextualización y de atracción, consiguiendo así que el alumnado se apropie de ella e incremente su interés y motivación.

2. **Discusión de ideas y expresión de hipótesis o modelos mentales previos:** pretende conseguir que el alumnado exponga sus ideas personales propiciando la discusión de las mismas entre iguales y con el/la docente y que finalmente formulen sus explicaciones basándose en una justificación representada a través de diferentes lenguajes (dibujos, redacciones, etc.).
3. **Búsqueda de pruebas:** diseño del proceso de búsqueda de pruebas para contrastar su hipótesis y elaboración del mismo. Estas pruebas pueden obtenerse mediante diseños experimentales propios, mediante búsqueda de información (guiada o abierta) o por datos suministrados por expertos/as. En todos los casos, estas pruebas deben ser estructuradas en tablas, gráficas o esquemas que faciliten su posterior análisis.
4. **Análisis de resultados y obtención de conclusiones:** contrastar sus ideas iniciales con los datos obtenidos en el paso anterior y lograr así una adaptación de las mismas para mejorar la validez de sus conclusiones.
5. **Comunicación de resultados considerando explicaciones alternativas:** presentar sus conclusiones teniendo en cuenta la posibilidad de existir otras alternativas y de someter a crítica el proceso propio
6. **Reflexión sobre lo aprendido y acercamiento al modelo científico:** hacer al alumnado consciente de las ideas aprendidas, exposición de las ideas más cercanas al modelo científico trabajado y facilitación del uso, revisión o transferencia del mismo. En este punto, se propiciará también la reflexión sobre cómo se ha trabajado a la hora de hacer ciencia y cuáles son las características esenciales del trabajo científico. Este último paso se llevará a cabo hacia el final de la propuesta didáctica.

La experimentación analógica y el uso de simulaciones ayuda al alumnado a la construcción de sus modelos (Harrison y Treagust, 2000; Oliva-Martínez, 2019). Tal y como exponen Harrison y Treagust (2000), los modelos analógicos permiten observar de manera más visual, táctil y familiar conceptos que son de naturaleza abstracta y/o que el estudiantado no es capaz de experimentar y comprender debido, entre otras razones, a la escala (global o microscópica) a la que ocurren. Estos modelos analógicos compartirán características con el fenómeno al que representan (aquellas que se consideran más representativas y necesarias); sin embargo, también presentarán, inevitablemente, otros atributos no compartidos y tenderán a ser muy simplificados o, incluso, exagerados, para facilitar la comprensión del fenómeno científico

representado. Las simulaciones, consideradas por Harrison y Treagust (2000) como un tipo concreto de modelo analógico, destacan por su dinamismo y la capacidad para representar fenómenos complejos, como serán en este trabajo algunos procesos del cambio climático y las corrientes oceánicas. En numerosas ocasiones, las características de estos experimentos simulados ocultan su naturaleza analógica y dan una mayor sensación de realismo al alumnado, favoreciendo así la motivación y el interés del mismo.

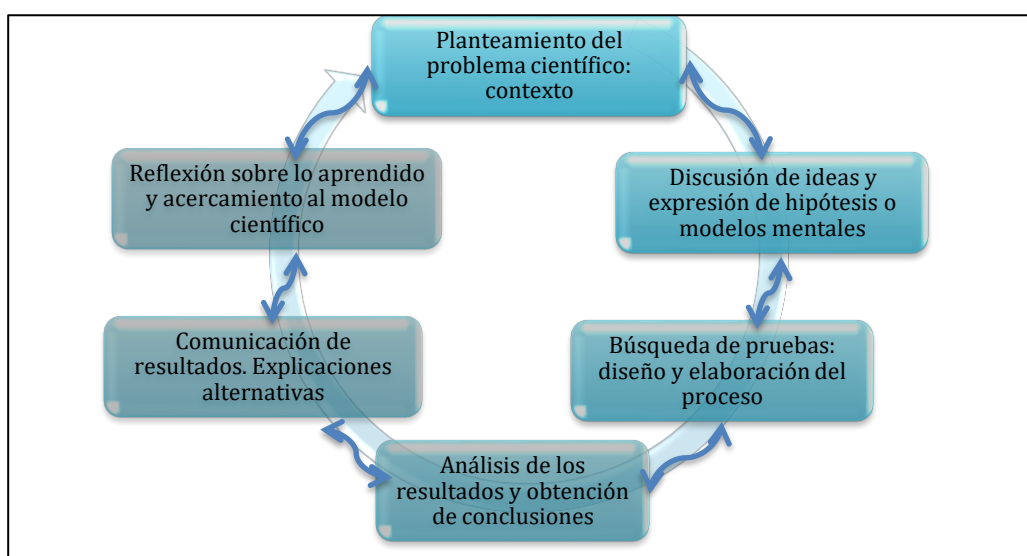


Figura 2. Estructura de la secuencia IBM. Adaptado de Martínez-Chico et al., (2017) y Garrido-Espeja (2016).

4. Marco curricular

Esta propuesta didáctica va dirigida al alumnado de la asignatura de Biología y Geología del primer y tercer curso de educación secundaria obligatoria. En estos cursos, la asignatura de Biología y Geología tiene carácter de materia general dentro de las asignaturas troncales de primer ciclo. Los bloques de contenido, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables trabajados mediante la secuencia de actividades descrita en este trabajo son los reflejados en la Tabla A1 (ver Anexo A). Estos se han extraído de lo dispuesto en el REAL DECRETO 1105/2014 (MEC, 2015). A nivel autonómico, estas indicaciones sobre el currículo de secundaria son descritas en el DECRETO 111/2016 (CE, 2016), modificado por el DECRETO 182/2020 (CE, 2020), y desarrolladas en la ORDEN de 15 de enero de 2021 (CE, 2021).

El REAL DECRETO. 1105/2014 (MEC, 2015) establece que “la asignatura de Biología y Geología debe contribuir durante la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) a que el alumnado adquiera unos conocimientos y destrezas básicas que le permitan adquirir una cultura científica; los alumnos y alumnas deben identificarse como agentes activos, y reconocer que de sus actuaciones y conocimientos dependerá el desarrollo de su entorno” (p. 204). También establece que “el principal objetivo (de esta asignatura) es [...] que entiendan y valoren la

importancia de preservar el medio ambiente por las repercusiones que tiene sobre su salud; así mismo, deben aprender a [...] comprender el valor que la investigación tiene en los avances médicos y en el impacto de la calidad de vida de las personas” (p. 204-205). Es por esto por lo que se considera que la propuesta didáctica aquí desarrollada se ajusta fielmente a estas indicaciones.

Por otro lado, las **competencias básicas** que se pretenden desarrollar mediante esta propuesta, fundamentado en lo establecido en la ORDEN de 15 de enero de 2021 (CE, 2021, p. 700-701), son la competencia en comunicación lingüística (CCL), la competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT), la competencia digital (CD), las competencias sociales y cívicas (CSC) y la competencia de aprender a aprender (CAA). La forma en la que esta propuesta favorece el desarrollo de cada una de ellas se detalla en la Tabla A2 (ver Anexo A). Además, mediante el trabajo por indagación, se promueve el sentido de iniciativa y espíritu emprendedor (SIEP) al favorecer una intervención activa del alumnado como sujeto de su propio aprendizaje. Asimismo, la cultura científica conseguida a partir del aprendizaje de estos contenidos trabajados facilitará la adquisición de la conciencia y expresiones culturales (CEC), extensible a otros ámbitos de conocimiento de esta etapa.

Por otro lado, el desarrollo de esta propuesta pretende contribuir a la consecución de la mayor parte de los **objetivos** expuestos en la Orden de 15 de enero de 2021 (CE, 2021, p. 701) para la asignatura de Biología y Geología (ver Anexo A, Tabla A3).

Cabe destacar que el enfoque didáctico de la enseñanza de las ciencias basada en indagación es completamente coherente con las **estrategias metodológicas** descritas en la Orden de 15 de enero de 2021 (CE, 2021, p. 702-703). Este documento fomenta el uso de metodologías activas con base en que “las metodologías que contextualizan los contenidos y permiten el aprendizaje por proyectos, los centros de interés, el estudio de casos o el aprendizaje basado en problemas favorecen la participación activa, la experimentación y un aprendizaje funcional que va a facilitar el desarrollo de las competencias, así como la motivación de los alumnos y alumnas, al contribuir decisivamente a la transferibilidad de los aprendizajes”. Asimismo, afirman que estas metodologías ayudan al alumnado “favoreciendo en ellos la reflexión, la crítica, la elaboración de hipótesis y la tarea investigadora [...] aplicando sus conocimientos y habilidades a proyectos reales”. Además, indican que la similitud a los métodos de la ciencia real favorece el desarrollo de las competencias debido a que “el acercamiento a los métodos propios de la actividad científica (propuesta de preguntas, búsqueda de soluciones, indagación de caminos posibles para la resolución de problemas, contrastación de pareceres, diseño de pruebas y experimentos, aprovechamiento de recursos inmediatos para la elaboración de material con fines

experimentales y su adecuada utilización) no solo permite el aprendizaje de destrezas en ciencias y tecnologías, sino que también contribuye a la adquisición de actitudes y valores para la formación personal”. Igualmente, abalan el conocimiento del lenguaje científico ya que “es una exigencia crucial para transmitir adecuadamente los conocimientos, hallazgos y procesos: expresión numérica, manejo de unidades, indicación de operaciones, toma de datos, elaboración de tablas y gráficos, interpretación de los mismos, secuenciación de la información, deducción de leyes y su formalización matemática. También [...] como medio para procurar el entendimiento, así como el compromiso de aplicarlo y respetarlo en las comunidades científicas”.

En la misma línea, en el Artículo 7 del DECRETO 111/2016, de 14 de junio (CE, 2016, p. 32), modificado por el DECRETO 182/2020 (CE, 2020), aparecen una serie de recomendaciones de metodología didáctica con las cuales es coherente nuestra propuesta didáctica. Este artículo expone que el profesorado debe presentar un papel facilitador y promotor, ajustando los ritmos de aprendizaje mediante trabajo individual y cooperativo; además, el propósito de la metodología empleada debe ser “favorecer la implicación del alumnado en su propio aprendizaje, estimular [...] los procesos de aprendizaje autónomo, y promover hábitos de colaboración y de trabajo en equipo”; las actividades realizadas deben potenciar la expresión escrita y en público; el pensamiento crítico y la reflexión deben ser estimulados favoreciendo así “el descubrimiento, la investigación, el espíritu emprendedor y la iniciativa personal”; asimismo, los métodos recogida, análisis y presentación de la información, la observación y la experimentación deben ser favorecidos; se sugiere un intercambio verbal y colectivo de ideas para la construcción del conocimiento; se recomienda un enfoque interdisciplinar del aprendizaje mediante la elaboración de trabajos de investigación que potencien más de una competencia simultáneamente; y, por último, se alude a un uso habitual de las tecnologías de la información y la comunicación para el desarrollo del aprendizaje.

Por último, esta propuesta didáctica contribuye también al desarrollo de algunos de los **elementos transversales** dispuestos en el Artículo 6 del DECRETO 111/2016 (CE, 2016) (modificado por el DECRETO 182/2020, CE, 2020), como son el desarrollo de la comunicación interpersonal, la escucha activa y el diálogo, el uso de los medios de comunicación de una forma crítica y adecuada para su aprendizaje y la concienciación sobre problemas globales y sus repercusiones en el planeta fomentando una participación activa en su defensa y mejora.

5. Propuesta de intervención educativa.

En esta propuesta didáctica se pretende aplicar un enfoque de enseñanza basada en indagación (IBSE) en la que el alumnado se plantee preguntas sobre ciertos fenómenos

científicos relacionados con el cambio climático, que diseñen por sí mismos los procesos de investigación y búsqueda de pruebas necesarios para contrastar sus hipótesis o ideas previas y acaben construyendo sus propios modelos científicos a partir de la evolución y sofisticación de sus modelos mentales previos (modelización). De esta forma, se potencia a la vez la competencia científica del alumnado y se trabaja sobre la dimensión epistemológica de la ciencia al realizar un trabajo análogo al que realizan los/las investigadores/as reales; asimismo, este conocimiento de la naturaleza de la ciencia se potencia mediante algunas de las actividades finales en las que se reflexiona sobre si se ha hecho ciencia y cómo se ha hecho.

Como ya se mencionó en el apartado de marco teórico, esta propuesta sigue un esquema (Figura 2) desarrollado a partir de la secuencia indagatoria propuesta por Martínez-Chico, López-Gay, Jiménez-Liso y Oller (2017) y del ciclo de modelización presentado por Garrido-Espeja (2016). A lo largo de la misma, a la vez que el alumnado aprende a hacer ciencia, va a trabajar los contenidos relacionados con el cambio climático ya descritos en el apartado de marco curricular. La secuencia consta de doce actividades indagatorias que giran en torno a un hilo conductor que contribuye a la contextualización de la propuesta. Cada uno de los pasos dados a lo largo de la secuencia conformarán las características principales del enfoque indagatorio y de modelización expuesto anteriormente. Se ha elaborado una tabla que muestra la transposición curricular de las actividades que forman parte de esta secuencia didáctica (ver Anexo B).

5.1. ACTIVIDAD 1: ¿Qué está pasando en la Antártida? (1 hora/Aula ordinaria)

5.1.1. Descripción de la actividad

Para introducir el tema de esta actividad entre el alumnado, se comenzará con la exposición de un correo electrónico ficticio escrito por un investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) experto en paleoclimatología, el cual irá dirigido a los alumnos y alumnas. En este correo, el especialista Francisco simula ser miembro de un equipo de trabajo en conjunto con nuestro alumnado y encontrarse llevando a cabo una expedición en la Antártida. El propósito es pedir ayuda al grupo acerca de un fenómeno que ha ido advirtiendo durante su estancia en el continente (el deshielo inusual del polo) para introducir el tema sobre el que versará la presente propuesta didáctica: el cambio climático. Para ello, en este primer correo se exponen una serie de observaciones y preguntas que contextualizan al alumnado y generarán la motivación y curiosidad necesaria para comenzar el proceso de indagación. A su vez, este texto será el comienzo de una historia que servirá como hilo conductor durante toda la propuesta didáctica. Se pretende así, dar un toque realista a la propuesta mediante esta conexión con una persona real y ciertos datos veraces que aparecen en el texto y que los/las más curiosos/as

podrán comprobar si echan un rápido vistazo en la red. En la Figura 3 se ofrece el mensaje del investigador dirigido al estudiantado.

Una vez finalizada la lectura del correo electrónico, se procederá a la apertura de un debate en el que se expongan todas las ideas que el grupo pueda aportar sobre el tema. Este será guiado por una serie de preguntas realizadas por la docente al gran grupo. Estas preguntas serían las siguientes:

- *¿Cuál pensáis que será la causa de lo que está ocurriendo con el hielo de la Antártida?*
- *¿Cómo pensáis que puede afectar eso al planeta?*
- *¿Pensáis que el equipo tiene motivos para estar preocupado?*

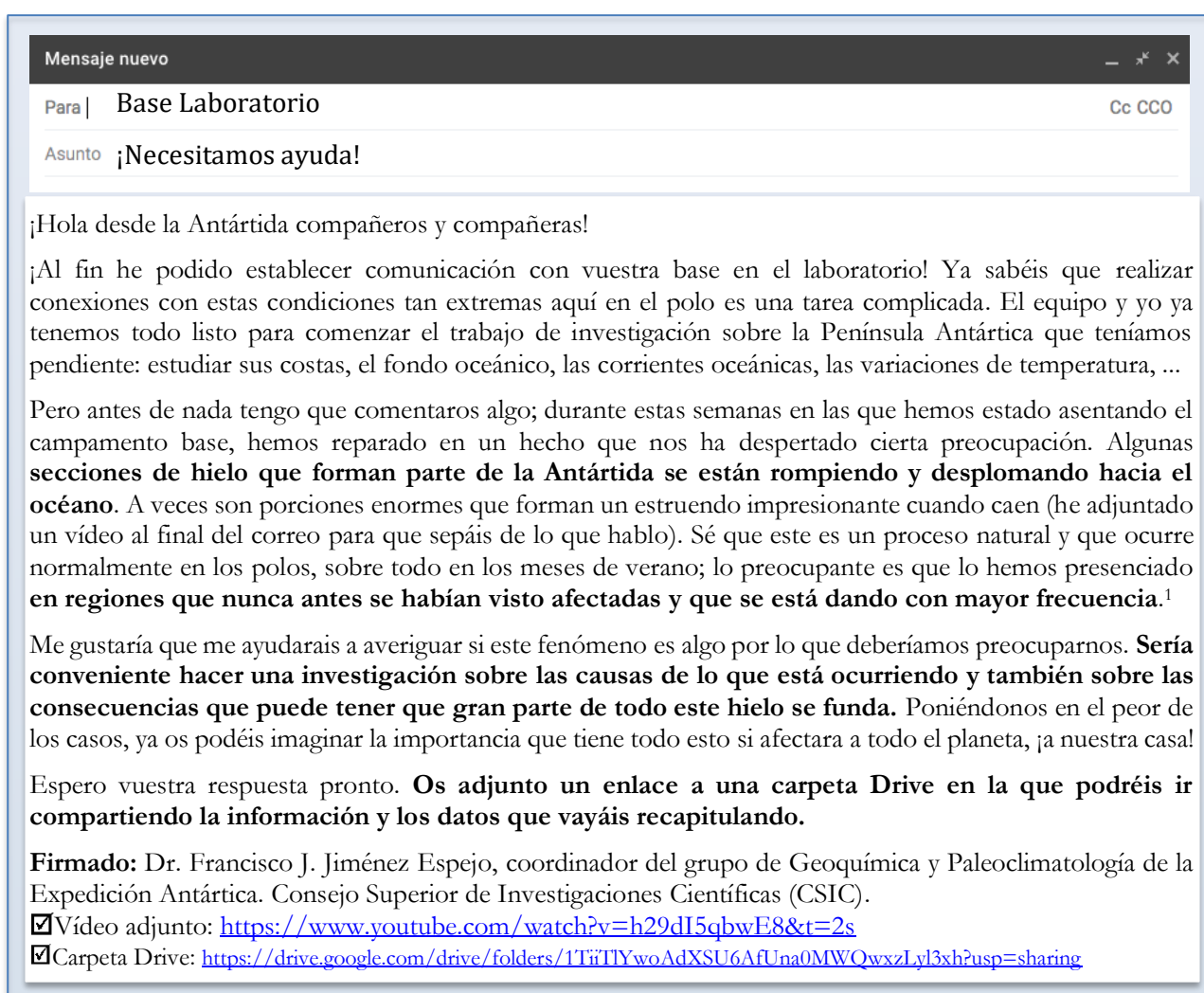


Figura 3. Mensaje del investigador del CSIC al alumnado.

¹ Como medida de atención a la diversidad para casos de altas capacidades se podría enriquecer y hacer la actividad más compleja utilizando noticias reales al respecto relacionadas con el investigador:

https://novaciencia.es/icebergs-efecto-antartico-en-el-clima-global/?fbclid=IwAR1FAyTqlufW8nUBRdvo25q_N55srqESk68_jPB1Hu_3ajzIjx_wDPiqCuY
<https://www.niusdiario.es/espana/andalucia/estudio-investigadores-universidadgranada-predice-impacto-cambios-plancton-18-3200149020.html>

Como respuesta a la primera pregunta, se espera que el alumnado nombre el cambio climático o el calentamiento global como causa de lo que ocurre con el hielo de la Antártida, ya que la fusión del hielo polar es uno de los problemas que con más frecuencia conocen y asocian al cambio climático (Robredo y Ladrera, 2020). Como consecuencias para el planeta, en la segunda pregunta, se espera que sean nombradas principalmente la subida del nivel del mar y la inundación de zonas costeras que estén habitadas (Koulaidis y Christidou, 1999). Finalmente, en la tercera pregunta, se prevé que la mayor parte del alumnado asocie el deshielo de los polos con un fenómeno problemático por el que preocuparse, debido a la gran exposición que ha tenido este tema en los medios de comunicación en las últimas décadas. Esto dará pie a comenzar la segunda parte de la actividad que consistirá en la expresión de sus modelos mentales previos y la elaboración justificada de sus hipótesis explicativas.

A continuación de esta exposición de ideas previas, se crean grupos heterogéneos de 4-5 alumnos/as que trabajarán juntos durante prácticamente toda la propuesta didáctica. Su misión será analizar, investigar y obtener conclusiones sobre los problemas que se vayan planteando y realizar los respectivos informes que deberán ir compartiendo con la docente en el aula y con “el equipo de trabajo de la Antártida” mediante la carpeta Drive incluida en el correo electrónico. Esta servirá realmente, junto con la plataforma virtual, como método de recogida de los productos finales que vayan elaborando en cada una de las actividades para su posterior evaluación.

Para comenzar, cada grupo de trabajo por separado debe generar un pequeño debate (20’) sobre las causas y consecuencias del deshielo polar utilizando para ello la técnica de mesa redonda. Esto es, cada integrante hablará durante 1 minuto sobre cuál cree que son las causas del deshielo polar, exponiendo sus ideas y el/la estudiante de su derecha deberá anotar las opiniones principales aportadas por su compañero/a. Seguidamente se realizará una segunda ronda de intervención y todos los constituyentes del grupo deben volver a hablar pero, en este caso, sobre las consecuencias del mismo proceso. Tras finalizar la discusión, tendrán un tiempo (10’) para decidir entre todos/as con qué ideas principales se quedan y anotarlas en un documento de manera que queden alistadas por una parte lo que consideren causas del fenómeno y, por otra, lo que consideren consecuencias. Una vez terminada esta tarea, la docente indicará que el resto de la sesión y durante varias sesiones más, el trabajo se centrará en el estudio de las causas del fenómeno, dejando el de las consecuencias para sesiones posteriores.

Ya que en esta lista de posibles causas habrán incluido elementos muy dispares, es posible que en algunos grupos ciertos procesos clave no aparezcan. Puesto que interesa conocer todas sus ideas previas sobre los mismos, se procederá a elaborar una lista conjunta en la pizarra, denominada “Elementos clave en la producción del deshielo polar”, en la que se irán unificando

todos los elementos que cada grupo haya registrado en su informe (10’). Finalmente, si a pesar de esto sigue faltando algún proceso que consideramos esencial, este será incluido por la profesora. Se desea que todos los elementos enumerados sean los siguientes: efecto invernadero, atmósfera, temperatura, contaminación, gases de efecto invernadero, radiación solar, radiación ultravioleta, radiación infrarroja, capa de ozono, destrucción capa de ozono, ozono, océanos y calentamiento global. En la Tabla 2 se muestra un ejemplo de esta tabla.

Tabla 2. Elementos clave en la producción del deshielo polar.

ELEMENTOS CLAVE EN EL DESHIELO POLAR	
Efecto invernadero	Radiación ultravioleta
Atmósfera	Capa de ozono
Temperatura	Destrucción capa de ozono
Contaminación	Ozono
Gases de efecto invernadero	Océanos
Radiación solar	Calentamiento global
Radiación infrarroja	

Nota. Estos elementos son los que deben estar incluidos en el listado común de la pizarra para la Actividad 1.

Tras esto, cada grupo deberá completar el informe con los elementos que les falten de los expuestos en la pizarra y realizar un dibujo que explique cómo creen que se produce el cambio climático, el cual habrá de contener todos los procesos y elementos recientemente nombrados (20’). Estos informes serán sus primeras hipótesis grupales y el documento generado tendrá el nombre de INFORME N°1: “Nuestra hipótesis: Causas del deshielo” y deberá ser subido a la carpeta de almacenamiento Drive (si tienen acceso a ordenadores o tablets en el aula ordinaria se cargarán en el momento; si no es así, deberán hacerlo desde casa ese mismo día). Se da total libertad a cada grupo para añadir un breve encabezamiento en sus informes en el que incluir cualquier tipo de subtítulo, saludo, anécdota o duda relacionada con la actividad que quieran compartir con el “equipo de la Antártida”, alimentando así su rol como miembros reales de un equipo científico en contacto con sus compañeros/as de trabajo a la vez que facilita a la docente cierta información de cada grupo (en cuanto a motivación, interés, relación grupal o dudas) que le pueda haber pasado desapercibida y sea de interés.

5.1.2. Fundamentación de la actividad

Esta actividad recoge dos de los pasos presentes en la secuencia de indagación-modelización planteada en este trabajo. Estos se corresponden con el planteamiento del problema

científico, exponiendo el hilo conductor que marcará el contexto de toda la propuesta, y la discusión de las ideas previas y exposición de modelos mentales o hipótesis iniciales.

Tal y como apuntan Márquez et al. (2004), es necesario crear una inquietud en los y las escolares con el escenario planteado y problematizar la situación creando una serie de dudas y preguntas; de este modo, sentirán el impulso de realizar observaciones o experimentos para relacionar el reto con lo que ya conocen. Los modelos explicativos que presenta el estudiantado suelen ser estáticos y lineales y el uso de preguntas mediadoras favorece la evolución de los mismos para convertirlos en modelos más dinámicos y complejos. Estas preguntas, tal y como sugieren estos autores, deben estar contextualizadas (lo están mediante el correo electrónico con el que se inicia la clase que presenta ciertos marcadores de contexto (científico, global, ...) y marcan también el nivel escalar al que se espera que conteste el alumnado (resaltando la necesidad de conocer las causas y las consecuencias que el hecho planteado tiene en el planeta). Esto evita que reconozcan como contexto el aula y como interlocutor a la docente lo que haría que generaran una respuesta posiblemente correcta pero poco trabajada.

Conviene resaltar que las preguntas realizadas presentan un alto grado de apertura para que el alumnado no reproduzca ideas, sino que las produzca por sí mismo sacando a relucir así un pensamiento más creativo (Bargalló y Roca, 2006). Además, ya que el objetivo es conocer los modelos previos del alumnado para detectar ciertas dificultades relacionadas con el tema, las preguntas serán centradas en la persona (¿Qué pensáis/Cómo pensáis que ocurre...?), porque resultan menos amenazantes que las centradas en el tema (¿Qué/Cómo ocurre...?) y favorecen el aprendizaje al hacer que la persona escarbe entre sus propios conocimientos e ideas y no que busque la respuesta correcta que se sabe de memoria o que supone que es la que espera escuchar la profesora (Amos, 2002). Este tipo de preguntas, igualmente, promueven la participación y la implicación del alumnado en el proceso de aprendizaje (Harlem 2001, citado en Bargalló y Roca, 2006).

El hecho de que trabajen en grupo de manera cooperativa acerca al alumnado al proceder propio de la ciencia, potenciando la comprensión de la naturaleza de la misma y el desarrollo de su competencia científica; a su vez, esta cooperación también ayuda a que sean conscientes de que la unión del esfuerzo de los distintos componentes ayuda a conseguir el objetivo final y que el trabajo individual suma o resta al éxito del grupo ya que todas las contribuciones son valiosas, desarrollando así una buena competencia social (Prieto Navarro, 2007).

En cuanto a las hipótesis planteadas, es de esperar que aparezcan algunas ideas alternativas sobre el cambio climático adquiridas principalmente por explicaciones erróneas dadas por los medios de comunicación y divulgación y por analogías o imágenes en libros de

texto que se usan en edades tempranas para explicar estos procesos. Algunas de estas ideas alternativas son las siguientes:

Muchos estudios demuestran la gran confusión que existe en los modelos del alumnado con respecto al calentamiento global, el efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono (Gulizia y Zazulie, 2012; Jeffries et al. 2002; Meira, 2015; García-Rodeja y Oliveira, 2012; Núñez et al., 2013; Anderson y Wallin, 2000; Boon, 2010; Bostrom et al., 1994; Koulaidis y Christidou, 1999); por esto, es posible que en algunas de las hipótesis se mencionen cualquiera de los tres procesos como causa del deshielo del polo y que no se ponga de manifiesto la escasa comprensión de los mismos y sus relaciones. Un ejemplo de estos son los modelos mentales encontrados en el estudio realizado por García-Rodeja y Oliveira (2012) y representados en la figura 4, en los que se observa que hay parte del alumnado que considera que el calentamiento de gases contaminantes es el que produce el daño en la capa de ozono originando así el incremento del efecto invernadero y por tanto el calentamiento global (modelo 3); o que los contaminantes engrosan la capa de ozono, encargada de mantener el calor y por ello aumenta la temperatura en el planeta (modelo 4).

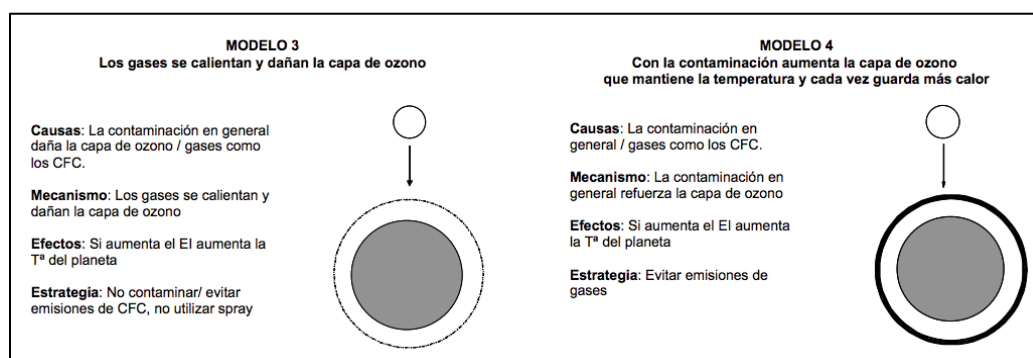


Figura 4. Representación de modelos mentales sobre cambio climático (García-Rodeja y Oliveira, 2012).

- El alumnado suele describir el agujero de la capa de ozono como la causa directa del efecto invernadero y del calentamiento global. Estas ideas alternativas se basan en la creencia de una mayor penetración de luz solar más energética (ultravioleta) a través de un agujero en la capa de ozono, lo que conlleva a la creación de un efecto invernadero al ser atrapada esta radiación por la atmósfera (responsabilizando en ocasiones de esto a la capa de ozono también o, alternativamente, a una capa de contaminantes producidos por el ser humano); finalmente, esto desembocaría en el calentamiento global (Gulizia y Zazulie, 2012; Jeffries, Stanisstreet y Boyes, 2002). Estas ideas se pueden observar en la Figura 5, representaciones de dos de los tipos de modelos mentales encontrados en más de un cuarto de los participantes

de un estudio realizado por Kouladis y Christidou (1999). Es más, en 2013 en España más de un 70% de las personas consideraban como cierto que el cambio climático se debe al agujero de la capa de ozono (Meira, 2015).

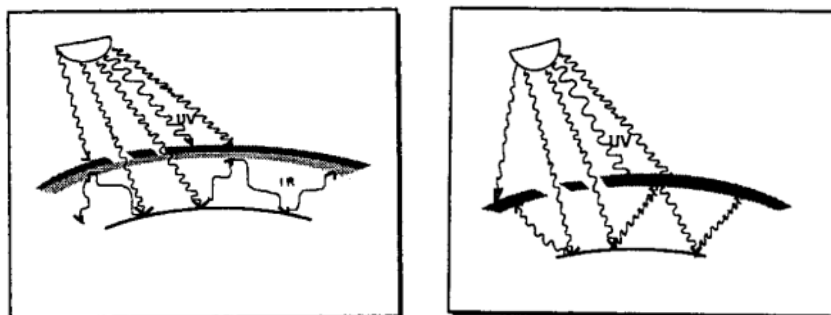


Figura 5. Representación de modelos mentales sobre cambio climático (Kouladis y Christidou, 1999).

- Es muy probable también que encontremos trabajos en los que las causas y las consecuencias relacionadas con el cambio climático sean confundidas y en los que se hable de efecto invernadero como un problema actual y no como un proceso natural (García-Rodeja y Oliveira, 2012).
- Se espera también que incluyan como únicas causas del problema aquellas acciones humanas que consideran culpables del calentamiento global. Las más destacadas entre sus ideas previas son: el uso de vehículos de motor, las industrias y fábricas, el uso de espráis, la tala de árboles y la contaminación de cualquier tipo. Dan una extremada importancia a la deforestación (considerando las plantas como encargadas de limpiar el aire y no como sumideros de dióxido de carbono) y, sin embargo, no están muy familiarizados con los CFCs y sus efectos (Bostrom, Morgan, Fischhoff y Read, 1994).

Todas estas ideas alternativas son comprensibles ya que son fáciles de encajar en los modelos mentales presentes en el alumnado, que normalmente parten de una idea fácilmente entendible y que sí suelen tener clara: “la capa de ozono nos protege de la radiación solar peligrosa”; por tanto, es de entender, en el marco de sus esquemas mentales, que si hay un adelgazamiento o destrucción de esta, llegará a la Tierra más radiación que hará que esta se caliente, considerando así como sinónimos los términos radiación solar, radiación ultravioleta y calor (Kouladis y Christidou, 1999). Mientras que esta es una idea fácil de incluir en sus modelos mentales, asociar el calentamiento global al efecto potenciado de los gases invernadero requeriría la comprensión de elementos más complejos como, por ejemplo, la radiación emitida por la Tierra (Anderson y Wallin, 2000).

Con esta primera sesión se pretende conseguir que el alumnado se adentre en el tema en el que se quiere contextualizar la actividad, se implique gustosamente por la curiosidad generada y exponga las ideas alternativas presentes en sus modelos para conseguir la evolución de estos en sesiones posteriores, acercándolos a modelos científicos que incorporen una mayor complejidad (Márquez et al., 2004)².

5.2. ACTIVIDAD 2: Busquemos pruebas (1 hora/Aula de ordenadores)

Una vez planteadas las hipótesis iniciales, se llevará a cabo una actividad de recogida de información para el posterior diseño y elaboración de trabajo experimental que ayudará a contrastar las ideas iniciales en base a los datos obtenidos. La docente comenzará la sesión exponiendo al grupo la Tabla 2 elaborada en la sesión anterior, que contenía todos los elementos que el alumnado consideraba que están relacionados con las causas del deshielo polar. Pero ahora en ella estarán resaltados los siguientes cuatro elementos: atmósfera, efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono y cambio climático. Se eligen estos ya que los tres últimos son los fenómenos que más confusión suelen generar en los modelos mentales del alumnado y el estudio de la atmósfera se considera necesario para la comprensión general del cambio climático. La docente transmitirá a los/las estudiantes la necesidad de contrastar experimentalmente sus hipótesis iniciales en las que marcaban estos elementos como causantes o relacionados de alguna forma con el origen del deshielo en el polo; además, añadirá que cualquier comprobación comienza con la recogida de información fiable sobre la que sustentar el posterior diseño experimental. Así, para iniciar este proceso, se guiará al alumnado por medio de las siguientes preguntas mediadoras:

- *¿Cómo pensáis qué es la atmósfera? ¿Cómo creéis que está relacionada la atmósfera con los procesos de destrucción de la capa de ozono, efecto invernadero y cambio climático?*
- *¿Cómo creéis que tienen lugar estos tres procesos? ¿Creéis que los tres están relacionados con lo que ocurre en la Antártida? ¿Cómo pensáis que lo están?*

Durante esta actividad, llevada a cabo en el aula de ordenadores, el estudiantado se estructurará en los mismos grupos de investigación que en la sesión anterior y, previa discusión de sus ideas en conjunto, deberán elaborar tres mapas conceptuales relacionados con las dos cuestiones planteadas (35'). Debido a la relativa dificultad que supone la elaboración de mapas conceptuales y tratándose de conceptos envueltos en tanta confusión, se les programará la

² Nota: Esta primera fundamentación de actividad se ha incluido en el cuerpo principal del texto a modo ilustrativo. Las siguientes, de cara a agilizar el texto, se incluirán agrupadas en el Anexo D.

actividad por escrito para transmitirles la información mínima que los mapas deben contener (Tabla 3) y se proporcionará un listado de recursos web donde encontrar información fiable sobre los fenómenos en estudio (ver Anexo C). No obstante, tendrán libertad para añadir más información en caso de que la consideran relevante y para revisar otros puntos de información adjuntando posteriormente las referencias bibliográficas.

Tabla 3. Mapas conceptuales de la Actividad 2.

MAPAS CONCEPTUALES	CONTENIDOS	
1. Atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> - Concepto - Origen - Composición química - Composición estructural: capas de la atmósfera (altura, fenómenos que tienen lugar en ellas función y temperatura) - Función 	
2. Procesos que ocurren en la atmósfera: efecto invernadero y destrucción de la capa de ozono	Efecto invernadero	Destrucción capa de ozono
	<ul style="list-style-type: none"> - Efecto invernadero natural - Efecto invernadero potenciado - Gases de efecto invernadero (distribución, nombre, procedencia, potencial de calentamiento global, equivalentes de CO₂) - Radiación solar/radiación infrarroja - Consecuencias: calentamiento global (deshielo polar, aumento nivel del mar, corrientes oceánicas, expansión térmica) y cambio climático - Soluciones posibles (protocolo de Kyoto) 	<ul style="list-style-type: none"> - Concepto, localización y composición - Función - Radiación ultravioleta - Formación y destrucción de ozono - Sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO): CFCs - Agujero de la capa de ozono - Consecuencias en los seres vivos y el ambiente - Soluciones posibles (Protocolo de Montreal y Reglamento del Ozono) - Relación con el cambio climático
3. Cambio climático.	<ul style="list-style-type: none"> - Concepto (natural y actual) - Diferencia entre clima y tiempo meteorológico - Causas: naturales y antrópicas - Consecuencias - Soluciones posibles 	

Nota. Contenidos mínimos a incluir en los mapas conceptuales de la Actividad 2.

Estos mapas pueden elaborarse haciendo uso de alguna herramienta TIC como puede ser el software de construcción de mapas conceptuales Mindomo (Mindomo 10.0.2, 2007). Una vez terminados, cada grupo deberá exponer al resto de la clase sus tres mapas conceptuales. Estas exposiciones se realizarán de manera que todos los grupos expongan primero sus mapas conceptuales sobre la atmósfera; una vez terminadas estas, continuar con las exposiciones sobre el efecto invernadero y destrucción de la capa de ozono y finalmente que cada grupo exponga su mapa conceptual sobre el cambio climático (20'). Se pretende que los trabajos de los distintos grupos se complementen en cada uno de los temas.

Al final de la sesión se pedirá que cada grupo discuta durante unos minutos con sus compañeros/as de equipo cuál o cuáles son los fenómenos, de los anteriormente trabajados, que intervienen mayoritariamente en el deshielo inusual de la Antártida y por qué. Como respuesta, se espera obtener el cambio climático y el efecto invernadero debido a la mayor retención de calor y al consecuente aumento de la temperatura media global, lo que conlleva otros muchos cambios a nivel general que conformarían el cambio climático. Se espera que la idea alternativa que relaciona la destrucción de la capa de ozono con el aumento de la temperatura media global haya queda erradicada. No obstante, para asegurar la comprensión de todos los fenómenos estudiados y las relaciones entre ellos, se pueden dedicar los últimos minutos de la sesión a resaltar la minoritaria relación que existe entre la destrucción del ozono y el calentamiento global: afectación por radiación ultravioleta de los seres vivos que actúan como sumideros de carbono (principalmente el fitoplancton) y recuperación más lenta del ozono estratosférico a menor temperatura debido al atrapamiento de calor en la troposfera por los gases de efecto invernadero. Se resaltarán que este es un efecto minúsculo en comparación con la influencia del efecto invernadero sobre el problema que nos ocupa. Esto dará pie a la comprobación experimental de este último fenómeno en la siguiente sesión.

5.3. ACTIVIDAD 3: ¡Esto hay que comprobarlo! (1,5 horas/Laboratorio)

En la sesión anterior se llevó a cabo una búsqueda de información que concluyó con la idea de que el efecto invernadero es la principal causa del deshielo del polo antártico. Esta búsqueda de pruebas se completará mediante el diseño y puesta en marcha de un experimento que permita al alumnado probar la información recogida y contrastar sus hipótesis iniciales sobre este hecho. Para ello, se les anima a que piensen en una experiencia con la que puedan observar como el efecto invernadero potenciado por el aumento de gases de origen antropogénico en la atmósfera es capaz de producir un calentamiento global.

Para guiar el diseño experimental, se pedirá al alumnado que piense en las cuestiones que se exponen a continuación:

- *¿Qué pensáis que ocurriría si no existiese la atmósfera?*
- *¿Cómo creéis que sería la situación con una atmósfera con niveles normales de gases de efecto invernadero? ¿Y con una gran concentración de estos gases?*
- *¿Qué gases de efecto invernadero conocéis? ¿Dónde los podemos encontrar? ¿Alguno de estos gases tiene algún uso común que conozcáis?*

Los grupos dispondrán de 30' para discutir y diseñar su plan de trabajo resolviendo estos inconvenientes:

1. Cómo simular la Tierra.
2. Cómo simular la atmósfera.
3. Cómo simular la liberación de gas de efecto invernadero a la atmósfera.
4. Cuántas situaciones diferentes se quieren observar y comparar.

Aunque las preguntas de apertura están diseñadas para reconocer las distintas situaciones experimentales que se deberían estudiar, si la profesora detecta muchas dificultades, pedirá al alumnado que piense en el diseño de un proceso en el que simular la ausencia o presencia de atmósfera y, en este último caso, que esta sea una atmósfera equilibrada en cuanto a gases de efecto invernadero o cargada en exceso de los mismos, lo que constituirían tres situaciones experimentales distintas.

5. Cómo medir el efecto resultante (se les pedirá que piensen en la manera de evaluar las consecuencias de todas estas situaciones sobre la temperatura global).

Para elaborar este plan dispondrán de los mapas conceptuales que confeccionaron en la sesión anterior. Una vez esclarecidos los diferentes puntos, deberán esbozar gráfica y esquemáticamente como imaginan su experimento, anotar todos los materiales que idealmente utilizarían, marcar todas las variables que piensen que afectarían y diseñar una tabla en la que recogerán los datos resultantes del experimento (Tabla 4). Este plan deberá estar anotado en un documento compartido por el grupo (físico o digital), el cual deberá ser enviado por la plataforma virtual a la profesora al final de la sesión. Durante este tiempo, la docente atenderá todas las dudas que puedan presentarse y las resolverá dando datos o pistas que permitan que los/las estudiantes encuentren la respuesta sin proporcionársela explícitamente. Por ejemplo, si en algunos grupos surge la duda de cómo simular la atmósfera se les recordará algunas de las características principales de la misma: se trata de una capa que envuelve a la Tierra y que deja pasar la luz del sol; así, el alumnado puede pensar en algo que envuelva totalmente su simulación de la Tierra y que sea transparente. Además, la docente también guiará el plan de trabajo en aquellos grupos que se encuentren perdidos o atascados, de manera que todos los grupos sean capaces de establecer un trabajo práctico que englobe, al menos, las características esenciales del modelo científico correspondiente al efecto invernadero.

El resto de la sesión (30') se dedicará a elaborar y probar los diseños experimentales. El material será proporcionado por la profesora y consistirá (por cada grupo) en siete envases pequeños (pueden ser vasos de precipitados, de plástico, vidrio, de yogur, etc.), dos envases transparentes grandes (pueden ser cuencos o cajas de vidrio, de plástico, etc.), tierra, agua de grifo, vinagre, bicarbonato y tres termómetros. Algunos de los planes de trabajo de los distintos grupos contarán con otro tipo de materiales, pero con este material deben ser capaces de adaptar

sus diseños. En la Figura 6 se muestra el montaje del diseño experimental y el resultado que debería obtener el alumnado y al final de este trabajo se incluye la explicación y demostración del mismo realizado por la autora (ver Anexo F). Tanto el procedimiento descrito anteriormente como la demostración en vídeo no serán proporcionados directamente al alumnado, sino que deberán ser ellos/ellas, en base a sus diseños previos y con ayuda y guía de la profesora, quienes deben valorar las variables que pueden intervenir y estudiar las condiciones necesarias que requiere el experimento y que no estuvieran incluidas en su plan de trabajo inicial; además, deben ser capaces de completar su propia tabla de resultados para su posterior análisis. Pequeñas variaciones en los diseños propuestos pueden ser aceptadas si no afectan significativamente a los resultados finales y están bien justificadas. Por ejemplo, simular la Tierra solo con envases de tierra, sin incluir la simulación de los océanos o considerar que el interior vacío del cuenco que simula la atmósfera es directamente la Tierra, sin necesidad de incluir ni tierra ni agua.

La fundamentación de esta actividad puede encontrarse en el Anexo D).

Tabla 4. *Tabla de resultados del trabajo práctico Efecto Invernadero.*

Situación experimental	Temperatura inicial	Temperatura final (30')
Sin atmósfera		
Con efecto invernadero natural		
Con efecto invernadero aumentado		

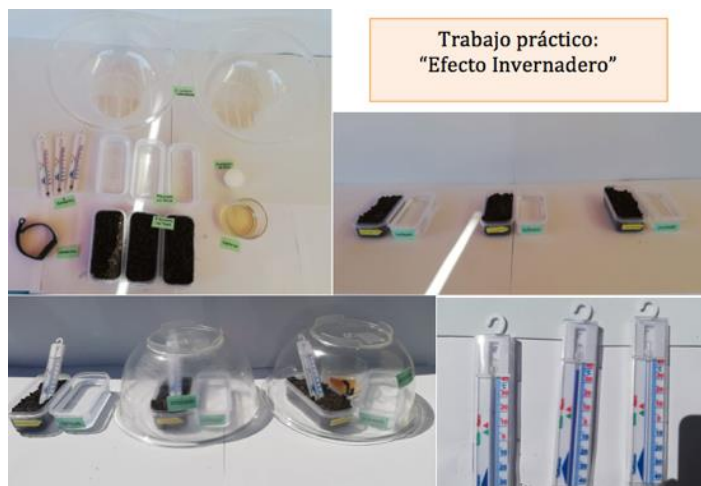


Figura 6. *Trabajo práctico “Efecto invernadero”.* Se muestran los materiales, desarrollo y resultado final del trabajo práctico “Efecto invernadero”. Las imágenes se presentan a mayor tamaño en el Anexo F.

5.4. ACTIVIDAD 4: Estas son nuestras conclusiones (1 hora/Aula de ordenadores)

En esta actividad se pretende contrastar la hipótesis generada por cada grupo en la primera sesión con la información recopilada en los mapas conceptuales y el trabajo práctico realizado

en las sesiones anteriores. Para ello, cada grupo deberá disponer en su zona de trabajo de una copia del INFORME N°1 (lista de causas y dibujo sobre el cambio climático), otra de los mapas conceptuales y otra de la tabla de resultados cumplimentada a partir de su experimento. La docente les informará de que disponen de un tiempo de discusión o debate (10') para que todos los integrantes opinen sobre el nivel de ajuste de lo expuesto en su primer informe con respecto a las pruebas reunidas a partir de su búsqueda bibliográfica y de su diseño experimental. El cierre de este debate será la modificación (o no) de la hipótesis formulada en su informe y representada mediante el dibujo del cambio climático. Esto se hará bajo consenso de todo el equipo.

Tras esto, se pide al alumnado que elabore el “INFORME N°2: “Causas del deshielo: conclusiones” basándose en toda la información reunida y contrastada. Se les dirá que este debe ser un trabajo destinado a informar al “equipo de la Antártida” sobre tres puntos: a) la validez de su primera hipótesis compartida (rechazada o aceptada) b) las modificaciones realizadas en ella (en el caso de existir) y c) una explicación y dibujo del fenómeno que consideran causa principal del deshielo (efecto invernadero) y de su diseño experimental a partir del cual han podido extraer sus conclusiones. Dispondrán de 25 minutos para ello. Se dejará a su elección la inclusión, como información adicional, de algún otro concepto de los aprendidos. Se dará total libertad para que la explicación de este proceso influyente se haga como presentación de diapositivas, infografía detallada, vídeo explicativo o formato similar. Finalmente, deberá ser cargado en la correspondiente carpeta Drive.

Finalizado esto, los distintos grupos presentarán mediante una breve exposición (5'/grupo) su recién planteado Informe N°2 al resto de la clase, favoreciendo así el intercambio de conocimiento y la consolidación del aprendizaje al ser explicado a otros/as. Tras cada exposición, el alumnado podrá rebatir algunas ideas de las escuchadas, poner en común sus puntos de vista (que apoyen lo expuesto por sus compañeros/as o alternativos a ellos) y expresar sus dudas. Estas dudas serán escritas en un papel de manera individual o grupal e irán a parar a un “saco de dudas” para ser resueltas al final de la sesión de manera participativa: se leerán una por una para el grupo general y, con la guía de la docente, deben intentar resolverla entre todos. Esta guía será mayor o menor según las necesidades detectadas por la profesora.

5.5. ACTIVIDAD 5: ¿Y el Polo Norte? (1 hora/Aula de ordenadores)

Para comenzar esta actividad, la docente expondrá al alumnado un nuevo correo electrónico recibido de parte del equipo de la Antártida. El mensaje se muestra en la Figura 7.

Tras la lectura del texto, cada grupo de trabajo debe recuperar el primer documento realizado en la Actividad 1, en el que anotaron las principales consecuencias que tendría el

deshielo polar en base a sus ideas previas. Se dejará un tiempo (10') para que revisen las ideas anotadas y estas puedan ser mejoradas o ampliadas con los nuevos conocimientos adquiridos en actividades anteriores. Finalmente, la docente pedirá a un/una componente del grupo elegido/a por la técnica de cabezas numeradas (esto es, previa adjudicación de un número a cada componente del equipo, la profesora escogerá una cifra al azar) que lea las consecuencias recogidas por su grupo. Se espera que todos, o casi todos, los equipos nombren la elevación del nivel del mar como una de las principales consecuencias, a pesar de que muchas otras pueden ser nombradas ya que en el ciclo de indagación anterior hicieron una gran búsqueda bibliográfica sobre estos fenómenos. Algunos efectos nombrados podrían ser la afectación de ecosistemas, afloramiento de enfermedades, cambios en las corrientes marinas, inundación de zonas costeras, migración de personas y crisis económicas y de subsistencia. Inicialmente, se pondrá el foco de atención en el efecto producido sobre el nivel del mar, ya que algunas de las demás son consecuencia de este fenómeno. El efecto en el cambio en las corrientes marinas se estudiará en sesiones posteriores.

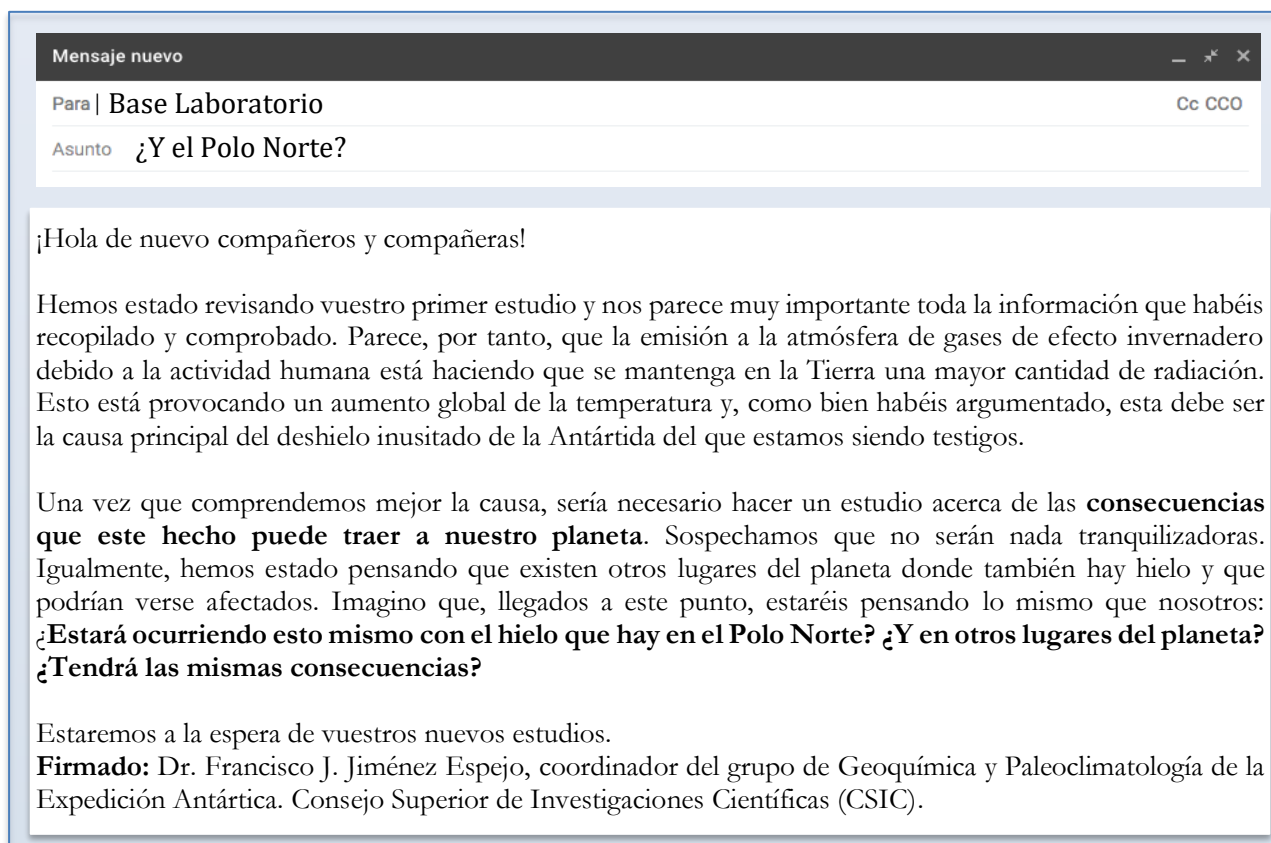


Figura 7. Segundo mensaje del investigador del CSIC al alumnado.

Seguidamente, la profesora planteará las siguientes preguntas mediadoras para poner de manifiesto los modelos alternativos del alumnado sobre las similitudes y diferencias entre hielo antártico y ártico y comenzar así la búsqueda de sus hipótesis iniciales.

- *Francisco y su equipo se plantean que estará ocurriendo con el hielo presente en el Polo Norte. ¿Qué pensáis de esto?*
- *Si decís que está ocurriendo lo mismo en el Polo Norte, ¿pensáis que el casquete polar ártico y la Antártida presentan las mismas características? ¿Se os ocurre dónde podríamos mirarlo?*
- *Algunos comentáis que el Polo Norte es distinto, ¿en qué creéis que puede diferenciarse?*
- *Antes expresasteis que una de las principales consecuencias de la fusión del hielo de la Antártida sería la subida del nivel del mar ¿creéis que si se funde el del casquete polar ártico también ocurriría lo mismo?*

Tras la primera pregunta se espera que el alumnado sugiera la búsqueda de mapas en internet que les permitan ver el aspecto que presentan ambos polos a simple vista para poder compararlos. Se recomienda simular una búsqueda casual (o tener copias en papel) del mapamundi diseñado recientemente por Goldberg y Gott (Adamuz, 2021) el cual presenta menores distorsiones y una mayor precisión en la proyección de la Antártida y las distancias entre los polos (Figura 8).

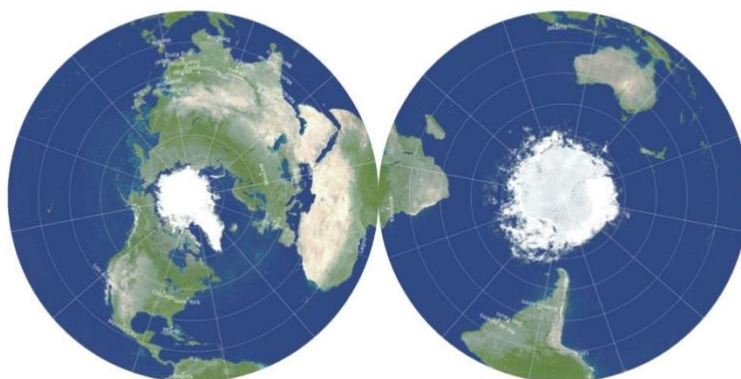


Figura 8. Mapamundi diseñado por Goldberg y Gott. Fuente:

https://viajes.nationalgeographic.com.es/lifestyle/astrofisicos-princeton-disenan-mapamundi-mas-preciso_16508

De esta primera observación es probable que centren su atención en la diferencia de tamaño entre las dos masas de hielo y quizás la mayor cercanía e incluso contacto del hielo del mar Ártico con los continentes e islas de alrededor. En este momento la docente sugerirá ampliar lo que conocen sobre la estructura de los dos polos terrestres mediante una búsqueda más profunda de información. En ella deberán localizar todas aquellas características que consideren

diferentes entre ambos casquetes polares. Se permite libertad de búsqueda de esta información ya que se prevé que los datos encontrados sean suficientes para dilucidar la principal diferencia entre ambas masas de hielo: la de la Antártida se encuentra sobre tierra emergida mientras que la del Ártico se encuentra flotando en el mar (a excepción del glaciar de Groenlandia, que puede ser nombrado más adelante una vez asimilado el objetivo principal de esta actividad). No obstante, se hará una supervisión constante del trabajo realizado por todos los grupos para detectar posibles déficits y eliminarlos, como se explica más adelante (20’).

Finalmente, todas las diferencias recopiladas entre el casquete polar ártico y el casquete polar antártico deben ser alistadas en un documento, junto con la bibliografía consultada (10’). Cada grupo de trabajo finalizará este archivo con la descripción de su hipótesis en la que se exponga la respuesta a la última pregunta realizada en la introducción de esta actividad:

¿Creéis que la fusión del hielo del casquete polar ártico contribuiría de la misma forma a la subida del nivel del mar que la del hielo antártico?

Se ofrecerá la siguiente oración guía para la elaboración de la hipótesis: “La fusión del hielo presente en los dos polos terrestres contribuye/no contribuye de igual forma a la subida del nivel del mar porque...”. El documento elaborado tendrá el nombre de Informe N°3: “Subida del nivel del mar: nuestra hipótesis” y deberá ser almacenado en la carpeta Drive.

Si durante el desarrollo de la búsqueda, en alguno de los grupos han surgido problemas para detectar la distinción principal entre la estructura de las dos masas de hielo, la docente sugerirá a aquellos que sí la hayan considerado que expongan sus principales hallazgos en voz alta; así, los grupos menos aventajados pueden usar estos datos para buscar y ampliar la información correspondiente al tema para su propio trabajo. De hecho, la docente supervisará constantemente la recogida de datos que vaya realizando cada grupo así como las fuentes utilizadas para guiar el curso de la búsqueda en caso de que algún grupo se desviara de la información importante o la totalidad de sus sitios de búsqueda fuesen de dudosa fiabilidad. A pesar de que la información que interesa encontrar para esta actividad es la referida a la estructura/formación de los casquetes, algunos grupos podrían añadir otros datos extra como la extensión superficial, clima, fauna, flora y comunidades humanas presentes, al ser consideradas también características diferenciales entre los polos. Sin embargo, en el progreso de la actividad se valorará que, entre todos los datos recogidos, sepan concluir en su hipótesis que la contribución diferencial al aumento del nivel del mar se debe la existencia de hielo glaciar o de hielo marino.

5.6. ACTIVIDAD 6: ¡Romparamos el hielo! (1,5-2 horas/Laboratorio)

En la sesión anterior, cada grupo de trabajo elaboró una hipótesis en la que se ponían de manifiesto sus ideas previas sobre si la fusión del hielo de ambos polos contribuiría por igual a la subida del nivel del mar, fenómeno considerado como una de las principales consecuencias del deshielo. Una vez establecidas las ideas previas, se les pedirá que, ya que están llevando a cabo una labor de investigación, tendrán que probar experimentalmente que este hecho descrito en sus hipótesis realmente ocurre o no. Esto dará pie al comienzo de los diseños experimentales. Previamente, se habían documentado sobre las características que diferencian las formaciones heladas del Polo Norte y Polo Sur, siendo conscientes, por tanto, de la presencia de un continente bajo el hielo de la Antártida (hielo glaciar) mientras que el hielo ártico se encuentra principalmente flotando en el mar (hielo marino). Así, la docente sugerirá el diseño de una simulación que permita probar lo que ocurre cuando se funde el hielo de ambos polos.

El alumnado deberá proceder a realizar su diseño experimental partiendo de esta cuestión clave mencionada anteriormente; además, se les facilitará a modo de guía una serie de variables a medir o susceptibles de ser modificadas que deben tener en cuenta en sus planes de trabajo, a saber: posición del hielo, diferencia de nivel del agua, salinidad del agua y temperatura del agua (opcional).

Cada grupo debe trabajar sobre estos aspectos y dilucidar cómo pueden simular y/o manipular estas variables. La profesora puede aportar al gran grupo la información considerada más complicada, como la necesidad de modificar solo una variable en cada parte del experimento manteniendo las demás constantes, debiendo hacer así cuantas situaciones experimentales sean necesarias. Todos los grupos tendrán un tiempo de 30 minutos para acordar su plan de trabajo. En la Figura 9 se muestra el montaje del diseño experimental y el resultado que debería obtener el alumnado y al final de este trabajo se incluye la explicación y demostración del mismo realizado por la autora (ver Anexo G). Los y las estudiantes deben prever detalles experimentales básicos como tomar dos bloques de hielo que sean de tamaño igual o muy similar, equiparar los niveles de agua en los dos vasos una vez introducido el hielo en el vaso en el que se encuentra flotando y marcar el nivel inicial del agua en ambos vasos antes de comenzar el experimento para poder observar posteriormente la subida, o no, del mismo. Además del diseño del experimento, cada grupo debe elaborar una tabla que le permita recoger todos los resultados obtenidos para posteriormente ser analizados (Tabla 5). Junto al planteamiento, la docente pedirá una sencilla representación gráfica del experimento ya que se considera que ayudará a su visualización y a la posterior elaboración de la tabla de resultados.

Cuando el diseño experimental de algún grupo esté estancado, se esté cometiendo algún error o se esté pasando algún elemento por alto, la docente establecerá diálogos guía con preguntas y pistas que permitan al alumnado replantearse sus ideas o mejorar sus diseños. Algunas de ellas serán: *¿Cuánta sal creéis que tendríamos que disolver si queremos simular un océano? ¿Cómo podríamos observar si ha variado el nivel del agua? ¿Qué creéis que ocurriría si el agua estuviese más caliente?*

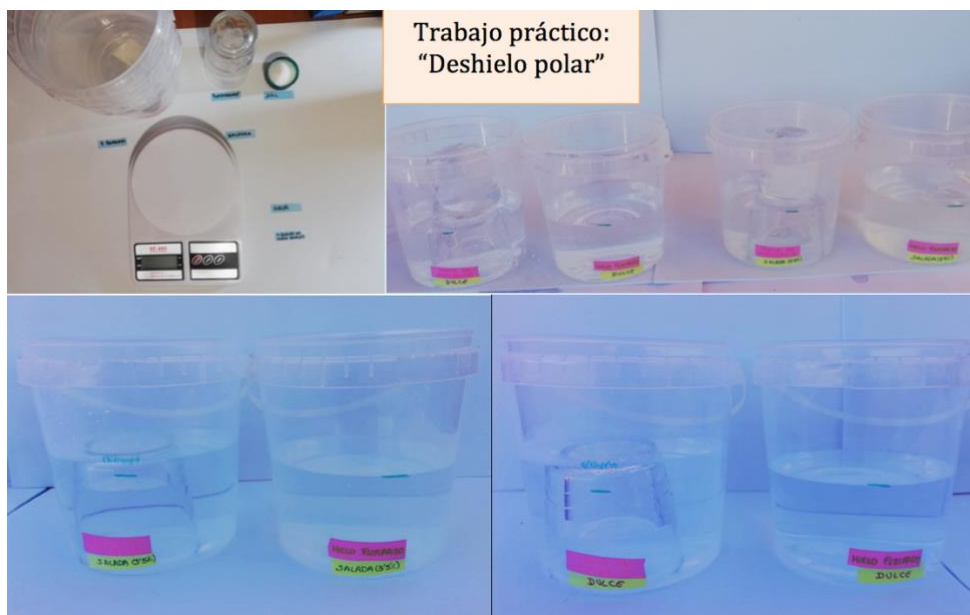


Figura 9. Trabajo práctico "Deshielo polar". Se muestra el material, procedimiento y resultados del trabajo práctico "Deshielo polar". Las imágenes se presentan a mayor tamaño en el Anexo G.

Tabla 5. Tabla de resultados del trabajo práctico "Deshielo polar".

	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3	Vaso 4	Vaso 5	Vaso 6	Vaso 7	Vaso 8
Hielo en superficie (G) o flotando (M)	G	G	G	G	M	M	M	M
Salinidad (3,5% / 0%)	0	0	3,5	3,5	0	0	3,5	3,5
Agua ambiente (A) o a 4°C (F)	F	A	F	A	F	A	F	A
Diferencia de nivel (cm)								
Hora Inicio								
Hora Fin								
Duración de la fusión (min)								

Nota. Se presenta sombreada la parte opcional del experimento.

Después de que todos los grupos hayan terminado su planteamiento experimental, se les proveerá del material necesario para llevarlo a cabo: vasos, bloques de hielo o agua destilada

para fabricarlos, plataforma, *agua destilada a temperatura ambiente*, agua destilada a 4°C, sal, balanza, metro/regla y *cronómetro* (se exponen en letra cursiva los materiales que de la parte opcional del experimento). Cada grupo trabajará de acuerdo a su diseño experimental y adaptando este a los materiales facilitados (30'). Una vez elaboradas las situaciones experimentales, estas deben ser expuestas a la radiación solar. El tiempo de fusión dependerá del tamaño de los bloques de hielo y de la radiación incidente. La variable “temperatura del agua” es opcional y se incluirá en el diseño dependiendo de si se dispone de tiempo para permanecer constantemente pendientes del proceso de fusión. De no ser así, la no inclusión de esta variable permite dejar el experimento en el exterior sin supervisión, aprovechando un lapso de tiempo ocupado por otra actividad (otra clase, recreo, etc.) y volver a recuperarlo para medir la variación en el nivel de agua y anotar los resultados en la tabla.

Una vez finalizado el trabajo práctico, se espera en los recipientes que tenían el cubo de hielo sobre la plataforma haya aumentado el nivel del agua considerablemente mientras que, en los que tenían el hielo flotando no o solo ligeramente (sobre todo en los que contenían agua salina, por el contraste de densidad con respecto al agua destilada que conformaba el hielo). En el caso de haber incluido la variable correspondiente a la temperatura del agua, deberían observar que los tiempos de fusión son mayores en los vasos que simulan el agua oceánica (agua a 4°C) que en los que contienen agua a temperatura superior (mayor temperatura debido al calentamiento global).

Al final de la sesión, todos los grupos deben enviar por la plataforma digital el documento que incluya todo su diseño experimental y la tabla de resultados cumplimentada.

5.7. ACTIVIDAD 7: Publicamos nuestro artículo científico. (1 hora/Aula de ordenadores)

Una vez obtenidos los resultados experimentales en la sesión anterior, se pretende que el alumnado lleve a cabo un análisis de los datos y obtención de las conclusiones, ya nombradas en la actividad anterior. Para ello, se organizarán en los equipos de trabajo ya formados y deberán hacer un análisis de los hallazgos derivados de la experimentación. A la luz de todos sus datos, cada grupo terminará aceptando o rechazando la hipótesis inicial que incluyeron en su Informe Nº 3 y deberán construir un nuevo documento para comunicar sus resultados ya validados. La docente sugerirá que ya que están actuando como investigadores, la comunicación de los resultados deberían realizarla tal y como lo hace la comunidad científica. Les preguntará si conocen cuál es la estructura habitual de un artículo científico y, en vista de que pocos la conocerán, la profesora les proporcionará el nombre de plataformas de búsqueda de artículos científicos especializadas para que indaguen en ellas y les facilitará también artículos de revistas

científicas prestigiosas (no tienen por qué tratar sobre el cambio climático) seleccionados para que tengan una estructura sencilla basada en una introducción y/o marco teórico que incluyan los objetivos o preguntas de investigación, una metodología, una exposición de los resultados, una interpretación y discusión de los mismos y unas conclusiones. Se pedirá al alumnado que deduzca la estructura básica que consideran que siguen los artículos científicos revisados y que la expongan en un folio de forma consensuada entre todo el equipo de trabajo, adjuntando una breve reseña de lo que intuyen que incluye cada apartado (15'). Seguidamente, en la pizarra, la profesora irá anotando los principales puntos expuestos por los grupos en sus esquemas e irá guiando este proceso hasta conseguir elaborar una estructura que se asemejará a un artículo científico. Una vez dilucidada entre el gran grupo la estructura general del artículo científico, se ofrecerá al estudiantado esta breve guía de lo que deben incluir en cada uno de los apartados:

- Introducción del tema: presentar la investigación y establecer el problema que van a investigar. Deben incluir las principales características diferenciales entre los polos terrestres que han recogido y que hacen que previsiblemente la fusión del hielo no provoque los mismos efectos sobre la subida del nivel del mar.
- Metodología: explicar el diseño del experimento y las variables tenidas en cuenta. Se pueden añadir fotos o dibujos del proceso y explicar cualquier observación complementaria que se haya realizado.
- Análisis de resultados y discusión: incluir la tabla de resultados y redactar los datos que se han obtenido; extrapolar los resultados obtenidos a la situación real haciendo una interpretación de su significado.
- Conclusiones: presentar las consecuencias de este proceso en el planeta basándose en lo expuesto en sesiones anteriores y en una búsqueda complementaria en internet. Investigar si existen más lugares helados en el planeta capaces de aumentar el nivel del mar (es el momento de guiar al alumnado en el estudio de la situación del casquete de hielo presente sobre Groenlandia y otros glaciares del planeta).
- Referencias: es importante que al final del “artículo científico” se expongan los documentos que han sido utilizados para obtener la información expuesta en la introducción y en las conclusiones, ya que se tendrá en cuenta en la evaluación la búsqueda bibliográfica realizada.

Se pedirá que durante el resto de la sesión (45') trabajen en la elaboración de este documento que servirá como medio de comunicación de sus conclusiones y al que tendrán que nombrar como Informe N° 4: “Subida del nivel del mar: conclusiones”. Deberá cargarse en la

carpeta Drive para ser evaluado por la profesora y para mantener la simulación del proceso de comunicación con el equipo de la Antártida.

5.8. ACTIVIDAD 8: Una gota de agua que viaja por todo el planeta. (1 hora/Aula de ordenadores)

Esta actividad da comienzo a un nuevo ciclo de indagación-modelización cuyo objetivo es que el alumnado conozca los movimientos de grandes masas de agua que tienen lugar en los océanos y que tienen una gran influencia en la modulación del clima global. Se inicia la sesión con un nuevo correo simulado por parte del equipo de la Antártida en el que sugieren el estudio de las corrientes oceánicas por su gran influencia en el clima del planeta y su afectación por el cambio climático. El texto en cuestión se expone en la Figura 10.

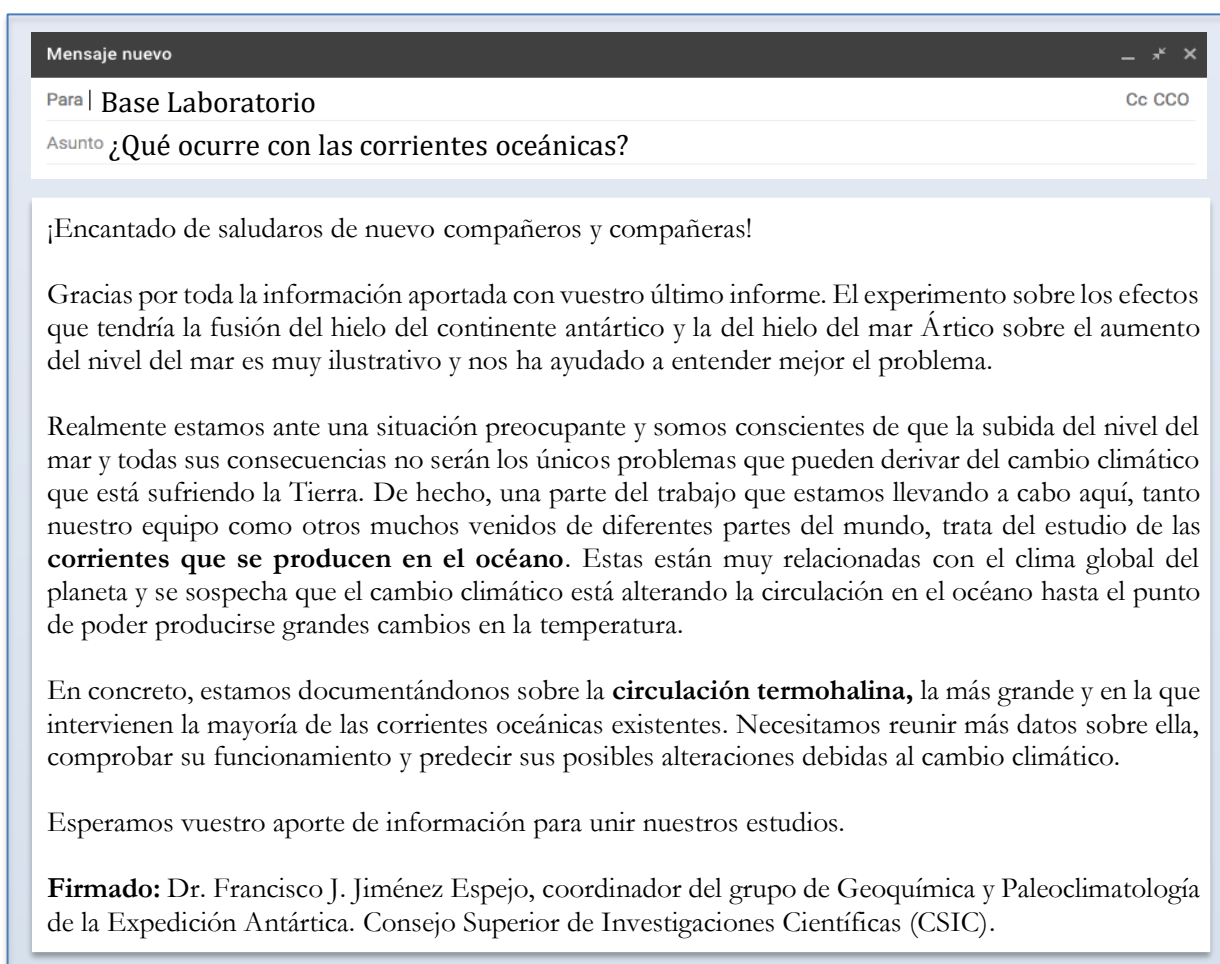


Figura 10. Tercer mensaje del investigador del CSIC al alumnado.

Tras la lectura del texto, se procederá a trabajar en una serie de preguntas y actividades que permitirán al alumnado reunir la información básica que les permita el entendimiento de la circulación termohalina (15'). Esta actividad se realizará con una mayor guía por parte de la

profesora debido a la complejidad de algunos conceptos estudiados y al desconocimiento de los mismos por parte del estudiantado.

Se comenzará lanzando las siguientes preguntas al gran grupo:

- *En el correo Francisco habla de una circulación “termohalina”. ¿Con qué características del océano creéis que puede estar relacionada esta circulación?*
- *Ya que mencionáis el efecto de la temperatura, ¿en qué zonas del planeta creéis que es superior la temperatura del agua? ¿E inferior?*
- *También sabemos que el agua de todos los océanos es salada, sin embargo, ¿pensáis que existen diferencias de salinidad en distintas zonas del planeta? ¿Dónde creéis que es mayor o menor? ¿Por qué?*
- *¿Podrías situar en este mapamundi dónde pensáis que se situaría el agua más caliente y dónde el agua más fría? ¿Y la más y la menos salada?*

Con respecto a la primera pregunta, debido al propio término “termohalina”, es probable que la temperatura sea fácilmente identificada como una de las características con las que se relaciona esta circulación; en el caso de que la identificación de la salinidad genere más problemas, se pedirá a un/a voluntario/a que realice una rápida búsqueda en internet con un dispositivo conectado a la red (móvil o Tablet) para determinar el origen del término “halino”. Una vez identificadas las dos características básicas que promueven esta circulación, temperatura y salinidad, se espera que el alumnado en su totalidad sepa contestar correctamente a la segunda pregunta, atribuyendo la zona de agua más caliente al ecuador y las zonas con agua más fría a los polos, debido a la mayor y menor radiación solar recibida respectivamente. No obstante, como respuesta a la tercera pregunta, se espera la aparición de distintas ideas alternativas. Como ayuda, se puede establecer un diálogo con el gran grupo e incluir estas preguntas orientadoras: ¿Creéis que el hielo polar es salado? Si tuviésemos un vaso con agua y sal disuelta, ¿qué pensáis que pasaría con la sal si el agua se congela? Se espera que con las aportaciones de todos los/las estudiantes en gran grupo y la guía de la docente se llegue a la conclusión correcta de localizar el agua más salada en los alrededores de los polos debido a la exclusión de la sal al formarse el hielo polar, proceso conocido como exclusión de la salmuera. Aunque el estudio de este proceso excede a los objetivos de este trabajo, se presenta un ejemplo de cómo podría llevarse esto al laboratorio como una actividad opcional de ampliación (ver Anexo I). Finalmente, se entregaría a cada alumno/a un mapamundi (Figura 11) en el que tendrán que escribir las palabras “Fría”, “Caliente”, “Salada” y “Dulce” en los lugares que crean que se encuentran este tipo de agua. Se espera que cerca de los polos escriban “Fría y salada” y en la zona ecuatorial “Caliente y dulce”. En este mapa está reflejada la circulación termohalina pero sin ningún tipo de rótulo ni leyenda.

El objetivo será reconstruirla poco a poco con la información que vayan adquiriendo durante el proceso de indagación de esta actividad.

Una vez localizadas las zonas de agua a mayor temperatura y con menor concentración salina en el ecuador y de agua a menor temperatura y con mayor concentración salina en los polos, la docente explicará que las líneas dibujadas en el mapamundi corresponden con las corrientes generadas por la circulación termohalina, mencionada por Francisco en el correo como la más amplia del continente. Se pedirá entonces que detallen sobre el mapa la trayectoria que creen que sigue esta circulación, explicando qué movimientos va realizando el agua de diferente temperatura y salinidad. Se avisa de que tienen que tener en cuenta la posición superficial de las corrientes rojas y la localización en profundidad de las azules. Se pide que comiencen su descripción en las flechas rojas de la zona del Caribe y seguidamente deben ir exponiendo qué creen que ocurre en cada punto de los enumerados y por qué. También deben responder en el mismo documento a la siguiente pregunta: ¿Qué creéis que influye más y por qué en la generación de estas corrientes, la temperatura o la salinidad?

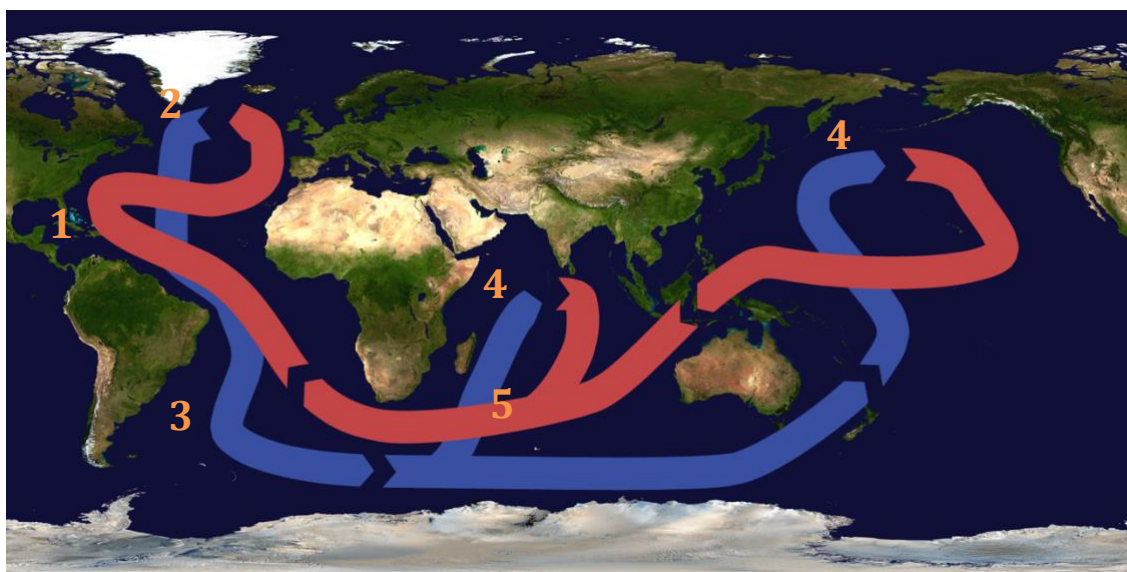


Figura 11. *Mapamundi y la circulación termohalina.* Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermohaline_circulation.png

No interesa tanto que acierten el sentido de la circulación (las flechas del mapa ya lo indican), sino los motivos por los que consideran que el agua se hunde hacia el fondo o asciende a la superficie en determinados puntos. Esta descripción realizada será la representación de sus modelos mentales previos (15') y será subida a la correspondiente carpeta Drive bajo el nombre Informe N°5: “Circulación termohalina; nuestra hipótesis”.

Tras este ejercicio, se continuará el estudio de esta circulación de agua marina mediante una recogida de información que permita obtener datos fiables con los que comenzar la construcción del conocimiento de este fenómeno (30'). Para ello se repartirá a cada grupo de trabajo una serie de material que explica la relación entre la temperatura y salinidad del agua y su densidad: también incluirá gráficos que representan el gradiente de temperatura, salinidad y densidad existente en los océanos y la diferenciación por estratos del océano a causa de estas características (ver Anexo H). A partir de su lectura y análisis, deberán hacer los ajustes necesarios a las explicaciones dadas anteriormente en cada uno de los puntos marcados en el mapamundi sobre la circulación termohalina (en una nueva copia del mapa). Deberán descubrir entre los/las integrantes del grupo la relación que existe entre la menor temperatura y mayor salinidad del agua que hay alrededor de los polos con el aumento de la densidad de esta y, en consecuencia, con su hundimiento, formándose así en el Atlántico norte (aunque también en el sur) el principal motor de la circulación termohalina. Este hundimiento causaría la necesidad de rellenar el hueco dejado por este agua por otra masa de agua que procedería de la zona ecuatorial superficialmente, creando así las corrientes por convección. De la misma forma, deben asociar el ascenso de aguas profundas en la zona del ecuador a la disminución de la salinidad y, por tanto, de la densidad, volviendo esta agua de nuevo a completar el ciclo. Finalmente, deberán convertir esta información en un audio explicativo que se ajuste a un vídeo mudo creado por la NASA³, el cual se entregará al alumnado y en el que se muestra el recorrido de la circulación termohalina (ver Anexo H). Este vídeo, ya junto con su explicación auditiva, debe ser enviado a la profesora por la plataforma virtual.

5.9. ACTIVIDAD 9: Océano y atmósfera van de la mano. (1,5 horas/Aula de ordenadores)

Una vez que la principal corriente transportadora oceánica ha sido estudiada, llega el momento de estudiar qué influencia tiene esta en el clima. Para ello, se comenzará con la exposición de una imagen (Figura 12) al gran grupo y el establecimiento de un diálogo acompañado por una lluvia de ideas que den respuesta a la siguiente pregunta:

- *Aberdeen, una ciudad de Escocia situada al norte de Reino Unido y Moscú, capital de Rusia, presentan latitudes muy similares; sin embargo, sus climogramas son muy diferentes. ¿Qué destacaríais como principal diferencia? ¿A qué creéis que se puede deber este hecho?*

³ Este proceso puede llevarse a cabo mediante grabación de pantalla y audio en un ordenador, verbalizando el texto (previamente escrito) mientras se reproduce el vídeo en la pantalla.

Se espera que nombren como principales diferencias las bajas temperaturas alcanzadas durante los meses de invierno en Moscú, que caen hasta 8 grados bajo cero, frente a los 5°C mínimos de Aberdeen en febrero. También, las temperaturas más altas alcanzadas en los meses de verano en Moscú, pudiendo llegar hasta los 20°C en julio, frente a los 14°C de agosto en Aberdeen. Por último, como resultado de lo anterior, cabría destacar las diferencias en la fluctuación de las temperaturas a lo largo de todo el año entre las dos ciudades; mientras que Aberdeen presenta un clima más suave y cálido, Moscú presenta un rango de temperaturas más amplio. Las explicaciones a este hecho pueden llegar a ser muy variadas, incluyendo la pequeña diferencia de latitud que puede observarse en la imagen o la altitud a la que se encuentran las ciudades; sin embargo, se espera que parte del alumnado nombre la localización continental de Moscú y costera de Aberdeen como una posible explicación del fenómeno. Esta información es parte del currículo de cursos inferiores y, además, es un hecho cercano y conocido para el estudiantado la suavidad del clima en las ciudades próximas a la costa frente a las grandes variaciones de temperatura que se producen en lugares de interior. Así, aunque otras de las explicaciones mencionadas también influyen en la diferencia de temperatura entre estas dos ciudades, se centrará la atención del alumnado en esta última una vez que sea nombrada.

Se procederá entonces a la indagación y confirmación de este hecho y también al estudio en profundidad de la dinámica marina. Para ello, se facilitará el enlace a dos vídeos explicativos de los que deberán extraer la información correspondiente para elaborar una presentación que contenga todos los elementos expuestos en la Tabla 6. Podrán realizar búsquedas adicionales en internet en caso de querer aclarar alguna información expuesta en los vídeos o ampliar parte de la misma. Dispondrán de 55 minutos para visualizar los vídeos, recoger la información y elaborar la presentación. En el último punto de la misma deberán incluir su explicación, ya basada en datos fiables, sobre por qué la temperatura de las dos ciudades expuestas al principio de la sesión se diferencia tanto y relacionar esto con la circulación termohalina que están estudiando. Su conclusión debe incluir el hecho de la liberación de calor en las costas de Europa del norte por parte de las corrientes del océano Atlántico que proceden de la zona ecuatorial.

Una vez elaboradas las presentaciones, cada grupo se dispondrá en zonas alejadas del aula y dispondrá de 25 minutos para preparar una breve exposición de su presentación (6-7 min) en la que todos los componentes del grupo deben participar. Esta será grabada en un ordenador mediante grabación de pantalla y audio y finalmente será cargada a la plataforma, estará visible para el resto de los compañeros/as y servirá para su posterior evaluación.

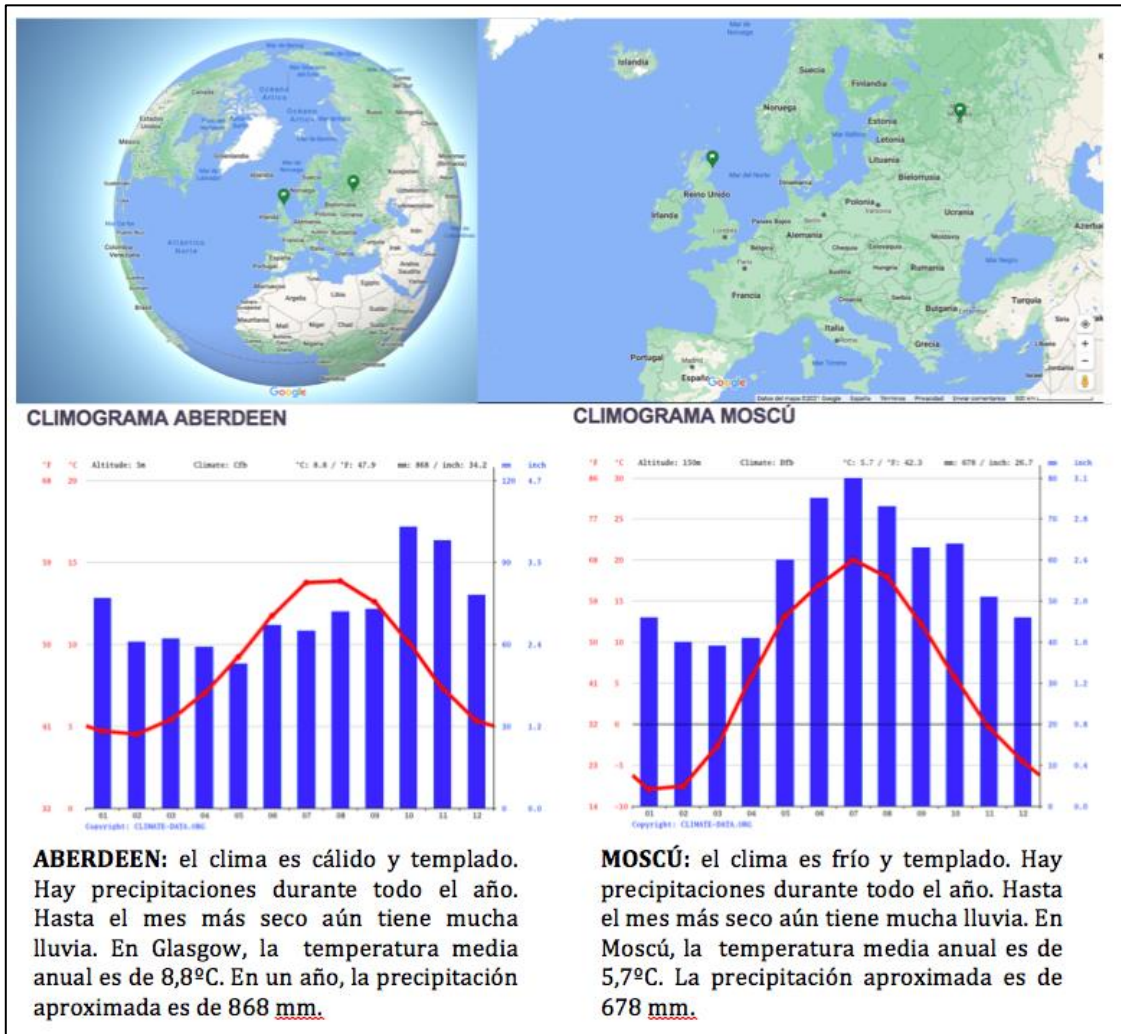


Figura 12. Localización y climogramas de Aberdeen y Moscú. Se muestra la localización de dos puntos situados en latitudes similares y las diferencias climáticas que presentan. Elaboración propia adaptado de <https://es.climate-data.org/> y <https://www.google.es/maps/?hl=es>

Tabla 6. Tabla de enlaces y contenidos sobre dinámica marina.

DINÁMICA MARINA	ÍNDICE DE LA PRESENTACIÓN
<p>VÍDEO 1 (4:33 min): El agua de mar y las corrientes marinas (Español). https://elmarafons.icm.csic.es/agua-y-corrientes/?lang=es</p>	<p>1. Corrientes marinas</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Concepto corrientes marinas b. Causas de las corrientes marinas c. Tipos de corrientes marinas: superficiales y profundas <p>2. Circulación termohalina</p> <p>3. Cinturón de circulación oceánica y distribución de calor en el planeta</p>
<p>VÍDEO 2 (12:55 min): How do ocean currents work? (Inglés, subtulado en español). https://www.youtube.com/watch?v=p4pWafuvdrY</p>	<ul style="list-style-type: none"> d. Influencia de las corrientes en la temperatura e. Influencia de las corrientes en los ecosistemas <p>5. ¿Por qué hay tanta diferencia de temperatura entre Aberdeen y Moscú? ¿Cómo influye la circulación termohalina? Conclusiones</p>

5.10. ACTIVIDAD 10: El océano en un cubo (1 hora/Laboratorio)

Una vez que el alumnado ha recapitulado gran cantidad de información sobre la dinámica marina y sobre cómo influye esto en el clima, llega el momento de validar experimentalmente todas las hipótesis extraídas. Para ello, se animará al diseño de un nuevo trabajo práctico que permita simular un modelo de océano y las corrientes marinas.

Inicialmente, para comprobar el efecto de la temperatura y la salinidad sobre la densidad del agua, se pueden realizar las siguientes preguntas al gran grupo para que piensen en experimentos sencillos en los que se puedan observar estos cambios de densidad producidos por la temperatura y la salinidad por separado.

- *En las sesiones anteriores hablasteis de cómo afectaba la temperatura y la salinidad a la densidad del agua, lo que hacía que esta se hundiera o quedara en superficie. Sería lógico comprobar el efecto de ambas características por separado, para poder observar bien cómo afecta cada una. ¿Cómo se os ocurre que podríamos comprobar esto?*

Es probable que el alumnado, tras escuchar esta pregunta, sugiera una mezcla de soluciones acuosas con características diferentes de temperatura y salinidad para comprobar si el agua fría y salada, en cada caso, se hunden mientras que el agua caliente y más dulce se quedan en superficie.

- *Si decidís que deberíamos mezclar agua fría y caliente o salada y no salada para ver qué ocurre, ¿cómo haríais esta mezcla? ¿Creéis que si vertemos de repente un vaso de agua fría en un cuenco con agua caliente los tipos de agua se mezclarán y se volverá templada o se quedarán por separado?*

Esta pregunta pretende guiar el diseño experimental tanto de estas pequeñas simulaciones como de la simulación que se hará posteriormente sobre el océano. Les anticipa que deben tener en consideración que la mezcla de las masas de agua con características diferentes debe hacerse de una forma suave o bien, en el caso de la temperatura, calentando solo una parte del agua del recipiente en el que se esté llevando a cabo el experimento, de manera que se establezca una diferencia de temperatura dentro de la misma masa de agua.

- *Entonces, si no mezclamos los dos tipos de agua bruscamente, ¿qué pensáis que ocurre si en un recipiente hay una parte de agua muy fría y otra de agua muy caliente? ¿Cómo se podría hacer esto visible a nuestro ojo? ¿Cómo os imagináis que se vería en un recipiente transparente?*

Esta cuestión hace pensar al alumnado sobre la necesidad de marcar el agua con distintas características para que se pueda diferenciar a simple vista. Pueden surgir

múltiples ideas pero se espera que la coloración de las distintas soluciones sea nombrada como una de ellas.

- *¿Cómo se os ocurre visualizar el mismo efecto pero producido por la salinidad?*

En cuanto al estudio de la salinidad, se puede realizar de la misma manera que el de la temperatura, pero usando agua dulce y agua en la que se haya disuelto previamente una determinada cantidad de sal (cuánto más saturada, mejor se verá el efecto).

- *¿Qué materiales podríais usar para ese experimento?*

Con este interrogante se da pie a la comprobación experimental determinando los materiales que necesitan para comprobar todo lo expuesto en las preguntas anteriores. Indiscutiblemente, serán nombrados: agua fría, agua caliente, sal, colorantes⁴, recipientes para mantener el agua y realizar las mezclas y cualquier otro material que pueda utilizarse para elaborar las mezclas de manera suave (esponjas, vasos de plástico y utensilios para agujerearlos, mecheros o velas, cuencos con agua caliente, cuchara para que el agua caiga poco a poco, etc.).

En cuanto a este último punto, en el diseño experimental propuesto se exponen dos metodologías diferentes para comprobar el efecto de la temperatura y de la salinidad, ilustrando así la gran cantidad de posibilidades diferentes que se podrían utilizar.

En este caso, el trabajo práctico se hará en dos partes. Primero, se pretende observar el efecto por separado de cada una de estas características (salinidad y temperatura) sobre la densidad del agua. Una vez el alumnado ha asimilado este comportamiento, la finalidad será que indaguen el efecto combinado de ambas variables en el agua de los océanos. Para comenzar, se pondrá a disposición del alumnado todos los materiales utilizables en el laboratorio y, con base en esto, deberán dilucidar su plan de trabajo para comprobar los efectos de la temperatura y la salinidad sobre la densidad del agua (30'). En la Figura 13 se muestra el montaje del diseño experimental y el resultado que debería obtener el alumnado y al final de este trabajo se incluye la explicación y demostración del mismo realizado por la autora (ver Anexo J). En este trabajo se incluye una explicación y demostración del planteamiento que se espera que desarrolle el alumnado de sendos diseños experimentales (ver Anexo J). Los equipos que propongan un buen diseño, aunque diferente a este, que permita ver claramente los resultados y que se base en los materiales disponibles, seguirán su propio plan de trabajo sin necesidad de ser exactamente igual al propuesto.

⁴ Se pueden utilizar colorantes alimenticios que son fáciles de encontrar, su precio es bajo y no presentan problemas de seguridad.

Una vez que el alumnado ha podido observar experimentalmente los cambios de densidad del agua, se procederá a la segunda parte del trabajo práctico. Se propondrá la realización de un diseño experimental que simule realmente al océano, en el cual el efecto de la temperatura y la salinidad se mezclan para crear las corrientes marinas por fuerzas de convección (30'). Para ello, la docente comunicará al gran grupo que, basándose en los diseños recién realizados y en lo que conocen de la circulación termohalina, diseñen un modelo analógico en el que simulen el océano y que permita observar el funcionamiento de las corrientes marinas. Cada grupo deberá comenzar con la cumplimentación de una tabla de datos (ver Anexo J) en el que recogerán los materiales, el procedimiento (pasos seguidos) y un dibujo esquemático del resultado tanto de los experimentos anteriores sobre el comportamiento del agua en función de la temperatura y salinidad, como de la nueva simulación del efecto de ambas variables en los océanos en el que se espera que combinen los dos efectos de las pruebas anteriores. Una vez realizado su planteamiento en esta tabla, deberán proceder a la construcción del mismo con el uso del material disponible (expuesto en los diseños experimentales anteriores). El movimiento de las corrientes dentro del recipiente debido a las diferencias de temperatura y salinidad debe ser documentado (se permitirá el uso de un teléfono móvil para este fin) ya que se usará posteriormente en la comunicación de sus resultados. En este trabajo se incluye la explicación y demostración del planteamiento que se espera que desarrolle el alumnado (ver Anexo J).



La profesora ejercerá un papel más activo durante el desarrollo de sus planes de trabajo ya que se considera que este experimento puede presentar una mayor complicación por el desconocimiento sobre el tema. Así, se exponen a continuación una serie de preguntas que podrán ser formuladas o no por la docente dependiendo de las necesidades detectadas.

- *Si estamos simulando el océano, ¿cómo creéis que debería ser el agua con la que rellenamos nuestro recipiente principal?*
- *¿Recordáis cuál era el que se consideraba motor principal de la circulación termohalina? ¿Qué lugares pensáis que nos interesa representar en este recipiente para observar el recorrido de las corrientes?*
- *¿Dónde pensáis localizar el agua fría y salina y el agua caliente y dulce?*
- *En lugar de poner nosotros el agua caliente en “nuestro océano”, ¿cómo se calienta ese agua en realidad? ¿Se os ocurre una mejor forma de simular este fenómeno?*
-



Figura 14. Trabajo práctico “El océano en un cubo”. Efecto combinado de temperatura y salinidad. Se muestra el material, procedimiento y resultados del trabajo práctico “El océano en un cubo”. Corrientes marinas. Las imágenes se muestran a mayor tamaño en el Anexo J.

De manera adicional y dependiendo del tiempo del que se disponga, cuando todos los grupos hayan terminado su simulación se puede hacer una demostración al grupo general de cómo actúa el viento sobre la dinámica marina. Para ello, la docente puede servirse del trabajo de uno de los grupos y ayudarse de un secador que suscite el movimiento del agua superficial, lo que ayudaría a observar cómo este contribuye también a la formación de corrientes marinas, tal y como habían estudiado en sesiones anteriores.

Una vez cumplimentado el documento con el dibujo esquemático del resultado obtenido, deberá ser enviado a la docente por la plataforma virtual.

5.11. ACTIVIDAD 11: ¡Echa un vistazo a nuestra web! (1 hora/ Aula de ordenadores)

En la última sesión de este ciclo de indagación, el alumnado debe comunicar sus resultados y finalmente realizar una pequeña reflexión sobre lo aprendido conectando sus nuevos conocimientos con el gran problema actual que supone el cambio climático. Se propondrá al alumnado el diseño de una página web sencilla, mediante la aplicación en línea gratuita Google Sites (Google Workspace, 2006), donde expliquen cómo es el funcionamiento de las corrientes marinas, detallen cómo ocurre la circulación termohalina y cómo afecta esta en el clima de la Tierra y finalmente describan el posible escenario que tendría lugar si el deshielo polar provoca una parada de esta circulación al disminuir la salinidad y aumentar la temperatura del agua del mar Ártico. Dispondrán de la sesión entera (1 hora) para la realización de estas páginas web. Además de los elementos nombrados anteriormente, también deben incluir el procedimiento experimental llevado a cabo, los dibujos de los resultados experimentales y el vídeo de su simulación de corrientes marinas. Adicionalmente, pueden añadir imágenes de internet y cuanta información consideren relevante, siempre y cuando incluyan la bibliografía consultada. La docente informará de que sus sitios web también pueden contener, opcionalmente, una explicación sobre porqué se encuentran realizando este trabajo y el nivel de satisfacción que les ha producido el desarrollo de esta actividad.

Esta herramienta permite el trabajo colaborativo simultáneo, por lo que los grupos podrán dividirse en parejas y encargarse de diferentes partes del proyecto trabajando simultáneamente. Una vez finalizadas, un enlace de las distintas páginas creadas será enviado cargado a la correspondiente carpeta Drive con el nombre Informe N°6: “Circulación termohalina: conclusiones”. La profesora se encargará de situar todos los enlaces en un lugar visible para que puedan visitar los proyectos de sus compañeros/as.

5.12. ACTIVIDAD 12: ¿Y hemos trabajado como verdaderos/as científicos y científicas? (1,5 horas/Aula ordinaria)

Para finalizar esta propuesta didáctica, se llevará a cabo una actividad en la que el alumnado pueda reflexionar sobre los pasos que se han seguido durante los ciclos de indagación-modelización para la construcción del conocimiento científico y de sus modelos. Además, se resaltarán aspectos fundamentales relacionados con la competencia científica y la naturaleza de

la ciencia que han sido tenidos en cuenta a la hora de adquirir este conocimiento y justificar su validez.

Todo esto se pondrá de manifiesto mediante un juego de rol en el que la profesora actuará como una periodista local que desea entrevistar al alumnado debido al gran interés de sus últimos trabajos científicos realizados. La docente explicará al alumnado que el programa de entrevistas pretende realizar una charla o coloquio con todos los/las compañeros/as de clase y que esto requiere una supervisión previa de las cuestiones que formarán parte de la conversación para dinamizar la posterior charla. Así, entregará al estudiantado un cuestionario que consta de tres bloques de preguntas (Tabla 7) que deberán leer individualmente y reflexionar sobre sus respuestas. La primera parte del cuestionario está relacionada con el desarrollo de la competencia científica en el alumnado, la segunda parte hace referencia a la dimensión epistémica de la ciencia y en la última parte se recapacita sobre el ciclo de indagación realizado en las actividades y sus efectos sobre el aprendizaje de las ciencias.

El debate o coloquio se realizará por partes, por lo que los distintos bloques se irán preparando poco a poco. Dispondrán de 5 minutos antes de cada sesión de debate para recapacitar sobre cada una de las partes, seguidos de otros 15 minutos de charla conjunta. El alumnado podrá realizar apuntes sobre el documento si lo considera necesario. Con este hecho se pretende conseguir que cada alumno/a reflexione sobre los interrogantes planteados para, seguidamente, exponer sus ideas y compartirlas con el resto de grupo, para que estas puedan ser debatidas y complementadas.

Finalmente, la entrevistadora (profesora) hará alusión a ese equipo de la Antártida con el que han estado trabajando para saber más sobre su trabajo como científicos/as. Ya que el alumnado ha mantenido un contacto directo, aunque ficticio, con el principal investigador de este equipo, puede ser motivador e instructivo realizar una entrevista a un científico real como es Francisco para conocer todo aquello que deseen sobre el trabajo científico en la vida real.

Para dar pie a esta entrevista, la docente realizará una serie de preguntas guía (Tabla 7) que pretenden encaminar al alumnado a sugerir una conferencia con Francisco. Seguidamente, el alumnado dispondrá de 15 minutos para escribir 2 o 3 preguntas que les gustaría que el investigador respondiera. Estas deben estar relacionadas con la construcción del conocimiento científico, la forma de trabajar en ciencia, las principales fuentes de robustez de los datos científicos y el componente afectivo o emocional relacionado con la ciencia. El resto de la sesión (15') se destinará a una conferencia auténtica con el cotutor de este trabajo Francisco J. Jiménez Espejo, especialista en Geoquímica y Paleoclimatología e investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Tabla 7. Preguntas del coloquio sobre el trabajo científico realizado

1ª PARTE DEL COLOQUIO:
<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál diríais que es la función de las hipótesis que se emite al inicio de los trabajos de investigación? ¿En qué os basabais a la hora de hacerlas? ¿Creéis que son necesarias? - Hoy en día podríamos encontrar en internet mucha información sobre el cambio climático. Supongo que parte de la información de la que disponéis vosotros/as como investigadores/as también la obtenéis de la red. ¿Cómo describiríais este proceso de búsqueda de información? ¿Qué cualidades destacáis del mismo? - ¿Las preguntas y dudas que van surgiendo durante las indagaciones pensáis que son un hecho positivo para el avance de la investigación o son un obstáculo? - ¿Creéis que el uso de simulaciones en la investigación científica facilita la adquisición de conocimiento? ¿Cómo diríais que os ha ayudado? ¿Pensáis que las predicciones que sois capaces de hacer con base en estas simulaciones están bien argumentadas científicamente? - A la hora de poner en marcha los trabajos prácticos con los que ha contado vuestra investigación, ¿qué os parecía más complicado, el diseño experimental sobre papel o la puesta en marcha del mismo una vez lo habíais descrito? ¿Qué características recordáis que os resultaran muy difíciles de prever o tener en cuenta cuando estabais diseñando vuestros experimentos? - ¿El trabajo científico acaba una vez que demostráis experimentalmente el hecho que estáis estudiando? ¿Qué pasos siguen a este? - Cuando hablamos de la ciencia, no podemos evitar pensar en la existencia de revistas científicas, libros de científicos/as relevantes, conferencias o simposios de estos profesionales, etc. ¿Qué relación tiene todo esto con el trabajo científico?
2º PARTE DEL COLOQUIO:
<ul style="list-style-type: none"> - ¿Se podría decir, bajo vuestro criterio, que teoría e hipótesis definen la misma cosa? - ¿En qué consideráis que está apoyado el conocimiento científico que habéis adquirido? - ¿Los modelos que habéis utilizado creéis que presentan algunas limitaciones? ¿Cuáles? - Vuestro trabajo de investigación ha sido realizado en pequeños grupos en los que todos los miembros han aportado su esfuerzo. ¿Os resulta esto una ventaja o un inconveniente? ¿Creéis que es común en ciencia trabajar de esta forma? - Una vez obtenéis vuestras conclusiones a partir de vuestros resultados experimentales, ¿son estas ya ciertas e inamovibles? ¿Pensáis que es frecuente la crítica y la revisión dentro de la ciencia? - ¿Consideráis la ciencia entonces como rígida e infalible? ¿Creéis que es lógico que existan cambios en el conocimiento científico y consideraciones alternativas (que estén basadas en pruebas y datos)?
3º PARTE DEL COLOQUIO:
<ul style="list-style-type: none"> - ¿Os han resultado interesantes los retos que os planteaba el equipo de la Antártida en sus sucesivos correos electrónicos? ¿Os parecían fenómenos lo suficientemente importantes y motivadores como para comenzar la búsqueda de una explicación? - ¿Qué pasos generales podéis destacar en vuestros procesos de búsqueda de explicaciones plausibles y justificadas a los diferentes fenómenos estudiados? - ¿Creéis que esta forma de proceder es una forma adecuada de enfrentarse a los problemas científicos (globales o no) que puedan surgir durante vuestras vidas para hallar una explicación a los mismos? - Hay gran cantidad de expertos/as en este tema del cambio climático o personas que os podrían haber explicado directamente todos los fenómenos que habéis investigado, como vuestra profesora. ¿Pensáis que habríais aprendido lo mismo escuchando una explicación que con el trabajo que habéis realizado?
CIERRE DEL COLOQUIO:
<ul style="list-style-type: none"> - Habéis trabajado codo a codo junto a un equipo de investigadores/as que han realizado una expedición a la Antártida. ¿Creéis que habéis trabajado de una forma similar a como lo hacen ellos/as en su carrera profesional? - ¿Conocéis las principales actuaciones y responsabilidades que asumen en sus trabajos? ¿Cómo creéis que llevan a cabo sus investigaciones científicas ya sea en la Antártida o en un laboratorio de la universidad? - ¿A quién podríais preguntar sobre estas cuestiones? ¿Con quién habéis mantenido contacto? - Si tuvieseis posibilidad de hablar con Francisco, ¿qué le preguntaríais sobre su carrera como científico? Uníos en vuestros grupos de trabajo originales y escribid 3 preguntas que le haríais relacionadas con todo lo hablado durante nuestro coloquio anterior. Francisco estará con nosotros y nosotras en unos minutos mediante conferencia para responder a ellas.

6. Atención a la diversidad

Con el objetivo de poder responder por igual a las necesidades y diferencias que siempre se encuentran en el aula, en este apartado se pretende apuntar a una serie de medidas educativas que garanticen una adecuada atención a la diversidad de carácter general. El trabajo por grupos heterogéneos, mantenido a lo largo de casi toda la propuesta, constituye un método facilitador para el alumnado necesitado de un apoyo extraordinario y supondrá un enriquecimiento para este. Así, este aprendizaje por secuencias de indagación en grupos promueve la inclusión de todo el alumnado. Por otra parte, el papel de andamiaje de la profesora permite observar de cerca la evolución del alumnado y establecer, en algunas ocasiones, a lo largo de la secuencia didáctica una enseñanza individualizada o dirigida. Cabe destacar que en las distintas actividades se ha apostado por la representación de la información en muy diferentes formatos y que la elaboración de productos finales sometidos a evaluación ha sido igualmente de gran variabilidad (audio, vídeo, presentación, infografía, diseño de página web, etc.). Con ello se pretende estrechar las diferencias de comprensión o expresión que puedan existir entre los/las estudiantes.

De ser implementada en algún momento esta propuesta, sería muy recomendable incluir en la plataforma virtual del centro una serie de material de apoyo, principalmente de conocimiento conceptual, que refuercen aquellos contenidos científicos que se han estudiado durante el desarrollo de las actividades. Este material podría estar compuesto por vídeos explicativos, documentales o textos que afiancen lo trabajado en el aula y aclare aquello que haya podido quedar más difuso en el proceso de construcción de los modelos del alumnado.

Por otro lado, también se apostaría por la puesta a disposición de los y las estudiantes de una serie de material educativo de profundización, que incluiría información sobre diversos temas que, por cuestión de tiempo, no pueden ser estudiados en la temporalización de la que se dispone. Algunos ejemplos serían: destrucción de ecosistemas de osos polares y otros animales que habitan en el Polo Norte, deshielo del permafrost con la consecuente liberación de carbono a la atmósfera, creación y desarrollo de sumideros de carbono artificiales en algunos países del mundo o el estudio de otros cambios climáticos acontecidos a lo largo de la historia de la Tierra. Asimismo, podrían recomendarse actividades voluntarias como la visualización y análisis de series o películas relacionadas con el cambio climático, tratando de localizar aquellos puntos que se corresponden con la realidad estudiada y los que consideran ficción (un buen ejemplo sería la visualización de la película “El día de mañana” (2004)).

7. Evaluación

La evaluación constituye una parte esencial del proceso educativo y uno de sus objetivos es optimizarlo (Rosales, 2014). La UNESCO (2005) define evaluación como “el proceso de recogida y tratamiento de informaciones pertinentes, válidas y fiables para permitir, a los actores interesados, tomar las decisiones que se impongan para mejorar las acciones y los resultados.” Esta evaluación puede aplicarse en distintos momentos del proceso de aprendizaje y servirá para identificar aquellos objetivos no cumplidos, reforzar los éxitos y corregir los errores del proceso pedagógico.

En nuestra propuesta didáctica se pretende llevar a cabo una **evaluación formativa o continua** para ir acomodando el proceso didáctico según las necesidades de aprendizaje detectadas en el alumnado. La finalidad de esta es identificar las deficiencias durante el desarrollo de la secuencia didáctica para tomar las decisiones necesarias y rectificarlas (Rosales, 2014). A la vez, será una forma de favorecer la evolución exitosa del alumnado y de valorar el desarrollo de la propuesta didáctica con vistas a poder mejorarla o reorientarla. Esta evaluación formativa será llevada a cabo mediante diversos instrumentos de evaluación como son rúbricas (de evaluación de competencia científica y de evaluación de trabajos de indagación) y diario del docente.

La rúbrica de evaluación de la competencia científica (ver Anexo K) está desarrollada según lo expuesto por Cañal de León (2012), quien enumera ciertos rasgos indicadores de la presencia y nivel de desarrollo de esta competencia en el alumnado. Como ya se mencionó al inicio de este trabajo, la competencia científica implica el dominio de contenidos, destrezas y actitudes de una manera integrada y la transferencia de este aprendizaje a otras situaciones y contextos. Es por ello por lo que estos serán los rasgos evaluados en esta rúbrica, procurando esta información principalmente mediante la observación directa del alumnado, tanto durante los procesos de debate y discusión establecidos en el aula como durante el trabajo en el laboratorio, así como del análisis de los seis informes grupales generados durante la propuesta didáctica y los diferentes productos finales elaborados y cargados en la plataforma virtual.

La rúbrica de evaluación de trabajos de indagación (ver Anexo K) tiene como finalidad evaluar la dimensión metodológica de nuestra propuesta didáctica valorando la capacidad del alumnado para entender y aplicar actividades prácticas y de investigación. Su desarrollo está basado en el instrumento de evaluación elaborado por Ferrés et al. (2014) y en las diferentes fases del proceso de indagación descritas por el NRC (2000). El material sometido a este tipo de evaluación será el conjunto de los seis informes grupales, los documentos que contienen el diseño experimental de las simulaciones y trabajos prácticos realizados.

Ya que la mayor parte del trabajo realizado en esta propuesta se hace de manera grupal, se propone el uso de un cuaderno del profesor que permita anotar la información recopilada mediante la observación directa durante los debates grupales, las discusiones generales y el trabajo en el laboratorio. Será una manera de completar la evaluación mediante rúbricas al realizar un registro individual relacionado con el desarrollo de la competencia científica y las capacidades indagatorias.

Asimismo, al final de la secuencia didáctica se llevará a cabo una **evaluación sumativa** que permita verificar los resultados obtenidos y conocer el nivel de alcance de los objetivos de cada alumno y alumna. Esta evaluación sumativa será llevada a cabo mediante un instrumento de evaluación consistente en una prueba escrita con preguntas de aplicación e interpretación y evitando aquellas de respuesta meramente reproductiva.

Para la obtención de la calificación final, se ha realizado una ponderación de los 19 criterios de evaluación trabajados en la propuesta didáctica, divididos en 3 categorías: básicos, deseables y óptimos. Los CE considerados básicos supondrán un 80% de la nota final, los deseables un 15% y los óptimos un 5%. Así, el valor asociado a cada CE es el siguiente:

- 13 CE Básicos (80%): cada criterio tendrá un valor de 6,15
- 4 CE Deseables (15%): cada criterio tendrá un valor de 3,75
- 2 CE Óptimos (5%): cada criterio tendrá un valor de 2,55

Cada instrumento de evaluación ha sido asociado a los diferentes CE que evalúa. La Tabla 8 muestra un sumario de todos los elementos relacionados con el proceso de evaluación de esta propuesta didáctica.

Tabla 8. Tabla resumen para la evaluación de la propuesta didáctica.

EVALUACIÓN						
CE	Valor	EAE	Competencias Clave	ACTIVIDADES	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	
B L O Q U E 1	1	6,15	1.1.	CCL, CMCT, CEC	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11,12	R1, R2, D, E
	2	6,15	2.1.	CCL, CMCT, CEC, CD, CAA, CSC, CEC	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11	R1, R2, D
			2.2.		2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11	R1, R2
			2.3.		2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	R1, R2, D, E
	3	6,15	3.1	CCL, CMCT, CAA, SIEP	3,6, 10	R2, D
3.2.			3, 4, 6, 7, 10		R2, D	
B L O	3	3,75	3.1.	CMCT, CEC	1, 2, 3, 8, 9, 10	D, E
	5	3,75	5.1.	CMCT	1, 2, 3, 8, 9	D, E
	8	6,15	8.1.	CMCT	1, 2, 3, 4	D, E
			8.2.		1, 2, 3, 4	D, E

Q U E 2			8.3.		1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,	D, E
	9	6,15	9.1.	CMCT, CD, CAA, CSC, SIEP	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11	R2, D, E
	10	6,15	10.1.	CMCT, CSC, CEC	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11	R2, D, E
	11	6,15	11.1.	CCL, CMCT	2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	R2, D
	12	2,55	12.1.	CMCT, CSC	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	D, E
	15	2,55	15.1.	CMCT	1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11	D, E
B L O Q U E 5	2	3,75	2.1.	CMCT	1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11	R2, D
	9	6,15	9.2.	CMCT, CSC	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	R2, D
	11	3,75	11.2.	CMCT	2, 3, 4,	R2, D
B L O Q U E 7	1	6,15	1.1.	CMCT, CAA, SIEP	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	R1, R2, D, E
	2	6,15	2.2.	CMCT, CAA, CSC, SIEP	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	R1, R2, D, E
	3	6,15	3.1.	CD, CAA	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11	R1, R2, D
	4	6,15	4.1.	CSC	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	R1, R2, D
	5	6,15	5.1.	CCL, CMCT, BCSC, SIEP	2, 3, 4, 8, 10	R1, R2, D
			5.2.		4, 7, 8, 9, 11	R1, R2, E

Nota. (R1): Rúbrica de competencia científica; (R2): rúbrica de indagación; (D): diario del docente y (E): prueba escrita.

8. Consideraciones finales

La enseñanza de las ciencias basada en indagación se ha convertido en una manera muy eficaz de impartir ciencia en el aula. No obstante, no debe olvidarse la importante conexión que debiera existir entre esta metodología y otras prácticas como la modelización y la argumentación. Es importante resaltar que la apropiada planificación de todo el proceso indagatorio es esencial, con el fin de evitar cometer algunos de los errores asociados al aprendizaje por indagación descritos por diversos autores. El papel activador del docente favorece la mayor implicación del alumnado en su propio proceso de aprendizaje y facilita, a su vez, la meta-cognición del mismo. Además, el uso de preguntas mediadoras por parte del profesor/a estimula el interés y la curiosidad del estudiantado y favorece la creación de dudas y nuevos interrogantes a los que buscar una respuesta. Si además estas preguntas son capaces de conectar lo ya conocido por el alumnado y la cuestión que se plantea y se hacen de manera contextualizada y centradas en la persona, se consigue que los/las escolares vayan construyendo nuevo conocimiento al forzar que vayan más allá de lo que ya conocen.

Debido a que la metodología IBSE (o más concretamente, IBM) contribuye al desarrollo de la competencia científica en el alumnado, es justo clasificarla como una herramienta idónea para la formación de personas preparadas para participar activamente en la sociedad actual

dominada por la ciencia y la tecnología y en la que nos tenemos que enfrentar muy a menudo a cuestiones socio-científicas de índole global. Asimismo, el uso de estas metodologías activas que integran la indagación y la modelización fomenta el desarrollo de la llamada dimensión epistémica del conocimiento científico, aspecto de la ciencia que actualmente sigue siendo bastante desconocido y que da lugar a controversias sin fundamento en temas de gran escala. Nos referimos con esto a los movimientos negacionistas que surgen alrededor de temas delicados que van desde la actual pandemia por COVID-19 que estamos sufriendo o su campaña de vacunación hasta el tema que nos ocupa en este trabajo, el cambio climático acelerado como consecuencia de las actividades humanas. Es imprescindible que la ciudadanía conozca los mecanismos por los que se obtiene el conocimiento científico, las formas de dar validez a estos y la constante modificación a la que está sometido este conocimiento para aumentar la confianza en la ciencia y no ser capaces de restar valor a los datos obtenidos rigurosamente por la misma. La educación temprana en estos temas constituye una buena estrategia para conseguir esta formación ciudadana y prevenir, en mayor medida, estos movimientos negacionistas.

A pesar de todas las cualidades descritas, es imposible no remarcar el reto que supone la transposición de la enseñanza basada en indagación a las aulas; este se basa tanto en la rigurosa planificación de la secuencia didáctica, tal y como se ha puntualizado anteriormente, como en el nivel de exigencia que supone para el profesorado y en el tiempo necesario para su implementación en el aula. Considero que sería coherente el desarrollo de programas de formación para los/las docentes, tanto en el inicio de su formación como a lo largo de su carrera profesional.

En cuanto a la implantación de la educación ambiental en el currículo, cabe mencionar que esta sigue considerándose escasa, a pesar de ser un elemento transversal a muchos de los contenidos recogidos en el mismo. El estudio sobre cambio climático y aspectos relacionados con el mismo (efecto invernadero, contaminación ambiental, etc.) queda reducido, en la mayoría de libros de texto, a varias páginas finales de la unidad didáctica relativa a la atmósfera. Además, suele presentarse junto con la explicación de otros problemas medioambientales como el fenómeno de destrucción de la capa de ozono o la lluvia ácida; esto genera un caos conceptual en los modelos mentales del alumnado que conduce a las ideas alternativas recogidas en este trabajo, como la atribución del calentamiento global a la presencia de un agujero en la capa de ozono, entre otras. Estas ideas alternativas en el alumnado son además fortalecidas por la desinformación de la sociedad en general y las numerosas fuentes de información no fiables que están al alcance de los/las jóvenes. Es por esto por lo que se considera que la implementación de una propuesta didáctica como la presentada aquí sería de gran interés, no solo para el mejor

entendimiento de los procesos relacionados con el cambio climático, sino, como se ha remarcado a lo largo de todo este trabajo, para la formación de personas con pensamiento crítico frente estos temas, con responsabilidad sobre cuestiones medioambientales que afectan a todo el planeta, con capacidad de discernir entre fuentes de información fiables y no fiables y, en definitiva, con un adecuado desarrollo de su competencia científica.

Finalmente, la imposibilidad de haber llevado a cabo una implementación de esta propuesta impide la obtención de conclusiones sobre la eficacia de la misma. Se asume que su puesta en práctica daría lugar a una serie de modificaciones con el fin de mejorar sus resultados y redefinir sus puntos débiles. Es de nuestro interés llevar a cabo esta implementación en un futuro y obtener así una medida real de su efectividad.

9. Referencias bibliográficas

- Abril Gallego, A. M., Romero Ariza, M., Quesada Armenteros, A., & García, F. J. (2013). Creencias del profesorado en ejercicio y en formación sobre el aprendizaje por investigación. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 11(1), pp-22.
- Adamuz, J. A. (2021). Astrofísicos de Princeton diseñan el mapamundi “más preciso”. Viajes National Geographic.
https://viajes.nationalgeographic.com.es/lifestyle/astrofisicos-princeton-disenan-mapamundi-mas-preciso_16508
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación química*, 23, 248-256.
- Aguilera Morales, D., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruiz-Delgado, Á., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M., & Perales-Palacios, F. J. (2018). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Revista de Educación*, 381, 259-284
- Aliberas i Maymí, J., Gutiérrez, R., & Izquierdo i Aymerich, M. (2017). Introducción a un método para la conducción y análisis de diálogos didácticos basado en la evaluación de modelos mentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 7-28.
- Amos, S. (2002). Teachers' questions in the science classroom. *Aspects of Teaching Secondary Science*, Routledge Falmer, 5-15.
- Andersson, B., & Wallin, A. (2000). Students' understanding of the greenhouse effect, the societal consequences of reducing CO2 emissions and the problem of ozone layer depletion. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1096-1111.
- Ayala Arroyave, C. (2013). *Estrategia metodológica basada en la indagación guiada con estudiantes de grado séptimo de la Institución Educativa Rafael J. Mejía del municipio de Sabaneta*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional.
- Bargalló, C. M., & Tort, M. R. (2006). Plantear preguntas: un punto de partida para aprender ciencias. *Revista Educación y pedagogía*, 18(45), 61-71.
- Barrón, Á., Ferrer-Balas, D., & Navarrete Salvador, A. (2010). Sostenibilización curricular en las universidades españolas. ¿Ha llegado la hora de actuar? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7 (Nº Extraordinario), 388-399.
- Bevins, S., & Price, G. (2016). Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal of Science Education*, 38(1), 17-29.
- Boon, H. J. (2010). Climate change? Who knows? A comparison of secondary students and pre-service teachers. *Australian Journal of Teacher Education*, 35(1), 104-120.
- Bostrom, A., Morgan, M. G., Fischhoff, B., & Read, D. (1994). What do people know about global climate change? 1. Mental models. *Risk Analysis*, 14(6), 959-970.
- Caamaño, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos. *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales*, 70, 83-91.

- Cañal de León, P. (2012). ¿Cómo evaluar la competencia científica? *Revista Investigación en la Escuela*, 78, 5-17.
- Capstick, S. B., & Pidgeon, N. F. (2014). What is climate change scepticism? Examination of the concept using a mixed methods study of the UK public. *Global Environmental Change*, 24, 389-401.
- Cartea, P. Á. M. (coord.) (2011). *Conoce y valora el cambio climático. Propuestas para trabajar en grupo*. Fundación MAPFRE.
- Convención Marco para el Cambio Climático (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. http://www.cma.gva.es/comunes_asp/documentos/legislacion/val/006000209_1.pdf
- Consejería de Educación (2016). *Decreto 111/2016, de 14 de junio, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía*. BOJA de 28 de junio de 2016, 122. Recuperado de <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2016/122/2>
- Consejería de Educación (2020). *Decreto 182/2020, de 10 de noviembre, por el que se modifica el Decreto 111/2016, de 14 de junio, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía*. BOJA de 28 de junio de 2016, 122. Recuperado de <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2020/221/5>
- Consejería de Educación (2021). *Orden de 15 de enero de 2021, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la etapa de Educación Primaria en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se regulan determinados aspectos de la atención a la diversidad, se establece la ordenación de la evaluación del proceso de aprendizaje del alumnado y se determina el proceso de tránsito entre distintas etapas educativas*. BOJA de 18 de enero de 2021, 7. Recuperado de <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2021/507/1>
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *XXVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*.
- Domènech-Casal, J. (2014). Contextos de indagación y controversias socio-científicas para la enseñanza del Cambio Climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22(3), 287-287.
- Durán, M. J., Gallardo, S., Toral, S. L., Martínez-Torres, R., & Barrero, F. J. (2007). A learning methodology using Matlab/Simulink for undergraduate electrical engineering courses attending to learner satisfaction outcomes. *International Journal of Technology and Design Education*, 17(1), 55-73.
- Fernández, I., Gil, D., Alís, J. C., Cachapuz, A. F., & Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 20(3), 477-488.
- Fernández, J. L. U. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la real academia de medicina y cirugía de Valladolid*, (50), 71-98.
- Ferrés Gurt, C., Marbà Tallada, A., & Sanmartí Puig, N. (2014). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), pp-22.
- Galagovsky, L. R., & Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231-242.
- García-Rodeja Gayoso, I., & Lima de Oliveira, G. (2012). Sobre el cambio climático y el cambio de los modelos de pensamiento de los alumnos sección investigación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 195-218.
- Garrido Espeja, A. (2016). *Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica*. Tesis doctoral no publicada. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Garrido Espeja, A., & Couso, D. (2017). La modelización en la formación inicial de maestros: ¿qué mecanismos o estrategias la promueven? *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 0137-144.
- Gaudiano, E. G. (2007). Educación y cambio climático: un desafío inexorable. *Trayectorias*, 9(25), 33-44.
- Gibson, H. L., & Chase, C. (2002). Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science education*, 86(5), 693-705.
- Gulizia, C., & Zazulie, N. (2012). Ideas previas en el aprendizaje del efecto invernadero y el calentamiento global en estudiantes universitarios de Ciencias Exactas y Naturales. In *III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales 26, 27 y 28 de septiembre de 2012 La Plata, Argentina*. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Ciencias Exactas y Naturales.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International journal of science education*, 22(9), 1011-1026.
- Herron, M. D. (1971). The nature of scientific enquiry. *The school review*, 79(2), 171-212.
- Jeffries, H., Stanisstreet, M. y Boyes, E. (2001). Knowledge about the ‘Greenhouse Effect’: Have college students improved? *Research in Science & Technological Education*, 19 (2): 205219.

- Kaberman, Z., & Dori, Y. J. (2009). Question posing, inquiry, and modeling skills of chemistry students in the case-based computerized laboratory environment. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(3), 597-625.
- Koulaidis, V., & Christidou, V. (1999). Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. *Science Education*, 83(5), 559-576.
- Linn, M. C., Davis, E. A., & Bell, P. (2004). Inquiry and technology. *Internet environments for science education*, 3-28.
- López-Gay, R., Liso, M. R. J., & Chico, M. M. (2015). Enseñanza de un modelo de energía mediante indagación y uso de sensores. *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales*, (80), 38-48.
- Maaß, K., & Euler, M. (2011). *PRIMAS WP9—Report about the survey on inquiry-based learning and teaching in the European partner countries*. EU-Project PRIMAS.
- Márquez, C., Roca, M., Gómez, A., Sardá, A., & Pujol Villalonga, R. M. (2004). La construcción de modelos explicativos complejos mediante preguntas mediadoras. *Revista Investigación en la Escuela*, 53, 71-81.
- Martín Páez, T., Carrillo Rosúa, F. J., Lupiáñez Gómez, J. L., & Vilchez González, J. M. (2019). Análisis de las pruebas externas de evaluación de la competencia científico-tecnológica de 6º de Educación Primaria en España (2016). *Enseñanza de las ciencias*, 37(2), 127-149.
- Martínez-Chico, M., Jiménez Liso, M. R., & López-Gay Lucio-Villegas, R. (2015). Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 149-166.
- Martínez-Chico, M., Lopez-Gay, R., & Jiménez Liso, M. (2017). Prácticas científicas en la formación inicial de maestros: indagación para describir y modelizar. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 0159-164.
- Martínez-Chico, M., López-Gay, R., Jiménez-Liso, M. R., & Oller, M. T. (2017). Una propuesta integrada para la formación inicial de maestros: desde el aprendizaje de ciencias mediante indagación y modelización a la competencia para enseñar ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 115-122.
- Martínez Chico, M., López-Gay Lucio-Villegas, R., & Jiménez Liso, M. (2013). Propuesta de formación inicial de maestros fundamentada en la enseñanza por indagación centrada en el modelo de sol-tierra. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 2173-2178.
- Meira Cartea, P. Á. (2015). ¿Hay un agujero en la capa de ozono de tu cambio climático? De la cultura científica a la cultura común. *MÉTODE Science Studies Journal*, (85), 49-55.
- Mindomo (10.0.2) [Software] (2007). Recuperado de <https://www.mindomo.com/es/>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2006). *LEY ORGÁNICA 2/2006, de 3 de mayo, de Educación*. BOE, de 4 de mayo de 2006, 106, 17158-17206. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es/lo/2006/05/03/2/con>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015a). *REAL DECRETO 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. BOE, de 3 de enero de 2015, 3, 169-546. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/12/26/1105/con>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015b). *ORDEN ECD/65/2015, de 21 de enero de 2015, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato*. BOE, de 29 de enero de 2015, 25, 6986-7003. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es/o/2015/01/21/ecd65>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2020). *LEY ORGÁNICA 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación*. BOE, de 30 de diciembre de 2020, 340, 122868-122953. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es/lo/2020/12/29/3>
- Moreira, M. A., Greca, I. M., & Palmero, M. L. R. (2002). Modelos Mentales Y Modelos Conceptuales En La Enseñanza & Aprendizaje de Las Ciencias 13 (Mental models and conceptual models in the teaching & learning of science). *Revista Brasileira de Investigaçao em Educaçao em Ciências*, 2(3), 84-96.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. National Academies Press.
- National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts and Core Ideas* Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education, ed. The National Academies Press
- Nudelman, N. S. (2015). Educación en ciencias basada en la indagación. *CTS: Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad*, 10(28), 11-22.
- Núñez, M. D. C. C., Manzano, S. S., Cepeda, J. S. S., & Macías, C. R. (2013). Ideas alternativas sobre cambio climático, adelgazamiento de la capa de ozono y lluvia ácida de un grupo de alumnos de centros de enseñanza permanente de adultos. *Enseñanza de las ciencias*. (Extra), 796-802.

- OECD (2016), PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy, PISA, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264255425-en>
- Oliva Martínez, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 37(2), 5-24.
- Osborne, J. (2014). Scientific practices and inquiry in the science classroom. In *Handbook of research on science education, Volume II* (pp. 593-613). Routledge.
- Pérez Nieto, T. (2015). Desarrollo de material docente para la educación medioambiental: cambio climático, ozono y otros impactos antrópicos.
- Prieto Navarro, L. (2007). *El aprendizaje cooperativo*. PPC.
- Prince, M., & Felder, R. (2007). The many faces of inductive teaching and learning. *Journal of college science teaching*, 36(5), 14-20.
- Robredo, Beatriz, & Ladrera, Rubén. (2020). ¿Preparados para la acción climática al finalizar la educación primaria? *Revista mexicana de investigación educativa*, 25(87), 933-955.
- Roca Tort, M., & Márquez, C. (2005). Las preguntas de los libros de texto y la construcción de los modelos científicos. *Enseñanza de las ciencias, (Extra)*, VII Congreso.
- Rocard, Y. (2007) *Science Education Now*. Report EU22-845, European Commission.
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 14(2), 286-299.
- Rosa, S. M. (2019). Proyectos de investigación en los estudios universitarios: progreso de la observación a la indagación. *Enseñanza de las ciencias*, 37(1), 195-211.
- Rosales, M. (2014). Proceso evaluativo: evaluación sumativa, evaluación formativa y Assessment su impacto en la educación actual. In *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación* (Vol. 4, p. 662).
- Schwarz, C. V., & Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science education*, 91(1), 158-186.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Secker, C. V. (2002). Effects of inquiry-based teacher practices on science excellence and equity. *The Journal of Educational Research*, 95(3), 151-160.
- Seymour, E., & Hewitt, N. M. (1997). *Talking about leaving* (p. 134). Westview Press.
- Simó, V. L., Grimalt-Álvaro, C., & Lagarón, D. C. (2018). ¿Cómo ayuda la Pizarra Digital Interactiva (PDI) a la hora de promover prácticas de indagación y modelización en el aula de ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(3), 3302-3302.
- Soto, M., Couso, D., López Simó, V., & Hernández, M. I. (2017). Promoviendo la apropiación del modelo de energía en estudiantes de 4º de ESO a través del diseño didáctico. *Apice*, 1(1), 90-106.
- Vázquez-Alonso, Á., & Manassero-Mas, M. A. (2017). Juegos para enseñar la naturaleza del conocimiento científico y tecnológico. *Educar*, 53(1), 149-170.
- Vázquez Alonso, Á., & Manassero-Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 2-31.
- Vázquez-Alonso, Á., & Mas, M. A. M. (2018). El conocimiento epistémico en la evaluación de la competencia científica en PISA 2015 The epistemic knowledge of scientific competence in the evaluation PISA 2015. *Revista de Educación*, 380, 103-128.
- Villarroel, J.D. & Zuazagoitia, D. (2016). El fenómeno de la exclusión de la salmuera: una propuesta práctica para la formación de maestros de primaria. *Educación Química*, 27(3), 205-208.
- Walker, M. (2015). *Teaching inquiry-based science*. Lulu. com.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). How novice science teachers appropriate epistemic discourses around model-based inquiry for use in classrooms. *Cognition and Instruction*, 26(3), 310-378.

10. Anexos

Anexo A. Datos relacionados con el marco curricular.

- **Tabla A1.** *Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables trabajados en la presente propuesta didáctica y correspondientes a la asignatura de Biología y Geología de los cursos 1º y 3º de ESO según lo establecido en el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre.*

Biología y Geología. 1º y 3º ESO		
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 1. Habilidades, destrezas y estrategias. Metodología científica.		
<p>La metodología científica. Características básicas.</p> <p>La experimentación en Biología y geología: obtención y selección de información a partir de la selección y recogida de muestra del medio natural.</p>	<p>1. Utilizar adecuadamente el vocabulario científico en un contexto preciso y adecuado a su nivel.</p> <p>2. Buscar, seleccionar e interpretar la información de carácter científico y utilizar dicha información para formarse una opinión propia, expresarse con precisión y argumentar sobre problemas relacionados con el medio natural y la salud.</p> <p>3. Realizar un trabajo experimental con ayuda de un guión de prácticas de laboratorio o de campo describiendo su ejecución e interpretando sus resultados.</p>	<p>1.1. Identifica los términos más frecuentes del vocabulario científico, expresándose de forma correcta tanto oralmente como por escrito.</p> <p>2.1. Busca, selecciona e interpreta la información de carácter científico a partir de la utilización de diversas fuentes.</p> <p>2.2. Transmite la información seleccionada de manera precisa utilizando diversos soportes.</p> <p>2.3. Utiliza la información de carácter científico para formarse una opinión propia y argumentar sobre problemas relacionados.</p> <p>3.1. Conoce y respeta las normas de seguridad en el laboratorio, respetando y cuidando los instrumentos y el material empleado.</p> <p>3.2. Desarrolla con autonomía la planificación del trabajo experimental, utilizando tanto instrumentos ópticos de reconocimiento, como material básico de laboratorio, argumentando el proceso experimental seguido, describiendo sus observaciones e interpretando sus resultados.</p>
Bloque 2. La Tierra en el universo		
<p>El planeta Tierra. Características. Movimientos: consecuencias y movimientos.</p> <p>La atmósfera. Composición y estructura. Contaminación atmosférica. Efecto invernadero. Importancia de la atmósfera para los seres vivos.</p>	<p>3. Relacionar comparativamente la posición de un planeta en el sistema solar con sus características.</p> <p>5. Establecer los movimientos de la Tierra, la Luna y el Sol y relacionarlos con la existencia del día y la noche, las estaciones, las mareas y los eclipses.</p> <p>8. Analizar las características y composición de la atmósfera y las propiedades del aire.</p>	<p>3.1. Precisa qué características se dan en el planeta Tierra, y no se dan en los otros planetas, que permiten el desarrollo de la vida en él.</p> <p>5.1. Categoriza los fenómenos principales relacionados con el movimiento y posición de los astros, deduciendo su importancia para la vida.</p> <p>8.1. Reconoce la estructura y composición de la atmósfera.</p>

<p>La hidrosfera. El agua en la Tierra. Agua dulce y agua salada: importancia para los seres vivos. Contaminación del agua dulce y salada.</p> <p>La biosfera. Características que hicieron de la Tierra un planeta habitable.</p>	<p>9. Investigar y recabar información sobre los problemas de contaminación ambiental actuales y sus repercusiones, y desarrollar actitudes que contribuyan a su solución.</p> <p>10. Reconocer la importancia del papel protector de la atmósfera para los seres vivos y considerar las repercusiones de la actividad humana en la misma.</p> <p>11. Describir las propiedades del agua y su importancia para la existencia de la vida.</p> <p>12. Interpretar la distribución del agua en la Tierra, así como el ciclo del agua y el uso que hace de ella el ser humano.</p> <p>15. Seleccionar las características que hacen de la Tierra un planeta especial para el desarrollo de la vida.</p>	<p>8.2. Reconoce la composición del aire, e identifica los contaminantes principales relacionándolos con su origen.</p> <p>8.3. Identifica y justifica con argumentaciones sencillas, las causas que sustentan el papel protector de la atmósfera para los seres vivos.</p> <p>9.1. Relaciona la contaminación ambiental con el deterioro del medio ambiente, proponiendo acciones y hábitos que contribuyan a su solución.</p> <p>10.1. Relaciones situaciones en las que la actividad humana interfiera con la acción protectora de la atmósfera.</p> <p>11.1. Reconoce las propiedades anómalas del agua relacionándolas con las consecuencias que tienen para el mantenimiento de la vida en la Tierra.</p> <p>12.1 Describe el ciclo del agua, relacionándolo con los cambios de estado de agregación de ésta.</p> <p>15.1. Describe las características que posibilitaron el desarrollo de la vida en la Tierra.</p>
<p>Bloque 5. El relieve terrestre y su evolución</p>		
<p>Factores que condicionan el relieve terrestre. El modelado del releve. Los agentes geológicos externos y los procesos de meteorización, erosión, transporte y sedimentación.</p> <p>Acción geológica de los seres vivos. La especie humana como agente geológico.</p> <p>Manifestaciones de la energía interna de la Tierra. Origen y tipos de magmas. Actividad sísmica y volcánica. Distribución de volcanes y terremotos. Los riesgos sísmico y volcánico. Importancia de su predicción y prevención.</p>	<p>2. Relacionar los procesos geológicos externos con la energía que los activa y diferenciarlos de los procesos internos.</p> <p>9. Reconocer la actividad geológica de los seres vivos y valorar la importancia de la especie humana como agente geológico externo.</p> <p>11. Analizar las actividades sísmica y volcánica, sus características y los efectos que generan.</p>	<p>2.1. Relacione la energía solar con los procesos externos y justifica el papel de la gravedad en su dinámica.</p> <p>9.2. Valora la importancia de actividades humanas en la transformación de la superficie terrestre.</p> <p>11.2. Relaciona los tipos de erupción volcánica con el magma que los origina y los asocia con su peligrosidad.</p>
<p>Bloque 7. Proyecto de investigación</p>		
<p>Proyecto de investigación en equipo</p>	<p>1. Planear, aplicar e integrar las destrezas y habilidades propias del trabajo científico.</p> <p>2. Elaborar hipótesis y contrastarlas a través de la experimentación o la observación y la argumentación.</p> <p>3. Utilizar fuentes de información variada, discriminar y decidir sobre ellas y los métodos empleados para su obtención.</p>	<p>1.1. Integra y aplica las destrezas propias del método científico.</p> <p>2.1. Utiliza argumentos justificando las hipótesis que propone.</p> <p>3.1. Utiliza diferentes fuentes de información, apoyándose en las TIC, para la elaboración y presentación de sus investigaciones.</p> <p>4.1. Participa, valora y respeta el trabajo individual y grupal.</p>

	<p>4. Participar, valorar y respetar el trabajo individual y en equipo.</p> <p>5. Exponer y defender en público el proyecto de investigación realizado.</p>	<p>5.1. Diseña pequeños trabajos de investigación sobre animales y/o plantas, los ecosistemas de su entorno o la alimentación y nutrición humana para su presentación y defensa en el aula.</p> <p>5.2. Expresa con precisión y coherencia tanto verbalmente como por escrito las conclusiones de sus investigaciones.</p>
--	---	---

Nota. Se marcan en negrita aquellos contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables con mayor representación en esta propuesta.

- **Tabla A2.** *Competencias básicas desarrolladas por la presente propuesta didáctica según lo expuesto en la Orden de 15 de enero de 2021 (p. 701).*

DESARROLLO DE LAS COMPETENCIAS BÁSICAS	
Competencia en comunicación lingüística (CCL)	Desarrollada al aportar el conocimiento del lenguaje de la ciencia mediante todas las actividades planteadas, resaltando su uso en la comunicación de conclusiones realizada varias veces a lo largo de la propuesta; también se desarrolla esta competencia al fomentar el debate y la defensa de las ideas propias a lo largo de toda la secuencia de actividades.
Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT)	Es la competencia más desarrollada en nuestra propuesta. Esto es mediante la elaboración de simulaciones y trabajos prácticos que exigen la comprensión de elementos como magnitud, relación entre variables, recogida de resultados, interpretación de datos, extracción de conclusiones y comunicación en lenguaje científico o matemático (durante el diseño de los trabajos prácticos, también es necesaria la realización de operaciones matemáticas como porcentajes, medidas, etc.).
Competencia digital (CD)	Esta competencia es desarrollada mediante la utilización de tecnologías de la información y comunicación para la realización de muchos de los productos finales planteados en la propuesta y mediante la búsqueda, selección y procesamiento de información necesaria para las actividades de indagación.
Competencias sociales y cívicas (CSC)	Competencia abordada a través del compromiso con la solución de un problema social de gran índole, como es el cambio climático, el intercambio razonado, crítico y respetuoso de opiniones sobre temas que incumben a toda la población mundial y al medio y mediante la recopilación y concienciación de actitudes solidarias frente a este problema.
Competencia de aprender a aprender (CAA)	Desarrollada mediante la disposición de las distintas actividades de manera coherente para conseguir un objetivo, debiendo determinar adecuadamente el método de trabajo o la distribución de tareas compartidas. Igualmente, se pretende capacitar al alumnado para que siga aprendiendo a lo largo de su vida de una manera eficaz y permanente.

- Tabla A3. *Objetivos de la asignatura de Biología y Geología según lo expuesto en la Orden de 15 de enero de 2021 (p. 701).*

Objetivos de la asignatura de Biología y Geología Orden de 15 de enero de 2021 (p. 701)	
1	Comprender y utilizar las estrategias y los conceptos básicos de la Biología y Geología para interpretar los fenómenos naturales, así como para analizar y valorar las repercusiones de desarrollos científicos y sus aplicaciones.
2	Aplicar, en la resolución de problemas, estrategias coherentes con los procedimientos de las ciencias, tales como la discusión del interés de los problemas planteados, la formulación de hipótesis, la elaboración de estrategias de resolución y de diseños experimentales, el análisis de resultados, la consideración de aplicaciones y repercusiones del estudio realizado y la búsqueda de coherencia global.
3	Comprender y expresar mensajes con contenido científico utilizando el lenguaje oral y escrito con propiedad, interpretar diagramas, gráficas, tablas y expresiones matemáticas elementales, así como comunicar a otras personas argumentaciones y explicaciones en el ámbito de la ciencia.
4	Obtener información sobre temas científicos, utilizando distintas fuentes, incluidas las tecnologías de la información y la comunicación, y emplearla, valorando su contenido, para fundamentar y orientar trabajos sobre temas científicos.
5	Adoptar actitudes críticas fundamentadas en el conocimiento para analizar, individualmente o en grupo, cuestiones científicas.
7	Comprender la importancia de utilizar los conocimientos de la Biología y Geología para satisfacer las necesidades humanas y participar en la necesaria toma de decisiones en torno a problemas locales y globales a los que nos enfrentamos.
8	Conocer y valorar las interacciones de la ciencia con la sociedad y el medio ambiente, con atención particular a los problemas a los que se enfrenta hoy la humanidad y la necesidad de búsqueda y aplicación de soluciones, sujetas al principio de precaución, para avanzar hacia un futuro sostenible.

Anexo B. Transposición curricular de la secuencia didáctica.

TRANSPOSICIÓN CURRICULAR		
SESIÓN	ACTIVIDADES	TEMPORALIZACIÓN Y ESCENARIO
1	A1. “¿Qué está pasando en la Antártida?” Contextualización, estudio de ideas previas y elaboración de hipótesis. Producto final: Informe N°1.	1 hora – Aula ordinaria
2	A2. “Busquemos pruebas” Recogida de información y pruebas y su organización. Producto final: mapas conceptuales de atmósfera; efecto invernadero y destrucción capa de ozono; cambio climático.	1 hora – Aula de ordenadores
3	A3. “¡Esto hay que comprobarlo!” Diseño y puesta en funcionamiento del primer trabajo práctico. Producto final: diseño del plan de trabajo y recogida de datos.	1.5 horas - Laboratorio
4	A4. “Estas son nuestras conclusiones” Análisis de datos, obtención de conclusiones y comunicación de resultados. Producto final: Informe N°2.	1 hora – Aula de ordenadores
5	A5. “¿Y el Polo Norte?” Contextualización, estudio de ideas previas y elaboración de hipótesis. Producto final: Informe N°3.	1 hora – Aula de ordenadores
6	A6. “¡Romparamos el hielo!” Diseño y puesta en funcionamiento del segundo trabajo práctico. Producto final: diseño del plan de trabajo y recogida de datos.	1.5 – 2 horas - Laboratorio
7	A7. “Publicamos nuestro artículo científico” Análisis de datos, obtención de conclusiones y comunicación de resultados. Producto final: Informe N°4.	1 hora – Aula de ordenadores
8	A8. “Una gota de agua que viaja por todo el planeta” Contextualización, estudio de ideas previas, elaboración de hipótesis, búsqueda de información y organización de la misma. Producto final: Informe N°5 y audio-vídeo.	1 hora – Aula de ordenadores
9	A9. “Océano y atmósfera van de la mano” Estudio de ideas previas, búsqueda de información y su organización. Producto final: Exposición oral.	1.5 horas – Aula de ordenadores
10	A10. “El océano en un cubo” Diseño y puesta en funcionamiento del tercer trabajo práctico. Producto final: diseño del plan de trabajo y recogida de datos.	1 hora - Laboratorio
11	A11. “¡Echa un vistazo a nuestra web!” Análisis de datos, obtención de conclusiones y comunicación de resultados. Producto final: Informe N°6	1 hora – Aula de ordenadores
12	A12. “¿Y hemos trabajado como verdaderos/as científicos y científicas?” Debates o coloquios a nivel meta-cognitivo.	1.5 horas – Aula ordinaria

Anexo C. Listado de recursos web para Actividad 2

Listado de recursos web		
Contenido	Localización	Enlaces
Atmósfera	Epígrafe izquierdo “Atmósfera”	http://www.educaplus.org/climatic/01_atm_compo.html
Atmósfera	Epígrafe Contenidos	https://servicios.educarm.es/cnice/biosfera/datos/alumno/1ESO/atmosfera/contenidos.htm
Guía de conceptos Cambio climático	Documento completo	https://www.unicef.es/sites/unicef.es/files/comunicacion/unicef-educa-npnd-glosario-cambio-climatico-derechos-infancia.pdf
Cambio climático y efecto invernadero	Unidad 1 y 2 (Páginas 1 – 17 del documento)	https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-de-apoyo-docente-en-Cambio-Climatico.pdf
Cambio climático y efecto invernadero	Páginas 1- 11	https://agroambient.gva.es/documents/20550103/169659800/PANELES_EXPO_CASTELLANO/793e3517-3f3d-4c98-a670-e01f85136f99
Cambio climático y efecto invernadero	Páginas 5 - 11	https://agroambient.gva.es/documents/20550103/170625582/Experimentos+para+trabajar+en+el+aula+diversos+aspectos+del+cambio+clim%C3%A1tico.+Fichas+de+trabajo/ae0b14a9-a845-47a1-b989-86dad58f08e1
Efecto invernadero	Artículo completo	https://www.ecologiaverde.com/efecto-invernadero-causas-consecuencias-y-soluciones-1031.html
Causas y consecuencias Cambio Climático	Epígrafe superior “Cambio Climático”	https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_es
Destrucción capa de ozono	Epígrafe superior “EU Action” > “Protection of the ozone layer”	https://ec.europa.eu/clima/policies/ozone_es
Agujero capa de ozono (formación y destrucción del ozono)	Epígrafe superior “Química de la atmósfera” > “Ozono” > “Formación y destrucción del ozono estratosférico”	http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/formacion-y-destruccion-del-ozono-estratosferico
Destrucción capa de ozono	Artículo completo	https://www.ecologiaverde.com/destruccion-de-la-capade-ozono-definicion-causas-y-consecuencias-1916.html

Anexo D. Fundamentación de las Actividades 2 – 12.

- Fundamentación de la actividad 2:

Con esta actividad se pretende que, una vez que el alumnado ha dado una explicación al problema basada en sus conocimientos o experiencia previos y consistente con sus modelos mentales establecidos, se disponga a confirmar o refutar la misma en base a una serie de pruebas (NRC, 2000). Estas pueden obtenerse de diseños experimentales propios, como se hará en la sesión posterior; no obstante, con esta actividad se pretende encaminar el desarrollo de estos diseños para que se elaboren disponiendo de un mejor conocimiento de los fenómenos en cuestión. Se trataría, por tanto, del inicio del punto que se corresponde con la búsqueda de pruebas de nuestra secuencia de indagación-modelización.

Con la primera pregunta, se espera que el alumnado centre su atención en la atmósfera y sugieran una búsqueda de información en los recursos facilitados para saber más sobre la composición química de la misma y su estructura, haciendo alusión a las distintas capas que la componen (troposfera, estratosfera (incluyendo la capa de ozono), mesosfera, termosfera y exosfera), la altura a la que se encuentran o espesor de las mismas y principales características asociadas a cada capa. Es esperable que nombren los principales gases que la constituyen y sería deseable que tuviesen en cuenta la difusión homogénea de los gases en la atmósfera (al menos, en las primeras tres capas). Se pide que este mapa conceptual se haga primero porque conocer la estructura de la atmósfera servirá como base para entender los tres procesos sobre los que trabajarán a continuación. Se ofrece un ejemplo del mapa conceptual de la atmósfera que se espera que los grupos de trabajo realicen (ver Anexo E).

Con la segunda pregunta, se pretende que el alumnado se centre en los procesos alrededor de los cuales se forman las principales ideas alternativas tal y como han referenciado diversos autores nombrados anteriormente. Estos procesos son la destrucción de la capa de ozono y el efecto invernadero y su relación con el calentamiento global y el cambio climático. Se espera que el mapa conceptual del efecto invernadero incorpore la información relativa a los gases que presentan este efecto y su distribución homogénea en la atmósfera, su presencia necesaria para la existencia de la vida en la Tierra, el peligro que presenta al verse potenciado por la actividad humana y la procedencia y contribución de los distintos compuestos gaseosos nombrados, así como una leve pincelada sobre los proyectos internacionales destinados a luchar contra este problema. Con respecto al mapa conceptual de la destrucción de la capa de ozono, se espera que incluyan las reacciones de formación y destrucción de este compuesto y su afectación por los compuestos clorofluorocarbonados (CFCs). Asimismo, es esperable que el calentamiento

global aparezca como una parte principal dentro de las consecuencias del efecto invernadero aumentado, mientras que la destrucción de la capa de ozono sea relacionada con los daños que puede ocasionar en la biosfera. Sería deseable la inclusión de la relación entre la destrucción de la capa de ozono y el calentamiento global mediante la afectación por este proceso de los sumideros de carbono naturales. La inclusión de todos estos elementos serán tenidos en cuenta durante la evaluación. Se ofrece un ejemplo del mapa conceptual sobre el efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono, así como del mapa conceptual sobre cambio climático que se espera que los grupos realicen (ver Anexo E).

La realización de la actividad de búsqueda de información y su registro mediante un documento compartido entre todo el grupo ayuda a que el alumnado sintetice las ideas adquiridas, aclare conceptos y explicaciones y sean capaces de aplicar lo recién aprendido a sus modelos para intentar comprender el proceso (Cortés y de la Gándara, 2007, citado por Pérez Nieto, 2015). Siguiendo lo expuesto por Couso (2014), la docente se encargará de incentivar la participación de todos los/las estudiantes, infundirá motivación y confianza y guiará el proceso búsqueda cuando algún grupo esté bloqueado o si detecta una falta de información relevante en la recogida de ideas, desarrollando así su papel “activador” tal y como lo denomina el NRC (2000).

La realización de los mapas conceptuales ayuda a que el alumnado delimite el problema y toda la información que haya podido recoger y explicita de mejor manera las ideas importantes (Yaber, 2011, citado en Ayala 2013). El ofrecerles una breve descripción de los mismos persigue aclarar la demanda que se les está realizando dando indicios de los conceptos que pretendemos que estén implicados en sus investigaciones (Márquez et al., 2004). Además, la breve exposición final persigue el objetivo de que el alumnado organice mejor sus ideas para poder explicarlas a los demás y que la posible falta de cierta información en algunos trabajos pueda ser complementada con su aparición en otros.

- Fundamentación de la actividad 3:

En esta sesión se quiere completar el paso de nuestra secuencia de indagación-modelización relacionado con la búsqueda de pruebas. Este paso comenzó en la sesión anterior y concluye en esta mediante el diseño y elaboración del trabajo experimental que permitirá obtener las pruebas necesarias para contrastar las hipótesis iniciales. Es decir, en esta actividad el objetivo es poner a prueba los conocimientos que respaldan los modelos recién construidos y poder llevar a cabo su validación (Martínez-Chico, Jiménez Liso y López-Gay, 2015). La representación analógica de los fenómenos científicos en estudio ayuda a la mejor comprensión

de los conceptos más abstractos (Galagoysky y Adúriz-Bravo, 2001) relacionados con el efecto invernadero, como puede ser la absorción de calor por parte de gases como el dióxido de carbono. Asimismo, también ayuda a la construcción de los nuevos modelos (Oliva, 2019) con características más parecidas al modelo científico representado. El dinamismo de las simulaciones permite que el alumnado pueda revisar sus ideas y no quedarse estas en simples representaciones estáticas (López-Simó, Grimalt-Álvaro y Couso, 2018) y permite que pueda ser observado y estudiado un proceso que, debido a su escala global, es difícil de experimentar y comprender (Harrison y Treagust, 2000). Por último, se resalta que la realización de trabajos prácticos por parte del alumnado favorece la motivación y el interés del mismo (Durán, Gallardo, Toral, Martínez y Barrero, 2007).

Es de destacar el papel de la docente en el proceso de andamiaje mediante la provocación de nuevas ideas y replanteamientos durante el proceso del diseño experimental. Esto se lleva a cabo sin dar explícitamente información decisiva ni la solución directa, sino mediante la reconducción de los diálogos (Aliberas, Gutiérrez e Izquierdo, 2017). Por otro lado, tal y como exponen estos mismos autores, el establecimiento del diálogo en clase durante todo el proceso de diseño y elaboración del trabajo práctico, tanto entre los grupos de trabajo como entre el alumnado y la profesora, permite que se establezca una dinámica similar a la de la comunidad científica, que exista así un desarrollo de la competencia científica y del entendimiento de la epistemología de la ciencia y que se favorezca la autoconfianza del estudiantado al estar elaborando por sí mismos/as su conocimiento.

- Fundamentación de la actividad 4:

Con esta actividad se pretende terminar con la primera secuencia de indagación de esta propuesta didáctica, primero mediante el contraste de las hipótesis planteadas a partir del análisis de los resultados y la obtención de conclusiones y finalmente mediante una transmisión final de las deducciones obtenidas considerando posibles explicaciones alternativas. Por un lado, se empuja al alumnado a que adapte sus explicaciones iniciales a la nueva información obtenida en la búsqueda bibliográfica y mediante el trabajo experimental, dotando así de mayor validez sus conclusiones (NRC, 2000); tal y como expone Garrido-Espeja (2012, citado por Martínez Chico, Jiménez Liso y López-Gay, 2015), esto señala la cualidad interpretativa de la ciencia. Por otro lado, sirve para que el alumnado comunique a sus compañeros/as sus conclusiones, los distintos grupos intercambien sus ideas y sus explicaciones sean sometidas a un proceso de crítica y contraste con las ideas del resto de grupos (Schwarz et al., 2009). Todo esto conforma el marco

de la metodología indagatoria y de modelización que se pretende seguir en este trabajo. Cabe destacar que en esta actividad, el seguimiento de las comunicaciones con el supuesto equipo de científicos que se encuentran en la Antártida mantiene activas la curiosidad y la motivación del alumnado por encontrar las soluciones a todos los retos planteados.

En cuanto al papel de la docente, en la última parte de la actividad debe convertirse en más activo si detecta ciertas ideas alternativas persistentes aún en los modelos mentales del alumnado y expuestas durante el proceso de resolución de las dudas. Estas ideas alternativas podrían ser la influencia de la destrucción de la capa de ozono sobre el efecto invernadero por permitir la entrada de más cantidad de radiación solar y la percepción del efecto invernadero como un proceso problemático y no natural cuando se encuentra en equilibrio. En este caso, esta mayor participación de la docente se justifica con el objetivo de intentar derribar estos errores aprovechando que esta enseñanza basada en la indagación y el uso de trabajos experimentales aumenta la actitud positiva por las ciencias y el mayor interés en la actividad que se está realizando (von Secker, 2002; Gibson y Chase, 2002), lo que establecerá una actitud receptiva en el alumnado.

- Fundamentación de la actividad 5:

Esta actividad inicia un nuevo ciclo de indagación-modelización y plantea un nuevo problema científico con la posterior discusión de ideas y exposición de hipótesis iniciales (pasos uno y dos de la secuencia propuesta). Tras el planteamiento de nuevos interrogantes atractivos a través del mensaje y la recuperación de sus ideas previas sobre las consecuencias del deshielo, se comienza la actividad guiando al alumnado con preguntas de alto grado de apertura que hagan al alumnado buscar información y reestructurar sus ideas (Bargalló y Roca, 2006), centradas en la persona y contextualizadas mediante su correlación con la comunicación mantenida con el equipo de la Antártida (Amos, 2002). En esta ocasión, se pone el foco en la comparación entre las principales masas de hielo presentes en los dos polos terrestres, ya que pretendemos guiar esta sesión hacia el estudio de la diferencia entre el deshielo en ambos polos con respecto a sus consecuencias en la subida del nivel del mar. Una vez trabajados los procesos de cambio climático, efecto invernadero y destrucción de la capa de ozono en las sesiones anteriores y comprendidas las relaciones entre ellos, los grupos de trabajo están preparados para ahondar en el mecanismo diferencial por el cual la fusión de los hielos polares ejercería una contribución distinta a la subida del nivel del mar.

La batería de preguntas presentada pretende crear una motivación para indagar e investigar en el alumnado, basada en lo expuesto por Elstgeest (1985, citado por Amos, 2002). Primero se quiere enfocar la atención en el hecho de que el hielo no solo existe en el lugar en el que estaba contextualizada el inicio de la actividad si no que hay otros lugares que pueden estar sufriendo el mismo efecto. Seguidamente se procede a la comparación de estos lugares para encontrar similitudes y diferencias entre los mismos. Una vez inmersos en la actividad de experimentación y comprobación de sus hipótesis, en la siguiente sesión, la secuencia de interrogantes propuesta por este autor continuará con preguntas de medición y de planteamiento de problemas.

La búsqueda de información de manera libre por parte del alumnado pretende poner en práctica los conocimientos adquiridos en la primera secuencia de indagación en cuanto a la búsqueda y uso de datos fiables y con base científica. Esto favorecerá el desarrollo de la competencia científica puesto que es una de las destrezas requeridas para mejorar las distintas subcompetencias (OECD, 2016).

- Fundamentación de la actividad 6:

Esta actividad pone en marcha el paso de nuestra secuencia de indagación-modelización relacionado con la búsqueda de pruebas y obtención de datos a partir del trabajo práctico desarrollado. De nuevo, se recurre a la construcción de modelos analógicos como representaciones aproximadas del sistema al que representan, con el objetivo de predecir determinados hechos o situaciones (Adúriz-Bravo, 2012), en este caso, la desigual contribución del deshielo de los polos a la subida del nivel del mar. Se utiliza esta simulación como recurso para aproximar los modelos internos del alumnado al modelo científico de mayor complejidad dentro del proceso de andamiaje realizado en el aula (Harrison y Treagust, 2000). De esta manera, el alumnado se implica de manera activa elaborando y aplicando sus propios modelos (Oliva-Martínez, 2019), lo que a su vez, favorece a la motivación e interés y al entendimiento de la auténtica práctica científica y su epistemología.

Las preguntas realizadas por la docente durante el desarrollo del diseño experimental forman parte de la secuencia de interrogantes para animar a la investigación expuesta por Elstgeest (1985). Se trata de preguntas de medición, las cuales desplazan las observaciones desde un plano cualitativo a un plano cuantitativo (por ejemplo, ¿Cuánta sal creéis que tendríamos que disolver si queremos simular un océano?); preguntas de acción, para provocar los siguientes pasos en sus diseños experimentales (por ejemplo, ¿Cómo podríamos observar si ha variado el

nivel del agua?); y preguntas de planteamiento de problemas para que los grupos de trabajo encuentren más desafíos sobre los que indagar (por ejemplo, ¿Qué creéis que ocurriría si el agua estuviese más caliente?). Estas cuestiones ayudan al alumnado a preguntarse a sí mismos y los incentivan a investigar cómo probar sus propias ideas. Además, se respeta la elaboración de estas preguntas de manera abierta y centradas en la persona siguiendo las sugerencias de Amos (2002).

Por último, el cálculo de la salinidad presente en el agua de los océanos puede ser considerado un interesante ejercicio interdisciplinar ya que se trata de una competencia matemática básica y está presente en el currículo de esta asignatura en todos los niveles de la educación secundaria obligatoria.

- Fundamentación de la actividad 7:

Esta actividad pretende dar fin a este ciclo de indagación-modelización mediante el análisis de los resultados y obtención de conclusiones y la posterior comunicación de las mismas. Con ella se está favoreciendo el desarrollo de la destreza relacionada con la interpretación de datos y pruebas científicas que forma parte de la competencia científica (OECD, 2016).

Se considera muy importante la manera de presentar los resultados experimentales en esta actividad, ya que, el acercamiento a la forma de exponer la información científica en el mundo real se considera un eficaz elemento para la alfabetización científica y esta estrategia es observada con baja frecuencia en las aulas. Se corresponde, además, con una forma de entender como se adquiere y se expresa el conocimiento científico y como se justifica su validez, es decir, fomenta el desarrollo del conocimiento epistémico en el alumnado. Favorece a su vez que, ante cuestiones científicas o tecnológicas de gran índole social, el alumnado adquiera el hábito de recurrir a información fiable y contrastada, como es la expuesta en artículos científicos y en plataformas de búsqueda especializadas; así, tomarán el hábito de presentar una actitud reflexiva y crítica ante el resto de información a la que puedan ser expuestos durante su vida (Romero-Ariza, 2017). Además, la estructura base del artículo científico usada en la actividad (haciendo hincapié en el apartado de discusión) permite exponer en el aula el hecho de cómo se construye el conocimiento científico, que este no es estático ni individualista, sino que es modificable y que, una vez compartido con la comunidad científica, este puede ser sometido a crítica y tener en consideración modelos explicativos alternativos, siempre basados en pruebas contrastadas.

- Fundamentación de la actividad 8:

Con esta actividad se comienza el tercer ciclo de indagación de la presente propuesta didáctica. En esta primera sesión se llevan a cabo los pasos iniciales de la secuencia de indagación-modelización planteada: planteamiento del problema, expresión de hipótesis iniciales e inicio de la búsqueda de pruebas.

El planteamiento del problema científico que supone el estudio de las corrientes oceánicas, su modulación del clima global y sus alteraciones debidas al cambio climático. Además, se mantiene el método de contextualización de la actividad mediante el intercambio de mensajes con el equipo de investigación de la Antártida. La discusión de ideas se realiza mediante las preguntas mediadoras efectuadas al comienzo de la sesión y que ayudan a adentrarse en el conocimiento de los modelos mentales previos del alumnado. En este caso, se intenta establecer un diálogo que, aunque pertenezca a una actividad considerada de un nivel 3 de indagación (Herron, 1971), expone de una forma más directa el problema sobre el que se pretende trabajar en comparación a los ciclos de indagación anteriores. Aquí, se comienza nombrando la circulación termohalina en el correo introductorio para centrar el diálogo en ella ya que, de otra forma, sería muy difícil conocer las ideas previas del alumnado sobre este tema sin alargar demasiado en sesiones la propuesta. También se lleva a cabo la expresión de hipótesis iniciales mediante la explicación plausible de la circulación representada en el mapa, para su posterior mejora y validación. Por último, en esta sesión se comienza el paso tres de nuestra secuencia correspondiente a la búsqueda de pruebas que permitan obtener conclusiones que validen sus ideas previas o ayuden a optimizarlas.

La tarea de creación de un audio que se ajuste al vídeo que se les facilita permite que el alumnado desarrolle sus habilidades con las herramientas TIC y su expresión y argumentación científica. Hay que resaltar que el trabajo colaborativo para la realización estos ejercicios desarrolla habilidades de análisis e integración de la información, proporciona un apoyo por parte del alumnado con mejores habilidades en ciertos temas sobre los que no las tienen, aumenta la responsabilidad, la flexibilidad, la interacción entre miembros del equipo y la motivación y genera un aprendizaje activo y más profundo sobre el tema tratado.

- Fundamentación de la actividad 9:

La presente actividad persigue realizar una nueva búsqueda de pruebas para conseguir completar, mejorar y validar las ideas previas iniciales. En este caso, el estudio en profundidad de las corrientes oceánicas favorece la comprensión de la influencia de los océanos en el clima

global, dando pie ya a la experimentación para añadir otros datos valiosos y que confirmen la investigación.

Con la exposición de las imágenes iniciales se pretende incitar dudas y preguntas en el alumnado para que este sienta la necesidad de explicar la situación y así provocar una evolución de sus modelos previos estáticos y lineales hacia la formación a lo largo del proceso de indagación a otros más complejos y dinámicos (Márquez et al., 2004).

El estudio de la influencia de los océanos sobre el clima global y los ecosistemas favorece la erradicación de diversas concepciones erróneas que tiene la población en general sobre el cambio climático, analizadas por Domènech-Casal (2004). La primera de ellas es pensar que el cambio climático y su principal consecuencia conocida, la fusión de los polos, solo afectará a las poblaciones costeras por el aumento del nivel del mar. Sin embargo, tras esta actividad el alumnado puede prever que la afectación de la temperatura media global provocaría daños en muchos otros lugares al influenciar sus temperaturas medias (por ejemplo, una gran parte del norte de Europa podría verse afectada por temperaturas muy bajas tras la parada de la circulación termohalina) y que la afectación de diversos ecosistemas por este cambio de temperatura puede provocar desequilibrios en actividades económicas, fuentes de alimentación y potenciación del calentamiento global por el menor secuestro de carbono de la atmósfera. Otro de los conceptos erróneos expuestos por Domènech-Casal es creer que el cambio climático es un problema atmosférico. El alumnado no suele incluir en sus modelos mentales el océano como elemento que interviene en el cambio climático. Sin embargo, tras esta actividad, los/las estudiantes pueden concluir que el océano es una pieza clave en este proceso.

- Fundamentación de la actividad 10:

Con esta actividad se pone fin al paso de nuestra secuencia de indagación-modelización correspondiente a la búsqueda de pruebas, diseño y elaboración del proceso experimental. Tras una serie de sesiones recopilando información sobre las corrientes marinas, se ha conseguido adaptar y mejorar las hipótesis iniciales del alumnado y dotar sus conclusiones de una mayor validez al basarlas en el trabajo experimental (NRC, 2000).

La realización de las simulaciones en esta actividad aporta un gran dinamismo al proceso de aprendizaje (López-Simó, Grimalt-Álvaro y Couso, 2018) y ayuda al alumnado a que construya sus propios modelos más cercanos a la ciencia (Oliva, 2019). Además, no hay que olvidar que el uso de estos trabajos prácticos en el aula favorecen la satisfacción y participación

del alumnado y hace que tengan una sensación más positiva sobre su aprendizaje (Durán, Gallardo, Toral, Martínez y Barrero, 2007).

El estudio de las corrientes oceánicas, como ya se ha expuesto en actividades de sesiones anteriores, es considerado un tema desconocido entre el alumnado de secundaria. Además, la escala global a la que ocurren dificulta la comprensión de este fenómeno, ya no solo por parte del alumnado sino también por gran parte de la población. La experimentación analógica permite observar este hecho de una manera fácil y visual, lo que facilita la comprensión del mismo (Harrison y Treagust, 2000). Tal y como exponen estos autores, el modelo elaborado comparte las características más representativas del océano pero de una manera muy simplificada (por ejemplo, el calentamiento del agua por la radiación solar) o muy exagerada (por ejemplo, la mayor concentración salina en el agua de alrededor de los polos); sin embargo, su capacidad para representar un sistema tan complejo como es el océano supera sus diversas limitaciones.

- Fundamentación de la actividad 11:

Con esta actividad finaliza el presente ciclo de indagación-modelización mediante la presentación de los resultados, reflexión sobre lo aprendido y conexión con uno de los principales problemas que afecta a nuestro planeta, el cambio climático.

La manera en la que se presentan los resultados obtenidos tiene como objetivo favorecer el desarrollo de la competencia digital mediante el uso de la herramienta digital de diseño de páginas web Google Sites. Hoy en día, se considera una característica primordial saber desenvolverse de una manera eficaz con los recursos TIC; por ello, la creación de una página web, será una forma efectiva de desarrollar estas cualidades que además podrán aplicar más adelante a lo largo de sus carreras. Asimismo, el uso de las TIC como recurso educativo resulta muy motivador y convierte el aprendizaje en un proceso más atractivo e interesante.

- Fundamentación de la actividad 12:

Esta actividad se propone como punto final a la secuencia didáctica, siendo una importante reflexión sobre la forma de trabajar en ciencia. La metodología basada en indagación y modelización seguida en esta propuesta acerca el trabajo del alumnado al proceder científico real; así, hacer conscientes a los/las estudiantes de las cualidades que definen el trabajo y la naturaleza científica forma parte del proceso de aprendizaje perseguido con este trabajo.

En la primera parte del coloquio, se trata de llevar a cabo un proceso meta-cognitivo en el que el alumnado debe conceptualizar y verbalizar lo realizado a lo largo de la secuencia

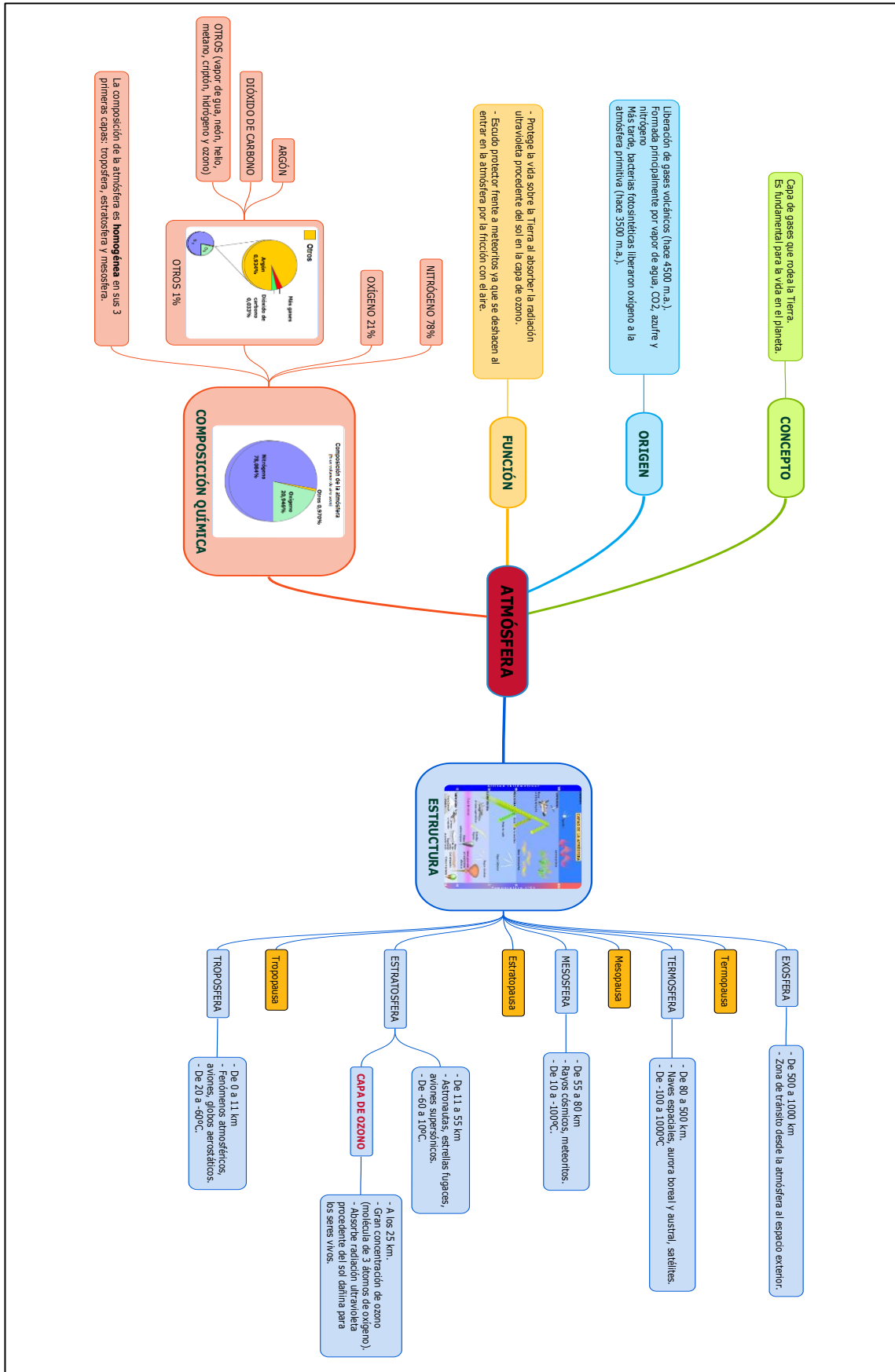
didáctica para que comprendan que, en parte, se asemeja a lo efectuado por los científicos y científicas en la realidad. Las cuatro primeras preguntas se relacionan con las subcompetencias básicas de explicar fenómenos científicamente y la capacidad de evaluar y diseñar la investigación científica. Para ello, según la OECD (2016), deben identificar el tema principal y generar modelos y representaciones explicativas adecuadas, hacer predicciones sobre ellas, elaborar hipótesis, hacerse preguntas para la experimentación posterior y describir los procedimientos que se usan en ciencia para aumentar la validez y fiabilidad de los datos. Las tres últimas cuestiones hacen alusión a la subcompetencia para interpretar datos y pruebas científicamente, por la que el alumnado debe analizar los datos y sacar conclusiones de ellos, exponerlos en distintas representaciones y evaluar argumentos y pruebas científicas de fuentes fiables.

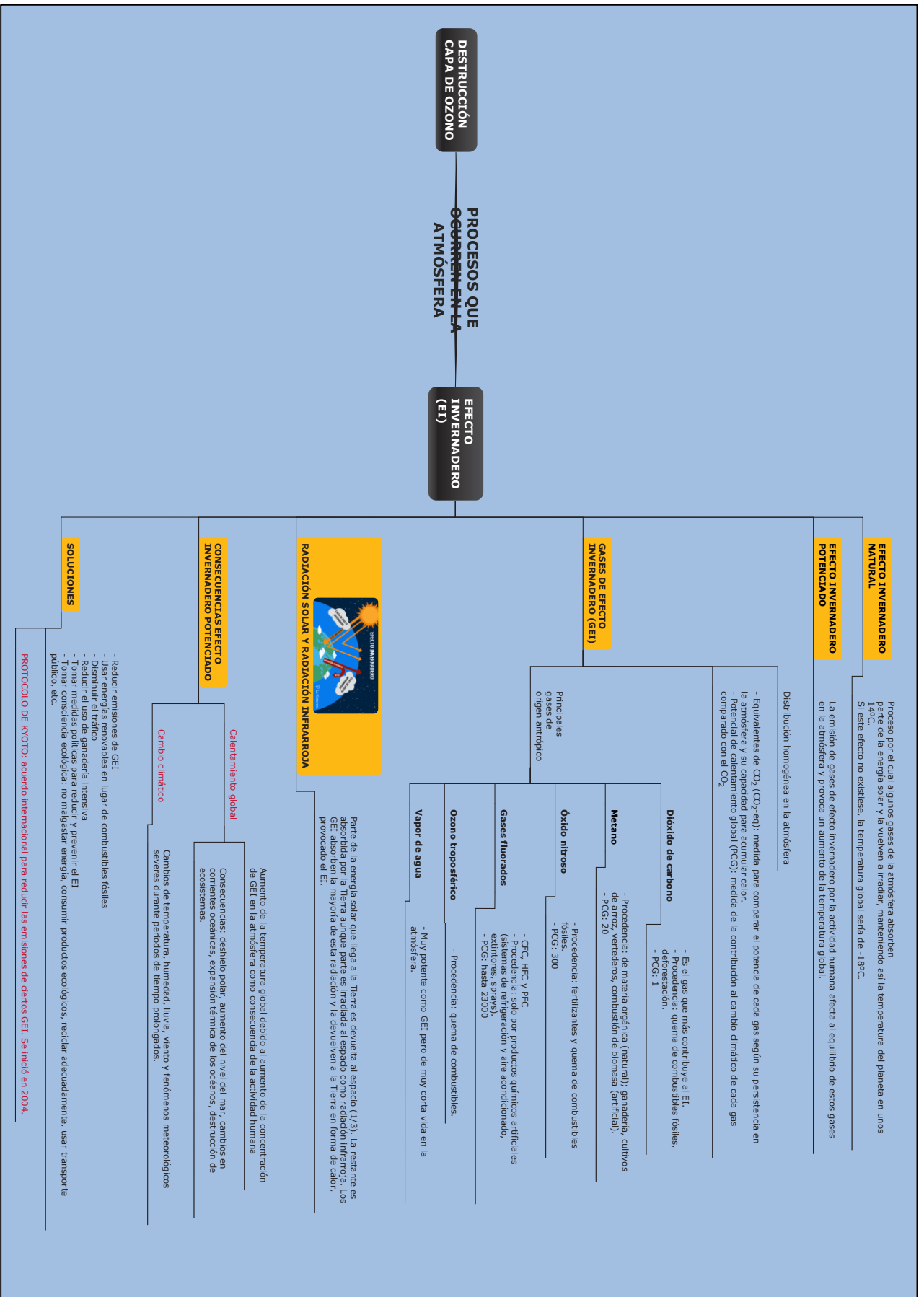
La segunda sesión de debate versa sobre la dimensión epistémica de la ciencia, la cual se define como “la comprensión de los fundamentos de las prácticas comunes de la investigación científica, el estado de las afirmaciones de conocimiento que se generan y el significado de los términos fundamentales, como teoría, hipótesis y datos” (OECD, 2016). Las preguntas hacen que el alumnado reflexione sobre algunas de las características propias de la naturaleza de la ciencia y el conocimiento científico descritas por la OCDE (2016) como es la diferencia entre teoría e hipótesis, la cual genera mucha confusión por el uso cotidiano en otro sentido de estos términos; sobre la necesidad de apoyar y justificar el conocimiento científico siempre con datos y razonamientos; la consideración de las limitaciones de los modelos científicos; la cooperación entre los miembros de la comunidad científica; y la importancia de la crítica y la revisión en el trabajo científico. Frente a esto último, se hace hincapié en una de las principales concepciones erróneas que se tiene de la ciencia como es su visión rígida e infalible (Fernández et al., 2002), aspecto que está siendo muy observado en la actualidad con el surgimiento de la pandemia del COVID-19.

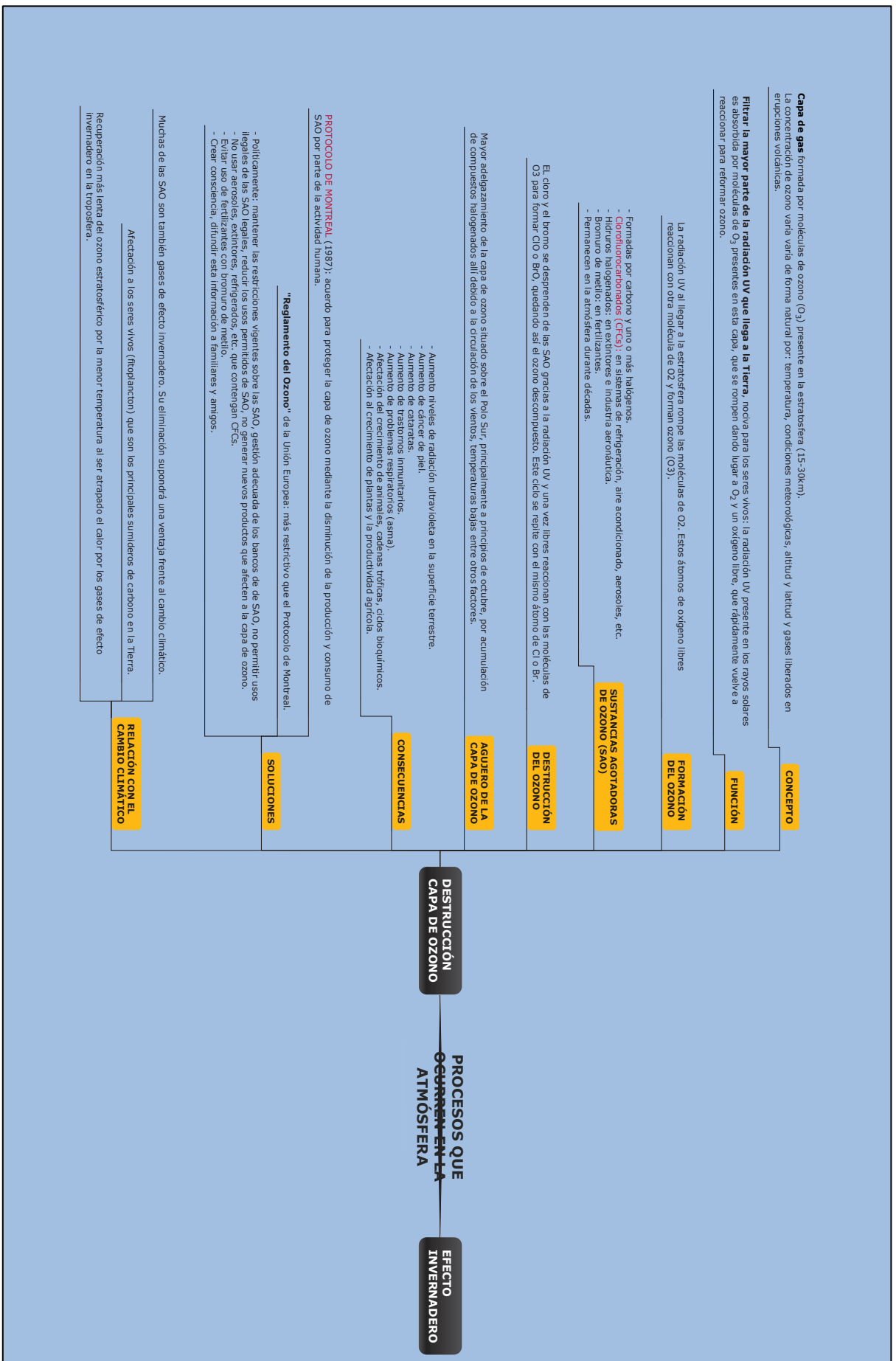
Finalmente, la tercera parte del coloquio incide en las características de la metodología IBSE como una forma eficaz para diagnosticar un problema científico, buscar información sobre el mismo y planear investigaciones que permitan obtener datos con los que construir modelos y elaborar argumentos coherentes (Rocard, 2007), trabajando de una forma similar al quehacer científico real. En la segunda pregunta se pretende que el alumnado detecte los pasos principales que componen la secuencia de indagación-modelización seguida en esta propuesta didáctica. El resto de preguntas dejan entrever el nivel de satisfacción adquirido por el alumnado al trabajar con esta estrategia en lugar de las formas de enseñanza habituales en el aula.

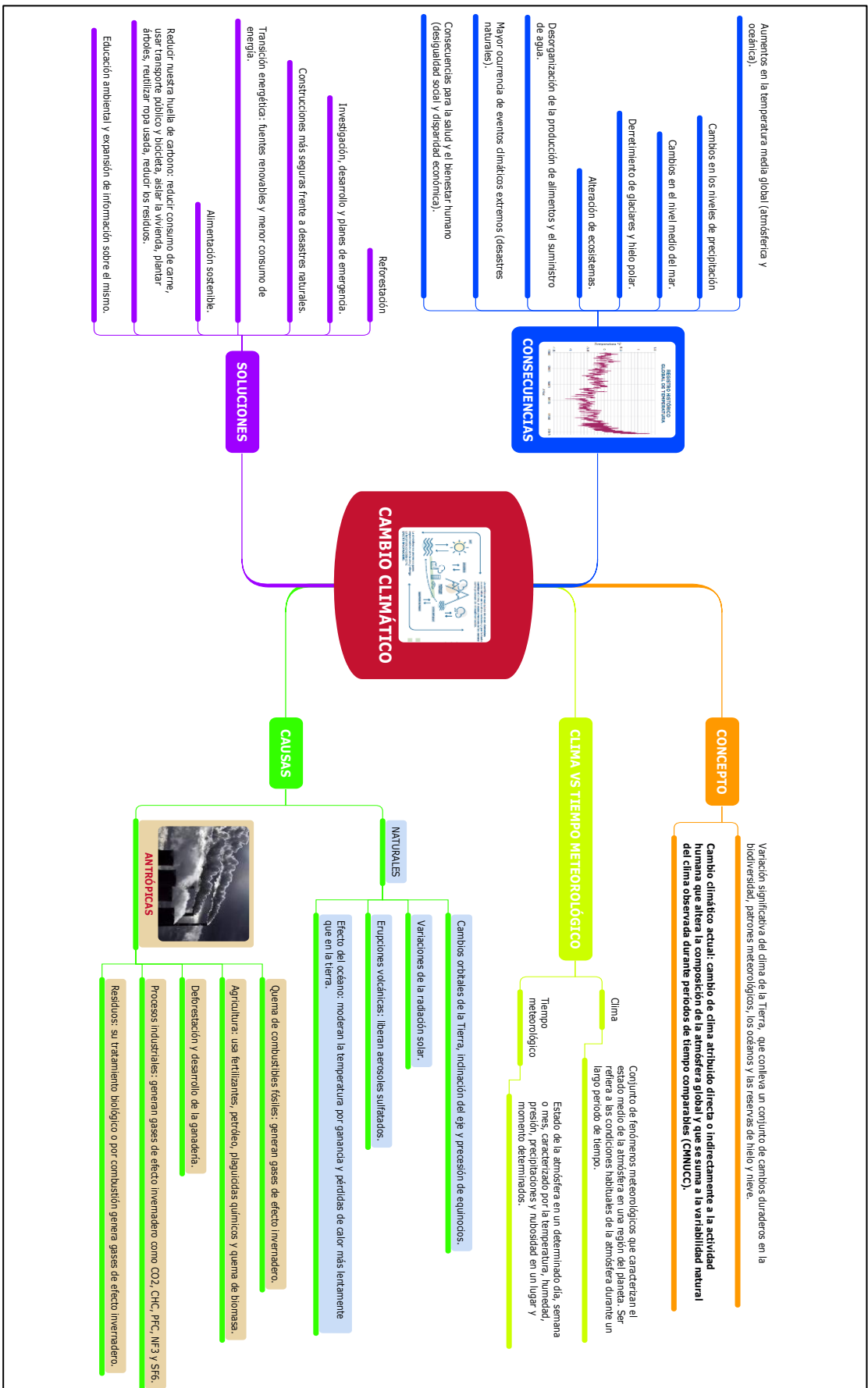
Finalmente, se considera que el cierre de esta sesión mediante una entrevista con un investigador real con el que puedan resolver dudas y compartir ideas y emociones vividas durante la secuencia didáctica aporta grandes ventajas al desarrollo del conocimiento epistémico de la ciencia y ejercerá un efecto positivo sobre la motivación e interés del alumnado hacia las ciencias.

Anexo E. Mapas conceptuales de “Atmósfera”, “Efecto invernadero”, “Destrucción capa de ozono” y “Cambio climático”.









Anexo F. Procedimiento experimental “Efecto invernadero” de la Actividad 3.

Trabajo práctico: “Efecto invernadero”

❖ Preparación de materiales y situaciones experimentales:

En primer lugar, se rellenan tres de los pequeños envases de tierra y otros tres de agua. Estos representarán los continentes y los océanos. Con ellos, se constituyen tres situaciones experimentales, cada una con un envase de tierra y otro de agua colocados juntos, pero afectadas por distintas variables:

- La primera pareja de envases se deja al aire libre. Simulará a la Tierra sin atmósfera. También hace la función de control.
- La segunda pareja se cubre con uno de los cuencos transparentes colocado hacia abajo; este simulará ser la atmósfera con un efecto invernadero natural.
- La tercera pareja se cubre igualmente con unos de los cuencos transparentes hacia abajo y, además, se coloca dentro, junto con los envases de tierra y agua, un tercero en el que previamente se ha mezclado vinagre con bicarbonato para generar dióxido de carbono. Este actuará como gas de efecto invernadero adicional.

❖ Desarrollo del experimento:

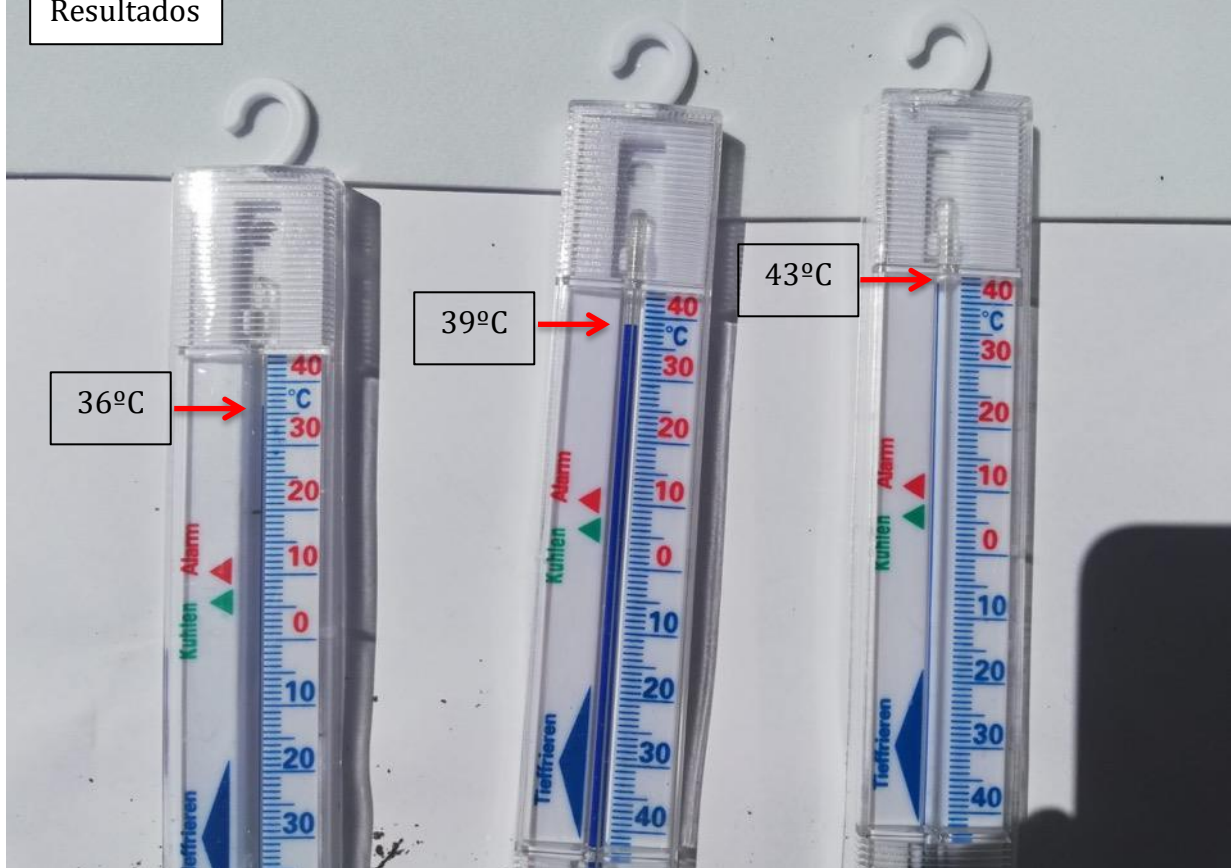
- Todo el material preparado en el paso anterior se coloca en el exterior, expuesto a la radiación solar (en el caso de no existir una fuerte radiación, habrá que simular esta en el interior mediante el uso de una lámpara o lámparas que afecten a las tres situaciones experimentales por igual).
- Se anota la temperatura que marcan los tres termómetros antes de empezar el experimento. Seguidamente, se introducen en la tierra (para facilitar que adopten una posición en la que pueda ser observada la temperatura que marcan sin necesidad de cogerlos).
- El tiempo que se mantendrá la simulación bajo la radiación solar dependerá de la intensidad de esta. Si esta ronda los 30°C, un tiempo de 5’ bastará para observar los resultados (sirva a modo de orientación). Al finalizar se anota de nuevo la temperatura marcada por los termómetros.
- Deben observar que la temperatura irá en aumento en el orden en el que se han descrito las tres situaciones experimentales.



Paso 2: colocación de las tres situaciones experimentales.



Resultados



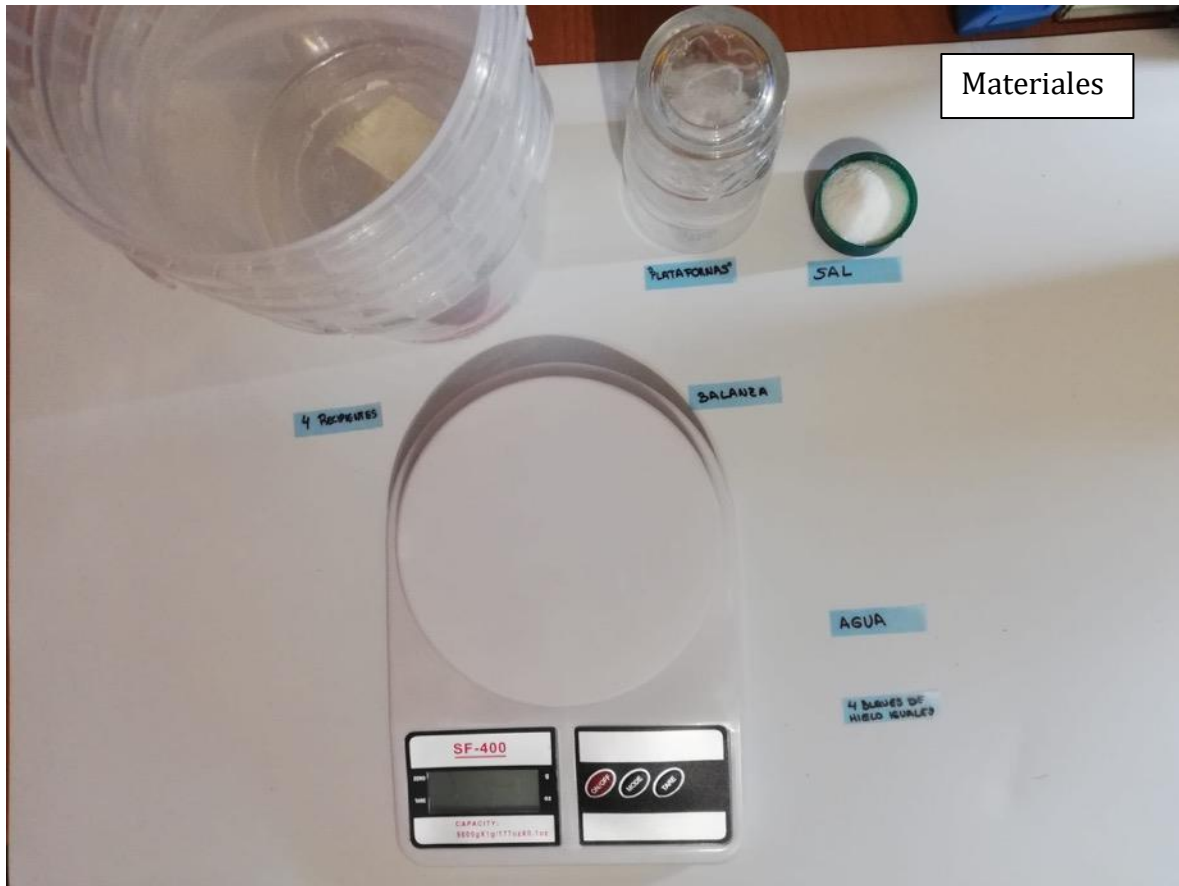
- Enlace al vídeo de demostración del trabajo práctico:
<https://www.youtube.com/watch?v=P6jpEx8qKAo>

Anexo G. Procedimiento experimental “Deshielo polar” de la Actividad 6.

Trabajo práctico: “Deshielo polar”

1. La simulación de los casquetes polares en el océano se hará con recipientes llenos de agua. Serán un total de 8 o de 4, dependiendo de si se incluye o no la variable “temperatura del agua”, respectivamente. En la mitad de ellos se situará una plataforma (una rejilla o una roca) para simular el continente sobre el que se ubicará el hielo glaciar. En la otra mitad, el hielo se dispondría flotando en el agua (hielo marino). Los bloques de hielo serán de agua destilada y lo más grandes posible, siempre y cuando quepan en los recipientes elegidos, ya que esto maximizará el efecto producido sobre el nivel del agua.
2. Se realizará el experimento con agua dulce y con agua salada (al 3,5% que es el valor medio de salinidad de los océanos). Esto permitirá observar la contribución que ejerce la fusión del hielo marino (ártico) a la subida del nivel del mar debido a la diferencia de densidades entre el agua del mar y el agua dulce del hielo polar. Esta contribución, aunque escasa, no es inexistente.
3. Opcionalmente, pueden simular la existencia de una mayor temperatura en el agua de los océanos debido al calentamiento global llevando a cabo pruebas en agua a diferente temperatura. Aquí también se estudiará el efecto de la expansión térmica sobre la subida del nivel del mar.
4. Finalmente, deben anotar la diferencia en el nivel de agua producida tras la fusión. Además, en caso de utilizar agua a diferente temperatura, deberán controlar el tiempo que tarda en fundirse el hielo en las distintas condiciones. Su fuente de calor principal será directamente la radiación solar, si las condiciones lo permiten, o una lámpara que irradie calor por igual a los distintos vasos del experimento.
5. Los resultados obtenidos deben ser una notable subida del nivel del agua en aquellos recipientes que tenían el hielo en la superficie (hielo glaciar), mientras que aquellos en los que el hielo estaba flotando (hielo marino) la subida será prácticamente imperceptible.

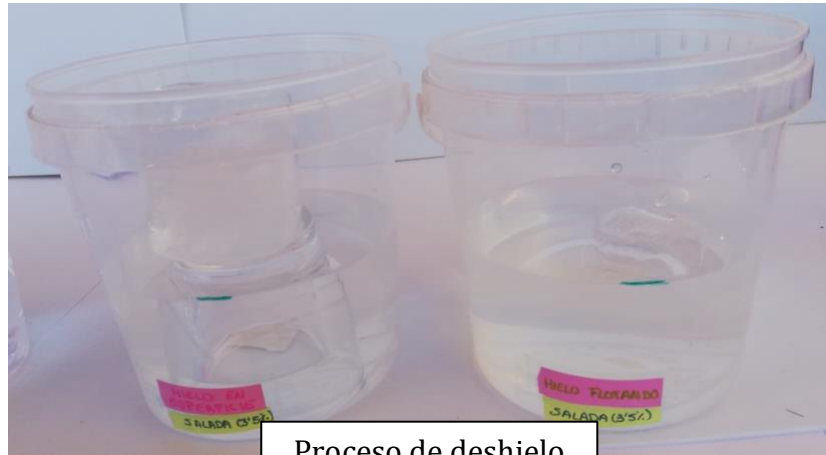
“ALGO ESTÁ CAMBIANDO”: PROPUESTA DE INDAGACIÓN PARA 1º Y 3º DE ESO



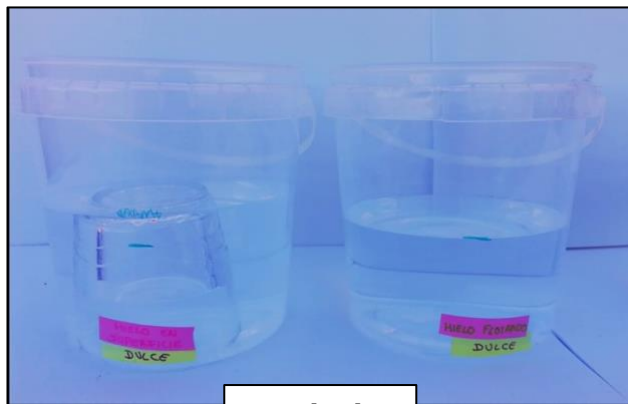
Disposición de la situación experimental. Marcaje del nivel de agua inicial.



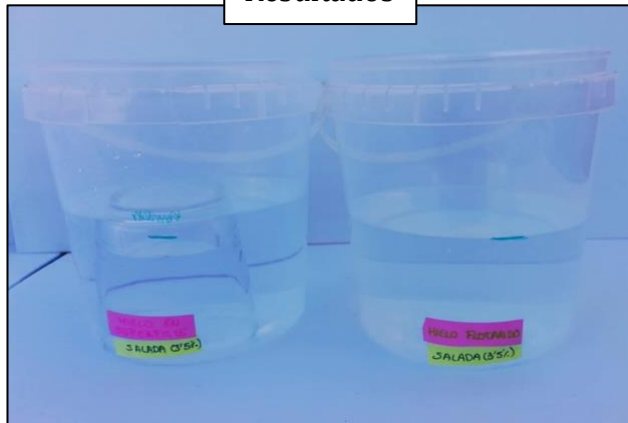
“ALGO ESTÁ CAMBIANDO”: PROPUESTA DE INDAGACIÓN PARA 1º Y 3º DE ESO



Proceso de deshielo



Resultados



- Enlace al vídeo de demostración del trabajo práctico:
<https://www.youtube.com/watch?v=ic5WEjv5dml>

Anexo H. Material necesario para la realización de la Actividad 8.

Densidad del agua

La densidad (δ) es una propiedad específica de la materia que mide la cantidad de masa (m) que hay en un determinado volumen (v). Podemos calcular su valor mediante la siguiente fórmula: $\delta = m / v$. En el sistema internacional sus unidades son el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3).

La densidad del agua depende fundamentalmente de su temperatura y su salinidad.

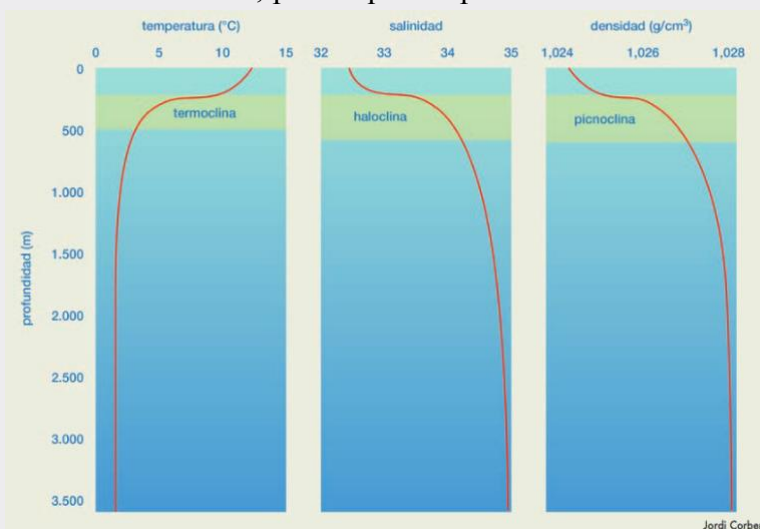
A medida que la temperatura es mayor, el agua se hace más densa debido a que las moléculas presentan menor agitación y se encuentran más ordenadas y cercanas disminuyendo así su volumen. Sin embargo, a medida que la temperatura aumenta las moléculas vibran más y se separan, aumentando así su volumen, por lo que la densidad disminuye.

La salinidad también afecta a la densidad del agua ya que la agregación de iones a un volumen fijo de agua hacen que su masa aumente, aumentando por tanto la densidad. Sin embargo, una menor concentración salina supondría un descenso de la densidad del agua.

El efecto de la sal sobre la densidad del agua es mayor que el de la temperatura, ya que un cambio de salinidad de un 1‰ produce cambios en la salinidad de un $0,001 \text{ g}/\text{cm}^3$. Sin embargo, cambios en la temperatura de 1°C , producen cambios en la salinidad de un $0,00005\text{-}0,00035 \text{ g}/\text{cm}^3$.

En toda la masa de agua que forma el océano, la temperatura, la salinidad y la densidad varían con la profundidad. Esto crea una serie de estratos de aguas con diferente densidad que, sin ningún efecto externo, no se mezclarían. En los gráficos de la imagen se puede ver como varían estas características con la profundidad del océano.

La radiación solar calienta la superficie de los océanos, por lo que los primeros metros del mar siempre presentan una mayor temperatura. Sin embargo, bajo esta capa, se produce un cambio más o menos brusco de disminución de la temperatura. Esta zona de gradiente se conoce como **termoclina** y se puede situar a diferente profundidad según la zona del planeta (en los



polos la termoclina se sitúa muy superficialmente y a veces es inexistente; en el ecuador, es semipermanente) o la estación del año (sobre todo en latitudes medias, siendo más profunda en

verano). Bajo la termoclina, la temperatura sigue descendiendo pero muy lentamente, hasta llegar a valores estables de unos 3°C en el fondo de los océanos.

La salinidad produce una estratificación semejante pero de sentido ascendente con la profundidad. Las capas superficiales suelen tener menor concentración salina por la influencia del agua dulce que llega de los ríos o la lluvia. Bajo esta capa superficial, se encuentra una zona de gran gradiente en la que la salinidad aumenta, aunque esta variación es más sutil que la bajada de temperatura. Esta zona se conoce como **haloclina**. Por debajo se encuentran las aguas profundas en las que la salinidad aumenta lentamente con respecto a la profundidad hasta llegar a un valor estable.

Estos gradientes de temperatura y salinidad generan una estratificación de las aguas por densidad. La zona donde se produce la variación de densidad más brusca se conoce como **picnoclina**.

Nota. Fuente: Elaboración propia adaptado de www.elmarafondo.com

- Vídeo mudo Circulación Termohalina:

<https://www.youtube.com/watch?v=jOVvXDI0KbY>

Anexo I. Propuesta práctica sobre el fenómeno de exclusión de la salmuera diseñada por Villaroel y Zuazagoitia (2016).

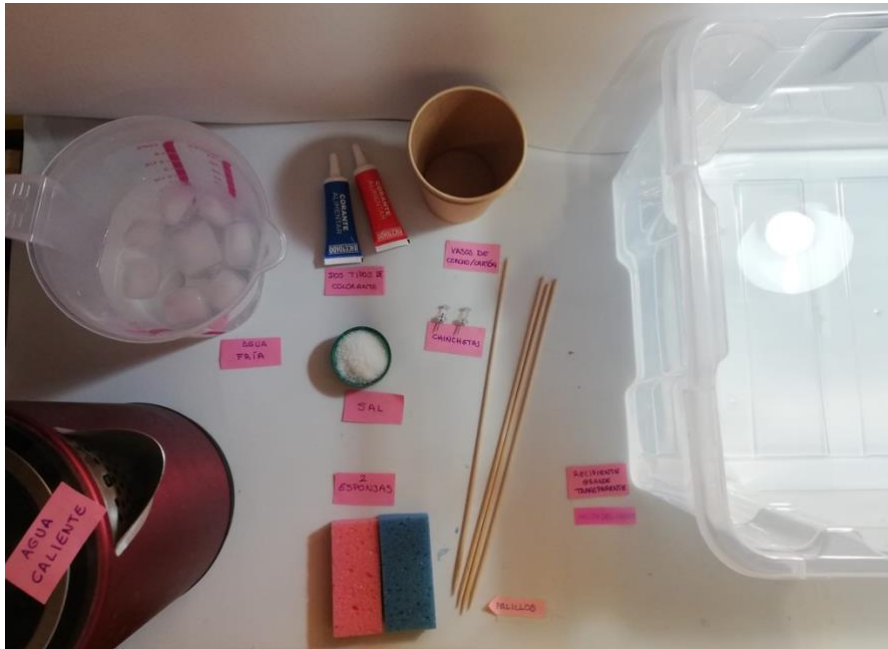
Fundamento	
<p>Se conoce como exclusión de la salmuera al proceso por el cual al congelar agua salada, la estructura molecular más ordenada del hielo excluye los iones disociados de la solución salina, quedando estos en el agua líquida que queda alrededor del recién formado hielo. Este es un fenómeno poco conocido pero se trata, de hecho, de lo que ocurre durante la formación del hielo polar, y contribuye a que el agua oceánica de alrededor tenga una mayor concentración salina y, por tanto, una densidad superior. Este hecho, junto con la temperatura más baja de este agua, favorece el hundimiento cerca de los polos de grandes masas de agua hacia las profundidades oceánicas, lo que establece el motor principal de la circulación termohalina que recorre una gran parte de la hidrosfera del planeta.</p> <p>Con el procedimiento presentado a continuación se podrá percibir este proceso de exclusión de la salmuera en un laboratorio escolar y con materiales fáciles de conseguir.</p>	
Materiales	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> - Recipiente de plástico de 500 ml - Recipiente de acero inoxidable de 50 ml - Cucharilla - Picador de hielo - Dos termómetros (rango medible entre - 40°C y 40°C) - Refractómetro medidor de la salinidad - Agua de grifo líquida/Agua de grifo congelada 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preparar una disolución salina al 3,5% (se pretende simular la concentración presente en los océanos). 2. Picar el hielo y ponerlo en el recipiente de plástico alternando capas de hielo picado con capas de sal, para preparar un baño de frío. Hacer un hueco en el centro de esta mezcla e introducir el recipiente de acero inoxidable. 3. Llenar el recipiente de acero inoxidable con la disolución salina al 3,5% 4. Introducir un termómetro en el recipiente de acero con la disolución salina y el otro en el baño de frío hecho con la mezcla de hielo y sal. Registrar la temperatura de ambos termómetros cada 5 minutos durante media hora. 5. Transcurrido este tiempo, verter el agua que haya quedado en estado líquido dentro del recipiente de acero en un tubo graduado. El hielo que queda en este recipiente se dejará fundir a temperatura ambiente. 6. Una vez descongelado, se mide la salinidad en ambas muestras de agua.
Resultados y Discusión	
<p>La cantidad de agua que ha quedado en estado líquido dentro del recipiente de acero debe ser muy pequeña; la mayor parte se habría congelado. Al medir la salinidad en ambas muestras se debe observar que, mientras que en el agua que quedó líquida la concentración salina ha subido más de un 100% con respecto a la inicial, en aquella que se congeló la concentración salina ha disminuido prácticamente a la mitad de la inicial. Las temperaturas de ambos termómetros deben presentar también una gran variedad, quedando la del interior del recipiente de acero inoxidable siempre entre los 0°C y los -5°C y la del baño frío entre los -15°C y los -20°C. La exclusión de la salmuera en las regiones polares provoca una disminución de la concentración salina en el hielo de más del 70%, muy similar a la alcanzada en el experimento.</p>	
Aplicación en esta propuesta	
<p>Para el estudio del funcionamiento de las corrientes marinas, más concretamente de la circulación termohalina, sería muy adecuado llevar a cabo este trabajo práctico en el laboratorio llegando hasta él mediante procesos de indagación similares a los descritos en el resto de la propuesta. Sin embargo, las limitaciones de tiempo exigen ser realistas y no ampliar demasiado el estudio en profundidad de fenómenos anexos al tópico central de nuestra propuesta.</p>	

Anexo J. Material necesario para la Actividad 10: Procedimiento experimental “Efecto de la temperatura” y “Efecto de la salinidad”; tabla de datos para el estudio de la temperatura y la salinidad, tanto por separado como combinadas en la simulación del océano; procedimiento experimental “El océano en un cubo”.

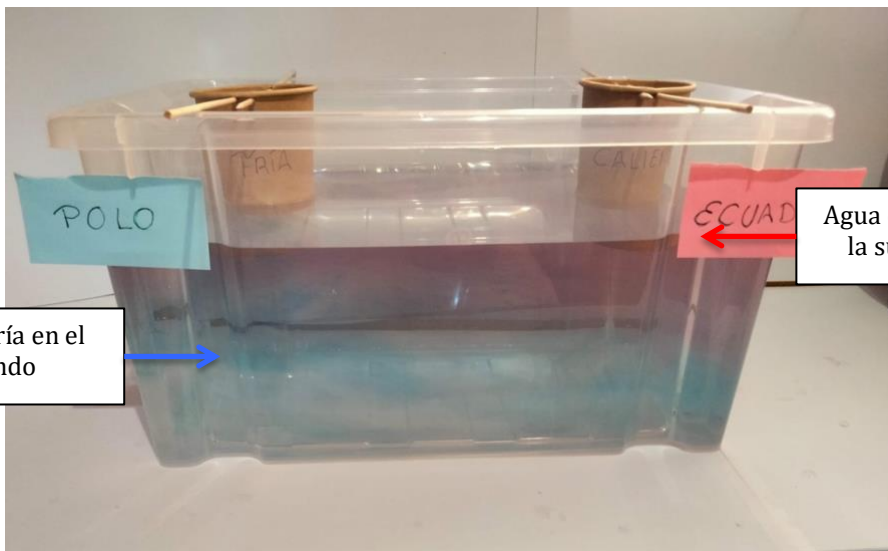
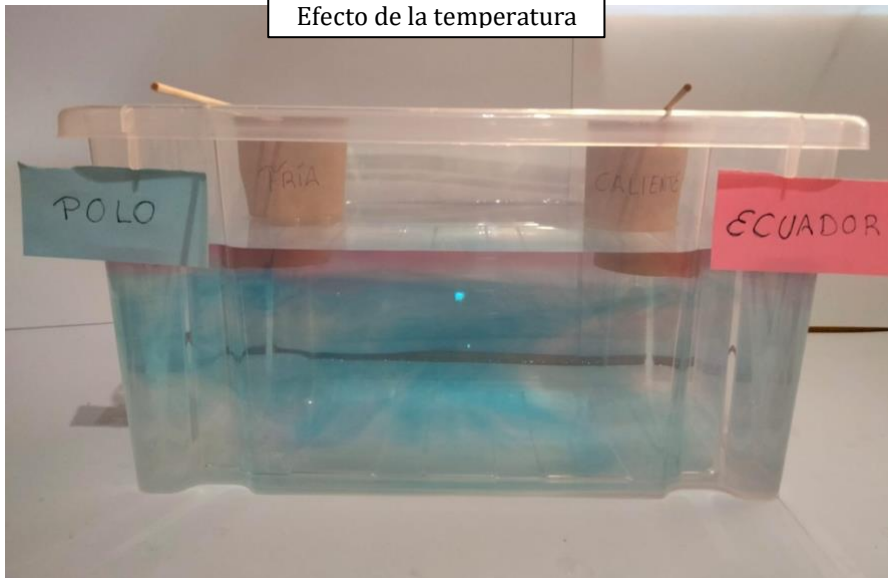
- Diseños experimentales para la observación del efecto de la temperatura y la salinidad sobre la densidad del agua.

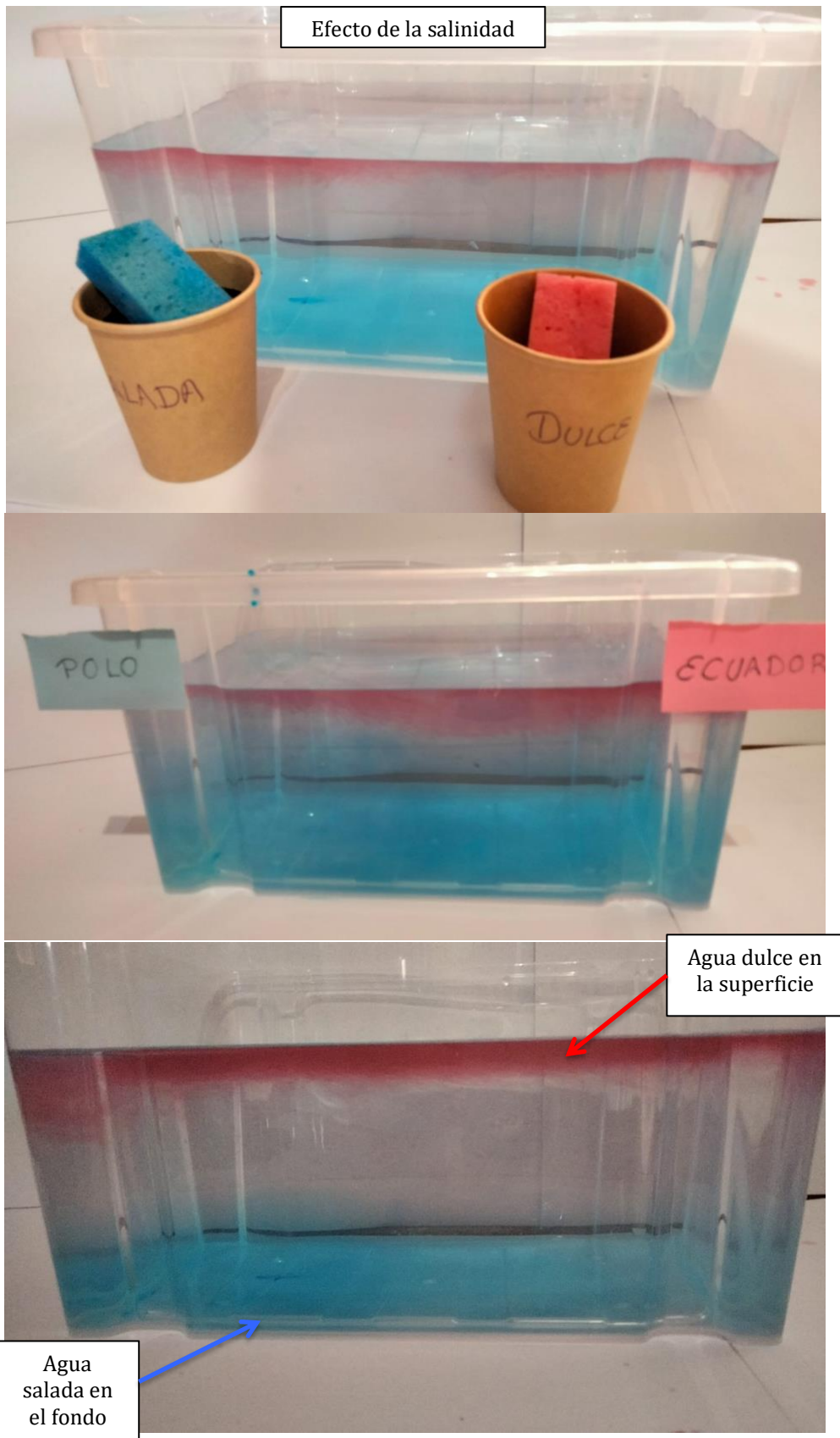
	Efecto de la temperatura	Efecto de la salinidad
MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> - Recipiente transparente grande - Agua a temperatura ambiente - Colorantes rojo y azul - Agua caliente y agua fría - Dos vasos de plástico o corcho - Chinchetas - Bloque o cubitos de hielo 	<ul style="list-style-type: none"> - Recipiente transparente grande - Agua a temperatura ambiente - Colorantes rojo y azul - Dos vasos - Sal - Dos esponjas pequeñas
PROCESO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se rellena el recipiente transparente con agua a temperatura ambiente. 2. Se coloca el hielo en uno de los extremos del recipiente, intentando que no se desplacen. 3. En uno de los vasos de corcho se mezcla agua caliente con colorante rojo y en el otro agua fría con colorante azul. A ambos se les pincha una chincheta en la parte más baja del vaso. 4. Se introduce la base de los vasos en la superficie del agua, sujetando estos mediante algún sistema de sujeción (por ejemplo, varillas). 5. Se quitan las chinchetas de los vasos y el agua comenzará a salir. Se podrá observar como el agua caliente tintada de rojo se mantiene en la superficie mientras que el agua fría tintada de azul y cercana al hielo se hunde. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se rellena el recipiente transparente con agua a temperatura ambiente. 2. Se rellena uno de los vasos con agua a temperatura ambiente y unas gotas de colorante rojo y el otro con agua a temperatura ambiente, dos cucharadas de sal colmadas y unas gotas de colorante azul. 3. Se introduce una esponja en cada uno de los vasos para que quede bien empapada. 4. Se llevan las dos esponjas a ambos lados del recipiente principal, se ponen suavemente sobre la superficie del agua y se aprietan para que liberen el agua tintada que contienen. Se podrá observar que el agua salada tintada de azul se hunde mientras que el agua dulce tintada de rojo queda en la superficie.

“ALGO ESTÁ CAMBIANDO”: PROPUESTA DE INDAGACIÓN PARA 1º Y 3º DE ESO



Efecto de la temperatura





La demostración en vídeo se encuentra al final de este Anexo.

- **Tabla de datos para el estudio de la temperatura y la salinidad tanto en experimentos por separado como en la simulación del océano.**

CIRCULACIÓN TERMOHALINA		
1. Efecto de la temperatura sobre la densidad del agua		
Materiales	Procedimiento (pasos que se han seguido)	Dibujo esquemático del resultado
2. Efecto de la salinidad sobre la densidad del agua		
Materiales	Procedimiento (pasos que se han seguido)	Dibujo esquemático del resultado
3. Efecto combinado en el agua del océano. Creación de corrientes.		
Materiales	Procedimiento (pasos que se han seguido)	Dibujo esquemático del resultado

- Procedimiento experimental “El océano en un cubo”.

Simulación de corrientes oceánicas. Circulación termohalina.

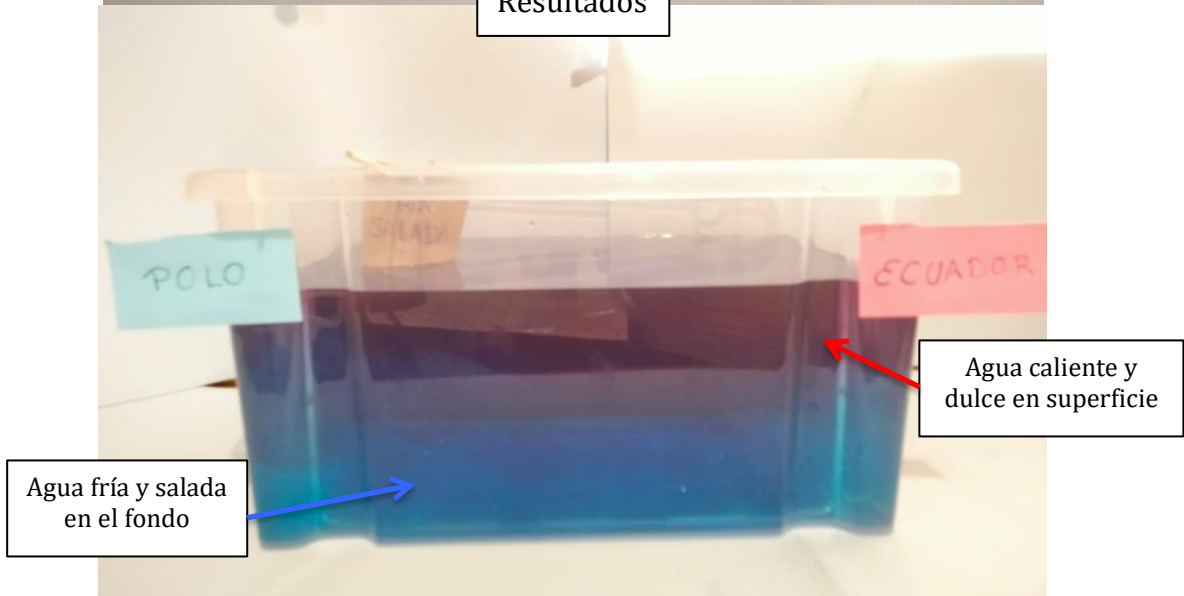
- **Materiales:** recipiente transparente grande, agua a temperatura ambiente, bloque o cubitos de hielo elaborados con agua tintada de azul, agua caliente, agua fría, colorantes rojo y azul, sal, dos vasos de corcho y chinchetas. Opcional: alzas para elevar el recipiente grande y un cuenco pequeño.

- Procedimiento:

1. Se coloca el recipiente principal (transparente) y se rellena de agua a temperatura ambiente a un 3,5% de concentración salina, lo que simulará el agua oceánica. En uno de los extremos del recipiente se coloca el bloque de hielo, representando así el hielo del mar Ártico. El otro extremo representará el ecuador.
2. Uno de los vasos de corcho se llena de agua fría, se le añaden dos cucharadas de sal (para simular la mayor concentración salina que presenta el agua de alrededor de los polos) y unas gotas de colorante azul. El otro vaso se rellena de agua caliente y unas gotas de colorante rojo. Ambos se pinchan en su base con las chinchetas y se dejan introducidas.
3. Mediante algún sistema de sujeción (por ejemplo, varillas) se mantiene la base de los vasos introducidas en la superficie del agua; el de tinte azul se colocará cerca del bloque de hielo y el de tinte rojo en el otro extremo.
4. Se retiran las chinchetas y el agua comenzará a salir de los vasos. Se podrá observar como el agua caliente se mantiene en la superficie mientras que el agua fría cerca del “polo” se hunde. Seguidamente el agua caliente se desplaza hasta la zona del bloque de hielo para ocupar el hueco dejado por la masa de agua que se ha hundido, creándose así las corrientes que conforman la circulación termohalina.
5. Variante: se puede colocar el recipiente principal sobre alzas que dejen un hueco libre bajo el mismo. El paso 1 se mantendría igual, el vaso con agua fría, salada y tintada de azul también se prepararía y se colocaría cerca del bloque del hielo. Sin embargo, el agua de mayor temperatura se conseguiría de manera diferente. Se colocan varias gotas de tinte rojo en el extremo opuesto al bloque de hielo; estas se hundirían hasta el fondo. En este extremo y bajo el recipiente principal se colocaría un cuenco con agua muy caliente que hará que se caliente esta agua. Esto podría simular mejor el papel de los rayos solares (aunque este calor se transmitiría desde abajo en lugar de en la superficie). A los pocos minutos se observaría como el agua tintada de rojo del fondo comienza a ascender a la superficie. Seguidamente, el agua fría que se encontraba en el fondo del extremo opuesto se desplazaría para ocupar este hueco dejado por la masa de agua caliente que ha ascendido, creándose así las corrientes de convección.



Resultados



- Enlace al vídeo de demostración del trabajo práctico:
<https://www.youtube.com/watch?v=RM05MSJMH-g>

Anexo K. Rúbricas de evaluación

- Rúbrica de evaluación de la Competencia Científica.

CATEGORÍA	EXCELENTE 10 - 9	SATISFACTORIO 8 - 7	BÁSICO 6 - 5	INSUFICIENTE < 5	NO-TA
Capacidad de usar el conocimiento científico para describir, explicar y predecir fenómenos.	Expone lo aprendido con sus palabras, integra con en sus esquemas mentales el nuevo contenido y lo transfiere a nuevas situaciones.	Expone lo aprendido con sus palabras, integra con en sus esquemas mentales el nuevo contenido pero no lo transfiere a nuevas situaciones.	Expone lo aprendido con sus palabras, pero no integra con en sus esquemas mentales el nuevo contenido ni transfiere a nuevas situaciones.	No expone lo aprendido con sus palabras, no integra con en sus esquemas mentales el nuevo contenido y no lo transfiere a nuevas situaciones.	
Capacidad de utilizar los modelos científicos para analizar problemas.	Detecta el problema principal, es capaz de explicar sus causas, consecuencias y posibles soluciones y determina su relación con otros problemas próximos.	Detecta el problema principal, es capaz de explicar sus causas, consecuencias y posibles soluciones pero no determina su relación con otros problemas próximos.	Detecta el problema principal, aunque no es capaz de explicar sus causas, consecuencias ni posibles soluciones y no determina su relación con otros problemas próximos.	No detecta el problema principal, no es capaz de explicar sus causas, consecuencias ni posibles soluciones y no determina su relación con otros problemas próximos.	
Capacidad de diferenciar la ciencia de interpretaciones no científicas de la realidad.	Conoce para qué, con qué fundamento y cómo se elabora el conocimiento científico, cuándo y por qué se modifica y distingue entre fuentes de información fiables y no fiables.	Conoce para qué, con qué fundamento y cómo se elabora el conocimiento científico, cuándo y por qué se modifica pero no distingue entre fuentes de información fiables y no fiables.	Conoce para qué, con qué fundamento y cómo se elabora el conocimiento científico, pero no cuándo y por qué se modifica y no distingue entre fuentes de información fiables y no fiables.	No conoce el fundamento del conocimiento científico, ni cuándo y por qué se modifica y no distingue entre fuentes de información fiables y no fiables.	
Capacidad de valorar la calidad de la información según su procedencia y procedimiento de obtención.	Ratifica la información en varias fuentes fiables y es capaz de detectar fallos o inconsistencias en argumentos, procedimientos o referencias de autoría.	Ratifica la información en varias fuentes fiables pero no es capaz de detectar fallos o inconsistencias en argumentos, procedimientos o referencias de autoría.	Ratifica la información solo en una fuente fiable y no es capaz de detectar fallos o inconsistencias en argumentos, procedimientos o referencias de autoría.	No ratifica la información en ninguna fuentes fiable y no es capaz de detectar fallos o inconsistencias en argumentos, procedimientos o referencias de autoría.	
Muestra de interés por el conocimiento, indagación y resolución de problemas científicos.	Participa en los debates y discusiones establecidos en el aula, propone soluciones, se muestra interesado en indagar sobre el tema y expone información recopilada fuera del horario de clase.	Participa en los debates y discusiones establecidos en el aula, propone soluciones y se muestra interesado en indagar sobre el tema aunque no expone información recopilada fuera del horario de clase.	Participa en los debates y discusiones establecidos en el aula, propone soluciones, pero no se muestra interesado en indagar sobre el tema ni expone información recopilada fuera del horario de clase.	No participa en los debates y discusiones establecidos en el aula, no se muestra interesado en indagar sobre el tema y no expone información recopilada fuera del horario de clase.	
Capacidad de tomar decisiones autónomas y críticas	Efectúa valoraciones y toma decisiones con autonomía, crítica, fundamentación y creatividad.	Efectúa valoraciones y toma decisiones con autonomía, crítica, fundamentación pero con poca creatividad.	Efectúa valoraciones y toma decisiones con autonomía y crítica, pero con escasa fundamentación y creatividad.	No efectúa valoraciones ni toma decisiones con autonomía, crítica, fundamentación y creatividad.	
Capacidad de integración de lo anterior para dar respuesta al problema en el contexto del alumnado.	Utiliza de manera integrada todas las capacidades anteriores para responder los problemas presentados.	Utiliza de manera integrada algunas las capacidades anteriores para responder los problemas presentados.	Utiliza de manera integrada solo una de las capacidades anteriores para responder los problemas presentados.	No utiliza de manera integrada ninguna de las capacidades anteriores para responder los problemas presentados.	

- Rúbrica de evaluación del trabajo de Indagación.

CATEGORÍA	EXCELENTE 10 - 9	SATISFACTORIO 8 - 7	BÁSICO 6 - 5	INSUFICIENTE < 5	NO-TA
Identificación del problema científico.	Identifica el problema científico a investigar y participa activamente en el proceso indagativo planteando nuevas preguntas.	Identifica el problema científico a investigar y participa en el proceso indagativo pero sin plantear nuevas preguntas.	Identifica el problema científico a investigar pero no participa adecuadamente en el proceso indagativo.	No identifica el problema científico a investigar ni participa activamente en el proceso indagativo.	
Formulación de hipótesis.	Plantea hipótesis adecuadas para el problema científico en estudio y lo hace a modo de deducción (Si..., entonces...)	Plantea hipótesis adecuadas para el problema científico en estudio aunque con errores o mal formuladas.	Plantea hipótesis ambiguas sin una clara relación con el modelo científico de referencia.	No plante hipótesis o lo hace de manera ilógica.	
Planificación de la investigación: búsqueda de pruebas, determinación de variables y diseño del plan de trabajo.	Realiza una recogida de pruebas adecuada, con información fiable; es capaz de reconocer las variables que encajan con la hipótesis planteada y elabora un diseño experimental fundamentado, con control y una adecuada tabla de recogida de datos.	Realiza una recogida de pruebas con imprecisiones; le cuesta reconocer las variables que encajan con la hipótesis planteada y elabora un diseño experimental incompleto con una confusa tabla de recogida de datos.	Realiza una recogida de pruebas adecuada incompleta o de fuentes no fiables; no sabe concretar las variables que encajan con la hipótesis planteada y elabora un diseño experimental que no permite comprobar la hipótesis y una incorrecta tabla de recogida de datos.	No recoge pruebas para la investigación; no tiene en cuenta ninguna variable y no elabora ningún diseño experimental.	
Obtención y análisis de los datos y determinación de conclusiones.	Realiza un análisis de los datos bien fundamentado y obtiene conclusiones basadas en las pruebas, relacionando los datos teóricos con los empíricos.	Realiza un análisis de los datos incompleto y obtiene conclusiones basadas en las pruebas pero de una manera simplista.	Realiza un análisis de los datos deficiente y obtiene conclusiones no basadas en las pruebas.	No realiza un análisis de los datos y no obtiene conclusiones basadas en las pruebas.	
Comunicación de resultados, interacción con iguales y consideración de explicaciones alternativas.	Comunica sus resultados utilizando un lenguaje científico y de manera fluida; interacciona con sus compañeros/as respetuosamente y considera la existencia de explicaciones alternativas.	Comunica sus resultados utilizando un lenguaje científico pero de manera insegura o memorística; interacciona poco con sus compañeros/as y no considera la existencia de explicaciones alternativas.	Comunica sus resultados utilizando un lenguaje simple y con algunos errores; rara vez interacciona con sus compañeros/as y no considera la existencia de explicaciones alternativas.	No comunica sus resultados ni interacciona con sus compañeros/as.	
Meta-reflexión	Reconoce y describe adecuadamente los procesos de indagación y es consciente de la forma en que se obtiene el conocimiento científico.	Reconoce y describe los procesos de indagación y es consciente parcialmente de la forma en que se obtiene el conocimiento científico.	Reconoce algunos de los procesos de indagación pero presenta muchos errores de concepto a la hora de describir cómo se obtiene el conocimiento científico.	No sabe describir los procesos de indagación y no es consciente de la forma en que se obtiene el conocimiento científico.	