



# Universidad de Navarra

## **Enseñar y aprender la química por indagación:**

una propuesta inclusiva de trabajos prácticos para  
el Programa del Diploma del Bachillerato Internacional.

### **Trabajo Fin de Máster**

Máster Universitario de Profesorado en Educación Secundaria,  
Bachillerato y Formación Profesional.

Curso 2019-2020

Autor: Dr. Enzo Gabriele Panarelli

Director: Dr. Jorge Elorza

Codirector: Dr. José Manuel Martínez

Memoria presentada por Enzo Gabriele Panarelli como Trabajo Fin de Máster en el  
Máster Universitario en Profesorado en Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato,  
Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas.

Pamplona, 18 de junio de 2020



DR. JORGE ELORZA BARBAJERO profesor del Departamento de Física y Matemática Aplicada de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Navarra y DR. JOSÉ MANUEL MARTÍNEZ profesor del Colegio San Ignacio, Jesuitas, de Pamplona, Navarra.

HACEN CONSTAR que el presente trabajo titulado “Enseñar y aprender la química por indagación: una propuesta inclusiva de trabajos prácticos para el Programa del Diploma del Bachillerato Internacional” ha sido realizado bajo su dirección por Enzo Gabriele Panarelli.

AUTORIZÁNDOLE a presentarlo como memoria del Trabajo Fin de Máster en Máster Universitario en Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas.

Pamplona, 18 de junio de 2020.

Firmado: Dr. Jorge Elorza Barbajero

Dr. José Manuel Martínez



## **DECLARACIÓN**

Por la presente yo, Enzo Gabriele Panarelli, declaro que este Trabajo Fin de Máster es fruto de mi propio trabajo y que, en mi conocimiento, no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona, ni material que sustancialmente haya formado parte de los requerimientos para obtener cualquier otro título en cualquier centro de educación superior, excepto en los lugares del texto en los que se ha hecho referencia explícita a la fuente de la información.

Pamplona, 18 de junio de 2020

Firmado: Enzo Gabriele Panarelli

Handwritten signature of Enzo Gabriele Panarelli in black ink.



## **AGRADECIMIENTOS**

El proceso de redacción de este Trabajo Fin de Máster representa el acmé de la estupenda experiencia que ha constituido este Máster Universitario de Profesorado para mí. A mis propios esfuerzos y motivación para concretar este trabajo, de más está decir que se unen las inestimables contribuciones de varias personas, a quienes querría agradecer y mostrar mi suma apreciación a continuación.

En primer lugar, mis más apreciados agradecimientos van al director y al co-director de mi TFM, Dr. Jorge Elorza y Dr. Manuel José Martínez. No hay manera de agradecerles el apoyo, ayuda y paciencia ofrecidos tan puntualmente y eficazmente a lo largo de este Máster. Su apoyo y comentarios han sido clave en el desarrollo de este trabajo. Ha sido una ocasión magnífica poder trabajar con vosotros, y reconozco vuestro esfuerzo aún mayor debido a la distancia y a la imprevisible situación del COVID-19.

Un agradecimiento especial va también a Dr.a Mónica Sepúlveda, por haberme abierto las puertas al mundo del Bachillerato Internacional, y por su atenta revisión de este TFM al respecto.

También querría agradecer al magnífico profesorado de este Máster, y de forma especial a los profesores de la especialidad de Matemáticas, Ciencias Experimentales y de la Naturaleza. Es por medio de las actividades que nos propusieron y su preciosa retroalimentación, que me he podido formar como docente. Por lo tanto, gracias (de nuevo) a Dr. Jorge Elorza y Dr. Manuel José Martínez, y también a Dr. Fernando Echarri, a Dra. María Jesús Ferrández, a Don Eugenio Esteve, a Dr. Mariano Larraz, y a Don Alejandro Rodríguez.

Gracias en fin a los compañeros del MUP, en particular a los “científicos”: Alejandro, Asier, Alex, David, Javier, Leire, Marta, y Rosario. Las muchas horas pasadas juntos me han enriquecido, no sólo como profesor sino también, y más importante aún, como persona.

Por último, aunque no por importancia, querría expresar un querido agradecimiento a mi familia. A Nikos, por haberme apoyado incondicionadamente en este recorrido, y haber tan valiosamente aguantado conmigo los momentos más duros. A mi madre, por haberme sacado la valentía de emprender esta aventura hacia mi verdadera vocación. Y a mi padre, a Annalisa, y a Michelle por haber estado cerca de mí en cada momento, cancelando la distancia física.

## **RESUMEN**

El Bachillerato Internacional (IB) es una organización educativa que, a partir de unos principios fundamentales de respeto intercultural, valores cívicos, paz mundial, y actitud activa de aprendizaje a lo largo de la vida, colabora con colegios y administraciones escolares a nivel mundial para desarrollar programas educativos internacionales rigurosos, holísticos y de calidad. Entre ellos está el Programa del Diploma (DP), un programa educativo pre-universitario desafiante y estimulador, cuya implementación sigue aumentando a nivel global.

A partir del énfasis puesto por el IB en enfoques de enseñanza y aprendizaje basados el ciclo de indagación-acción-reflexión, se propone a continuación una programación didáctica de las actividades prácticas para la asignatura de Química del DP (Nivel Medio), el llamado plan de trabajos prácticos. El plan propuesto, contextualizado en el Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra, se estructura a través de un *crescendo* de complejidad, tanto cognitiva como experimental. Se parte, pues, de un modelo de indagación “cerrada” o por confirmación, y se va preparando al alumnado a la investigación científica “abierta” que tendrán que realizar individualmente como evaluación interna final de la asignatura. Por eso, además, todas las actividades se planifican y evalúan siguiendo los criterios de la evaluación interna propuestos por el IB, recalcando los aspectos formativos de la evaluación. Asimismo, se hace mucho hincapié en la significatividad del aprendizaje, diseñando la enseñanza y las experiencias de aprendizaje en una óptica constructivista que fomente la construcción social del conocimiento, el aprendizaje cooperativo y la comprensión conceptual. Las actividades aquí propuestas son además diseñadas para eliminar las barreras de aprendizaje, y garantizar una educación inclusiva y el acceso al currículum de ciencias por parte de todo tipo de alumno.

En definitiva, este plan de trabajos prácticos pretende ser un intento de alfabetización científica que brinde a los alumnos y alumnas la oportunidad de desarrollar las habilidades de investigación, de pensamiento, de comunicación, de autogestión, y sociales necesarias para crecer como individuos responsables, críticos y científicamente competentes en una sociedad cada vez más compleja y tecnológica.

## **PALABRAS CLAVE**

Bachillerato Internacional, IB, Programa del Diploma, actividades prácticas, química, Bardenas Reales, enseñanza basada en la indagación, evaluación formativa, aprendizaje significativo, educación inclusiva.

## **ABSTRACT**

The International Baccalaureate (IB) is an educational organization based on fundamental principles of intercultural understanding and respect, civic values, world peace, and active life-long learning attitude, who collaborate with schools and administrations worldwide to develop rigorous, holistic, and high-quality international education programmes. Among them is the Diploma Programme, a challenging and stimulating pre-university school programme whose implementation keeps growing all over the world.

Starting from the emphasis laid by the IB on teaching and learning approaches centred on the cycle of inquiry, action and reflection, hereby is proposed a course planning of the practical activities of DP Chemistry (Standard Level), the so-called practical scheme of work. The practical activities proposed, designed in the context of the Natural Park of the Bardenas Reales of Navarra, are structured following a rising *crescendo* of complexity, both cognitively and experimentally. Thus, the activities start from a model of “closed” inquiry (or confirmation inquiry), progressively preparing the students to the open scientific investigation they will have to perform individually as the subject’s final internal assessment. Therefore, all the activities are planned and assessed based on the IB internal assessment criteria, highlighting the formative aspects thereof. In addition, meaningful learning is much emphasized, by designing teaching and learning experiences from a constructivist perspective that fosters the social construction of knowledge, cooperative learning, and conceptual understanding. Moreover, the activities presented here are designed to remove barriers to learning, and to allow an inclusive education and access to the science curriculum to all kinds of students.

In conclusion, this practical scheme of work is meant to be an attempt to develop the students’ scientific literacy, giving them the opportunity to develop the thinking, social, communication, self-management, and research skills necessary to grow as responsible, critically aware, and scientifically competent individuals in an ever more complex and technological society.

## **KEYWORDS**

International Baccalaureate, IB, Diploma Programme, practical activities, chemistry, Bardenas Reales, inquiry-based teaching and learning, formative assessment, meaningful learning, inclusive education.



# Índice

<b>LISTA DE ABREVIACIONES .....</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
1.1 BACHILLERATO INTERNACIONAL: LOS PRINCIPIOS .....	4
1.2 MENTALIDAD INTERNACIONAL .....	4
1.3 ATRIBUTOS DEL PERFIL DE LA COMUNIDAD DE APRENDIZAJE DEL IB.....	6
1.4 ENFOQUES DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE.....	8
1.4.1 <i>Los enfoques de enseñanza</i> .....	10
1.4.2 <i>Los enfoques de aprendizaje</i> .....	12
1.5 PROGRAMA DEL DIPLOMA .....	13
<b>2 QUÍMICA DEL NIVEL MEDIO .....</b>	<b>17</b>
2.1 NATURALEZA DE LA CIENCIA .....	17
2.2 NATURALEZA DE LA QUÍMICA .....	19
2.3 OBJETIVOS GENERALES DE CIENCIAS.....	21
2.4 OBJETIVOS DE EVALUACIÓN DE CIENCIAS .....	22
2.5 LA EVALUACIÓN INTERNA.....	22
2.6 SEGURIDAD EN EL LABORATORIO.....	26
<b>3 PLAN DE TRABAJOS PRÁCTICOS .....</b>	<b>27</b>
3.1 LA ENSEÑANZA BASADA EN LA INDAGACIÓN Y LA COMPRESIÓN CONCEPTUAL .....	28
3.2 LA QUÍMICA Y LA DIVERSIDAD EN LAS ACTIVIDADES PRÁCTICAS .....	33
3.3 ENFOQUES (O HABILIDADES) DE APRENDIZAJE TRABAJADOS .....	37
3.4 ATRIBUTOS DEL PERFIL DE LA COMUNIDAD DE APRENDIZAJE DEL IB TRABAJADOS ..	39
3.5 CRITERIOS DE EVALUACIÓN INTERNA .....	40
3.6 TEMAS DEL NIVEL MEDIO DE QUÍMICA .....	42
3.7 ACTIVIDADES PRÁCTICAS .....	43
3.7.1 <i>Trabajo práctico n. 1: Visita de campo</i> .....	47
3.7.2 <i>Trabajo práctico n. 2: Indagación por confirmación</i> .....	48
3.7.3 <i>Trabajo práctico n. 3: Indagación guiada</i> .....	52
3.7.4 <i>Trabajo práctico n. 4: Indagación estructurada</i> .....	54

<b>4</b>	<b>REFLEXIONES</b> .....	<b>56</b>
4.1	SOBRE COMPLEJIDAD, ASEQUIBILIDAD, Y SIGNIFICATIVIDAD.....	56
4.2	SOBRE LA COMPRESIÓN CONCEPTUAL.....	58
4.3	SOBRE LA INDAGACIÓN Y LA NATURALEZA DE LA CIENCIA.....	59
4.4	SOBRE LA EVALUACIÓN.....	61
4.5	SOBRE LA IMPORTANCIA DE LAS RELACIONES.....	64
4.6	SOBRE EDUCACIÓN INCLUSIVA Y MENTALIDAD INTERNACIONAL.....	65
4.7	FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE ESTE PLAN DE TRABAJOS PRÁCTICOS.....	68
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>72</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>83</b>
7.1	RÚBRICAS DE EVALUACIÓN.....	83
7.2	RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES PRÁCTICAS.....	87
7.3	RECURSOS DE APOYO A LOS TRABAJOS PRÁCTICOS.....	88

## Lista de abreviaciones

AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
ANOVA	<i>Analysis of variance</i> (análisis de la varianza)
CAS	Creatividad, Actividad y Servicio
DP	<i>Diploma Programma</i> (Programa del diploma)
DUA	Diseño Universal para el Aprendizaje
HOTS	<i>Higher Order Thinking Skills</i> (habilidades de pensamiento superior)
IB	<i>International Baccalaureate</i> (Bachillerato Internacional)
ICP-MS	<i>Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry</i> (espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente)
ISA	<i>International Schools Association</i> (asociación de escuelas internacionales)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organización Internacional de Normalización)
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i> (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada)
NEE	Necesidades Educativas Especiales
NGSS	<i>Next Generation Science Standards</i> (estándares científicos de la próxima generación)
NM	Nivel Medio
NS	Nivel Superior
PEC	Proyecto Educativo de Centro
SAR	<i>Sodium Adsorption Ratio</i> (índice de adsorción de sodio)
STEM	<i>Science, Technology, Engineering, and Mathematics</i> (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas)
TFM	Trabajo Fin de Máster
TOK	<i>Theory of Knowledge</i> (Teoría del Conocimiento)
UV-Vis	<i>Ultraviolet-visible spectroscopy</i> (espectroscopia ultravioleta-visible)

# 1 Introducción

## 1.1 Bachillerato Internacional: los principios

El Bachillerato Internacional (en inglés, *International Baccalaureate*, IB) es una organización educativa nacida en 1968 tras una creciente movilidad mundial para dar respuesta a la necesidad de garantizar programas homogéneos entre diferentes países y una educación de calidad reconocida a nivel internacional. Los principios del IB, expuestos en su Declaración, traen su origen de la voluntad de “*Crear un mundo mejor a través de la educación*” (Organización del Bachillerato Internacional, 2019a), yendo más allá de las fronteras geográficas, dentro de un marco de respeto intercultural, entendimiento mutuo, y apreciación de la diversidad. Por eso, colaborando con colegios, administraciones y organizaciones escolares en todo el mundo, el IB desarrolla programas educativos internacionales rigurosos, pretendiendo formar a jóvenes con valores y atributos como la solidaridad, la compasión, la responsabilidad, y la sed de aprender a lo largo de toda la vida. Además, la educación IB anhela que sus alumnos y alumnas sean capaces de contribuir a crear un mundo mejor y más pacífico, gracias a la mentalidad internacional que se les brinda, además de los conocimientos, habilidades y aptitudes necesarios “*para emprender acciones responsables con vistas al futuro*” (Organización del Bachillerato Internacional, 2019a).

## 1.2 Mentalidad internacional

La sociedad actual es globalizada y multicultural: la tecnología, los viajes y los comercios difuminan las fronteras geográficas y nos interconectan, y a la hora de entender la complejidad de esta realidad transnacional, puede que los currículos nacionales ya no sean los más adecuados (Hacking et al., 2018). Por eso, la educación internacional del IB pretende dotar a sus alumnos de las habilidades y conocimientos necesarios para promover la justicia social y un desarrollo internacional sostenible, con el fin de crear un mundo más pacífico y equitativo (Hacking et al., 2018). A raíz de la filosofía educativa del IB está pues la llamada mentalidad internacional (en inglés, *International Mindedness*), conceptualizada como una “*actitud de apertura e interés por el mundo y sus diferentes culturas*” (Organización del Bachillerato Internacional, 2015a) que se basa en las dimensiones del multilingüismo, del entendimiento intercultural y del compromiso global (Hill, 2012) (Singh & Qi, 2013):

- el multilingüismo es más que aprender varios idiomas: tiene que ver con la concienciación de que el mundo está formado por realidades lingüísticas complejas de millones de personas en contextos socioculturales distintos;
- el entendimiento intercultural tiene que ver con el respeto, la tolerancia y la empatía hacia los valores y culturas de los demás, eliminando estereotipos y prejuicios, y se desarrolla en los alumnos animándolos a explorar y comprometerse en sus propios valores y cultura;
- el compromiso global significa comprometerse en afrontar los grandes retos de la humanidad moderna, tanto dentro como fuera de la clase.

En otras palabras, el enfoque pedagógico del IB basado en la mentalidad internacional pretende promover el entendimiento intercultural, la comprensión y valoración de otras culturas y valores, y el aprendizaje de varios idiomas, yendo más allá de estereotipos y prejuicios. Conlleva una forma de pensar, ser y actuar arraigadas en la consciencia de los vínculos que nos unen como seres humanos, y de la responsabilidad de nuestras acciones (Organización del Bachillerato Internacional, 2019c). Para ello, es preciso un modelo de enseñanza y aprendizaje basado en la indagación y el pensamiento crítico, que favorecen una postura de apertura y cuestionamiento de posiciones convencionales y creencias establecidas, y la aceptación de que ser diverso no implica no estar en lo cierto (Hill, 2003).

Para inculcar en los alumnos y alumnas la mentalidad internacional y convertirlos en ciudadanos globales, es decir, aptos para la comprensión de cuestiones globales a través de habilidades de pensamiento crítico, habilidades informáticas y actitudes pluralistas, el IB pretende proveer una *educación para la ciudadanía global* integrada en los enfoques de enseñanza y aprendizaje. Así pues, además de deberse integrar en la forma de liderazgo de los equipos directivos y en los programas de desarrollo profesional de los docentes (Hacking et al., 2018), la educación para la ciudadanía global debe estar enmarcada en toda la filosofía, pedagogía (como enfoques constructivistas, “transdisciplinariedad”, aprendizaje cooperativo, aprendizaje basado en la indagación), contenido y evaluación del IB, y no como simple elemento añadido al currículo (Davy, 2011). Por ejemplo, en lo que respecta al grupo de asignaturas de Ciencias, el IB pone el énfasis en considerar la ciencia y la tecnología “*como importantes logros internacionales basados en indagaciones críticas y libres que van más allá de las nacionalidades, la política y la religión*” (Organización del Bachillerato Internacional, 2015a).

Sin embargo, cada colegio se encuentra en entornos culturales, geográficos, y socio-económicos únicos, así que el IB reconoce que hay una pluralidad de modalidades para poner en práctica la mentalidad internacional, equilibrándola con los contextos locales y dando voz a los valores y culturas de la comunidad. Así, fomentar la mentalidad internacional significa también promover un ambiente escolar inclusivo, donde cada miembro se valore a pesar de las diferencias, lo que ayuda a los alumnos a desarrollar una identidad y autoconcepto positivos (Hacking et al., 2018).

### 1.3 Atributos del perfil de la comunidad de aprendizaje del IB

Los tres principios del IB comentados anteriormente se concretan fomentando una serie de valores, actitudes, habilidades y competencias que el IB enmarca en un perfil de 10 atributos: el perfil de la comunidad de aprendizaje, o sea “*la declaración de principios del IB en acción*” (Organización del Bachillerato Internacional, 2015e). Los atributos de este perfil deben considerarse, en sí mismos, como unas guías para alcanzar la mentalidad internacional: por eso son los pilares de todos los programas del IB, sirviendo además para garantizar un continuum entre ellos. En la Tabla 1-1 se describen brevemente los 10 atributos según el modelo IB (Organización del Bachillerato Internacional, 2019b), clasificados por tipos de desarrollo, como se detalla a continuación.

Los atributos del perfil de la comunidad de aprendizaje del IB van más allá del solo desarrollo intelectual, y son expresión de la visión de la educación IB como formación holística, centrada en el desarrollo integral del individuo. Se basan, además, en principios fundamentales cuales el poner en común valores, conocimientos y experiencias; la comprensión y el respeto; la actitud activa de aprendizaje a lo largo de toda la vida; la compasión; la solidaridad y el compromiso social; el bienestar físico y emocional. Son entonces una serie de “*normas y aplicaciones concretas que [ayudan] a todos los miembros de la comunidad escolar a aprender a respetarse a sí mismos, a otros y al mundo que los rodea*” (Organización del Bachillerato Internacional, 2015e).

Siendo atributos de toda la *comunidad* de aprendizaje del IB, son aplicables tanto al alumnado como a los adultos que hacen parte de la comunidad escolar: los miembros de los equipos directivos, el profesorado y todo el personal, e incluso los padres deben hacer de modelado para el desarrollo de los atributos en los estudiantes. Obviamente, para que toda la comunidad

de aprendizaje incorpore estos atributos de forma significativa en su sistema de valores y actitudes, el perfil de aprendizaje ha de adaptarse a los contextos culturales locales (Organización del Bachillerato Internacional, 2015e).

Los atributos del perfil de la comunidad de aprendizaje del IB pueden clasificarse en “temas” o áreas que tienen relación con el desarrollo intelectual, personal, emocional y social que los alumnos deben alcanzar a través de sus vivencias y experiencias en los colegios que ofrecen los programas IB (Bullock, 2010):

- Desarrollo intelectual (o cognitivo): corresponde a los atributos de “Informados e instruidos”, “Pensadores” y “Reflexivos”, y se refiere a los procesos cognitivos de adquisición del conocimiento y de la comprensión como el desarrollo y la interacción de conceptos y de modelos mentales. Fomenta el pensamiento crítico y el aprendizaje autónomo.
- Desarrollo personal (o metacognitivo): corresponde a los atributos de “Indagadores” e “Íntegros”, y considera los aspectos de la metacognición en el aprendizaje, como la volición y la autoeficacia, además de la propia responsabilidad y autoconciencia en el aprendizaje.
- Desarrollo emocional (o afectivo): corresponde a los atributos de “Solidarios”, “Audaces” y “Equilibrados”, y aborda cualidades personales, autoconcepto, y habilidades emocionales esenciales para el desarrollo académico y personal, así como la responsabilidad social, el bienestar y la autoeficacia.
- Desarrollo social (o cultural): corresponde a los atributos de “Buenos comunicadores” y “De mentalidad abierta”, y arraiga en el hecho de que la comunidad alrededor del colegio, la colaboración con los demás, y la capacidad de considerar y evaluar puntos de vista distintos tienen una gran importancia en el aprendizaje.

Tabla 1-1: Los 10 atributos del perfil de la comunidad de aprendizaje del IB (Organización del Bachillerato Internacional, 2019b), clasificados por tipo de desarrollo según (Bullock, 2010).

<b>Tipo de desarrollo</b>	<b>Atributos</b>	<b>Valores y actitudes desarrolladas</b>
Cognitivo	Informados e instruidos	- Comprensión conceptual - Exploración y conexiones interdisciplinarias - Compromiso con cuestiones locales y mundiales
	Pensadores	- Habilidades de pensamiento crítico - Habilidades de pensamiento creativo - Responsabilidad e iniciativa - Toma de decisiones de forma ética
	Reflexivos	- Aprendizaje autónomo - Comprensión y evaluación de las propias fortalezas y debilidades
Metacognitivo	Indagadores	- Curiosidad - Habilidades de indagación e investigación - Aprendizaje autónomo y cooperativo - Aprendizaje durante toda la vida
	Íntegros	- Integridad - Honradez - Sentido de la equidad - Justicia - Respeto por la dignidad y los derechos de las personas - Asunción de responsabilidad de nuestros actos
Afectivo	Solidarios	- Empatía - Sensibilidad - Respeto - Compromiso para el bienestar social
	Audaces	- Resiliencia al cambio y a los desafíos - Trabajo autónomo y colaborativo - Previsión y determinación - Innovación
	Equilibrados	- Bienestar propio y de los demás - Interdependencia con los demás
Cultural	Buenos comunicadores	- Expresión en diferentes idiomas - Colaboración eficaz - Escucha activa
	De mentalidad abierta	- Apreciación crítica de la cultura y valores propios y ajenos - Evaluación de puntos de vista diferentes - Aprender de la experiencia

#### 1.4 Enfoques de enseñanza y aprendizaje

Como se ha mencionado anteriormente, el IB apuesta por una formación holística, la cual puede conceptualizarse como un sistema de creencias, sentimientos, principios e ideas que tienen como objetivos ir más allá de la educación en el aula, y alcanzar el más amplio e integral desarrollo del alumno como persona, a una multiplicidad de niveles: cognitivo, emocional, social, físico, creativo, estético y espiritual. Para posibilitar la educación holística, que se apoya en el aprendizaje autorregulado y a lo largo de toda la vida, son esenciales las relaciones activas y colaborativas entre todos los miembros de la comunidad de aprendizaje. Son las propias relaciones que se convierten en experiencias de aprendizaje y capacitan a los alumnos para

pensar crítica y creativamente, a evaluar los aspectos culturales, morales y políticos de los contextos en que viven, y a reflexionar sobre sí mismos y sus propios valores (Hare, 2010).

En la educación holística, tanto los alumnos como los profesores emprenden un camino de crecimiento personal, compartiendo y evaluando sus valores y creencias, lo que puede suponer un desafío para los educadores al asomarse a un territorio de incertidumbre personal. Es así que el profesor, haciendo de modelo gracias a su experiencia de vida, guía a los alumnos en desarrollar el pensamiento crítico, en confrontar opiniones nuevas, y en evaluar sus propios valores y prejuicios. La educación holística empuja a los educadores a reflexionar sobre sus prácticas y cómo ellas influyen en el desarrollo cognitivo y afectivo del alumnado: la relación alumno-profesor se convierte en una serie de procesos de aprendizaje inclusivos, activos y dinámicos (Hare, 2010).

De acuerdo con la visión holística de la educación según el IB, los enfoques de enseñanza y aprendizaje son el conjunto de estrategias de enseñanza y categorías de habilidades para el aprendizaje que concretan la filosofía del IB. Abordan la variedad del alumnado y de sus estilos de aprendizaje, y desarrollan los atributos del perfil de la comunidad de aprendizaje del IB.

Basándose en estos enfoques, el profesor no se limita a transmitir conocimientos: ayudando a los alumnos a trabajar en su “zona de desarrollo próximo” (es decir, la distancia entre lo que el alumno es capaz de hacer solo, y lo es capaz de hacer con el apoyo del profesor), el profesor fomenta un aprendizaje significativo, animando a todos los alumnos a participar activamente en las actividades de clase y manteniendo alto el nivel de interacción entre alumnos y alumnos-profesor. De ahí que la clase se convierte en una experiencia de aprendizaje más equitativa, donde *“la voz del alumno es tan importante como la del profesor”* (Organización del Bachillerato Internacional, 2015d).

Cabe destacar, en fin, que los enfoques de enseñanza y aprendizaje del IB abordan las necesidades lingüísticas de los alumnos (Organización del Bachillerato Internacional, 2015d). Por eso, a la hora de poner en práctica enfoques de enseñanza y aprendizaje, hay que considerar que las diferencias lingüísticas del alumnado reflejan importantes diferencias en los procesos cognitivos, comunicativos, y del aprendizaje: pensamiento, lengua y cultura son entrelazados y se influyen entre sí (Allan, 2011). Los profesores IB deben familiarizarse y crear conexiones con los contextos culturales de sus alumnos, también a través de experiencias y

relatos compartidos por ellos. Este proceso empieza ya a partir del contexto físico del aula, donde la comunicación debe ser multicultural y ocurrir en el mayor número de idiomas que hable el alumnado. Las aulas, además, deben posibilitar la interacción y facilitar el aprendizaje cooperativo en los idiomas de los alumnos (Allan, 2011).

Dados estos presupuestos, la educación IB identifica un conjunto de seis enfoques de enseñanza y cinco enfoques (o habilidades) de aprendizaje, descritos en los apartados que siguen.

#### 1.4.1 Los enfoques de enseñanza

Los enfoques de enseñanza del IB son un conjunto de seis principios pedagógicos básicos que guían la planificación didáctica y tienen como objetivo que los alumnos aprendan a ser, hacer, conocer, y vivir juntos. Pueden flexibilizarse y adaptarse por los docentes a los contextos de sus disciplinas, del centro educativo, y a las necesidades del alumnado. Por lo tanto es preciso que los profesores empleen enfoques diferentes en situaciones diferentes, combinando actividades individuales, grupales y de clase (Organización del Bachillerato Internacional, 2015d).

A continuación se indican brevemente los enfoques de enseñanza del IB (Organización del Bachillerato Internacional, 2015d) (Organización del Bachillerato Internacional, 2019d):

- **Enseñanza basada en la indagación:** puede entenderse como un énfasis en el desarrollo de la curiosidad natural de los alumnos, de las habilidades necesarias para una actitud activa de aprendizaje a lo largo de toda la vida, y de las habilidades de pensamiento crítico y creativo (Organización del Bachillerato Internacional, 2015d). El profesor, en función de facilitador del aprendizaje, convierte a sus alumnos en los responsables de su aprendizaje, fomentando preguntas y animándolos a buscar y encontrar información para construir su conocimiento. Asimismo, este enfoque se basa en un ciclo de *indagación* (búsqueda de información basada en los conocimientos previos), *acción* (aprender haciendo) y *reflexión* (autoevaluación crítica), además de relaciones y comunicaciones significativas entre alumnos y docentes.
- **Enseñanza centrada en la comprensión conceptual:** su esencia consiste en el desarrollo del conocimiento conceptual a través de habilidades de pensamiento de orden superior y las conexiones entre el conocimiento nuevo y el previo. Moviendo el énfasis del conocimiento factual al conceptual, se logra la comprensión a fondo de

conceptos e ideas. Es un enfoque de enseñanza centrada en las ideas (Erickson, 2012) y en la (re)organización de la estructura cognitiva del alumnado, donde contenido, conceptos y habilidades están estrechamente entrelazados.

- **Enseñanza desarrollada en contextos locales y globales:** se da aprendizaje eficaz cuando se estimula la comprensión de los conceptos en un contexto de aprendizaje significativo, que tenga relación con la realidad de los alumnos, sus intereses y sus identidades. La exploración de los contextos locales y globales fomenta, además de la motivación y participación significativa y activa del alumnado, también la mentalidad internacional y la indagación.
- **Enseñanza centrada en el trabajo en equipo y la colaboración eficaces:** consiste en promover el diálogo activo en las aulas, y proveer comentarios eficaces sobre lo que los alumnos han entendido o no en las clases, además de fomentar el trabajo en equipo y la relación de colaboración entre los alumnos y entre los profesores. Se hace hincapié en el aprendizaje como resultado de interacciones y habilidades sociales, una expresión de las cuales es el aprendizaje cooperativo.
- **Enseñanza diseñada para eliminar las barreras para el aprendizaje:** garantizar el acceso de todo el alumnado al contenido y a las actividades de clase es elemento imprescindible de la educación inclusiva. Para atender a la diversidad del alumnado y a sus necesidades y estilos de aprendizaje individuales, hay que realizar activamente una diferenciación y adaptación individuales de la enseñanza. Este aspecto se detalla a fondo en el apartado 3.2, “La Química y la diversidad en las actividades prácticas”.
- **Enseñanza guiada por la evaluación:** la evaluación no es sólo un método para medir el aprendizaje (evaluación *del* aprendizaje, o evaluación sumativa), sino que lo apoya, lo guía y lo retroalimenta (evaluación *para el* aprendizaje, o evaluación formativa), con el fin de mejorarlo y así mejorar la misma enseñanza. La evaluación del IB es rigurosa, continua a lo largo del curso, variada, e integrada en el currículo: por eso se centra siempre en los objetivos generales y de evaluación de cada curso, y también se basa en criterios que valoran el trabajo de los estudiantes en relación con niveles de desempeño determinados.

#### 1.4.2 Los enfoques de aprendizaje

Los enfoques de aprendizaje del IB son una serie de categorías de habilidades interconectadas, necesarias para ayudar a los alumnos a ser autónomos en su aprendizaje. Son habilidades de tipo cognitivo, metacognitivo y afectivo que favorecen el aprender a aprender y el aprendizaje autorregulado, convirtiendo a los alumnos en agentes activos y dinámicos de su aprendizaje – siendo pues una concretización de los principios del IB (Organización del Bachillerato Internacional, 2019d). Se desarrollan a través del currículo, de los componentes troncales del núcleo, y del ciclo de enseñanza por indagación. En breve, son (Organización del Bachillerato Internacional, 2015c):

- **Habilidades de pensamiento:** el profesor, en función de facilitador, estimula a los alumnos a pensar críticamente y reflexionar, a través de preguntas adecuadas y proporcionándoles rutinas de pensamiento. Se desarrollan las llamadas “habilidades de pensamiento superior” (en inglés, *Higher Order Thinking Skills*”, HOTS) (Krathwohl & Anderson, 2009), que incluyen las habilidades metacognitivas, y que a su vez ayudan a desarrollar las demás habilidades.
- **Habilidades de investigación:** de gran relevancia para las asignaturas de Ciencias, se rigen en la enseñanza basada en la indagación. Se trata de acostumbrar a los alumnos a una serie de habilidades relacionadas con la investigación científica, como: formular preguntas de investigación; detallar metodología y variables; obtener, procesar, representar y analizar los datos; discutir y evaluar los resultados; buscar información relevante y fuentes fiables; sacar conclusiones razonadas basadas en las evidencias.
- **Habilidades de comunicación:** son un conjunto de distintas formas de comunicación que, además de beneficiar las habilidades sociales y las relaciones interpersonales con otros alumnos y con los adultos, pueden mejorar la autoeficacia, la autoestima y la confianza en sí mismos. Incluyen la capacidad de comunicarse, entender y hacerse entender en una variedad de contextos, situaciones comunicativas y formas (escritas y orales), con varios tipos de finalidades.
- **Habilidades sociales:** Estrechamente relacionadas con las habilidades de comunicación, las habilidades afectivas, y las habilidades de autogestión, las habilidades sociales son esenciales para el funcionamiento eficaz en el centro escolar y las relaciones entre pares y con los adultos. Las habilidades sociales favorecen la

cooperación y el aprendizaje, que es un proceso social activo para la construcción de significado. Además, las habilidades sociales desarrolladas en el centro escolar ayudan al alumnado a enfrentarse a la realidad social fuera del centro.

- **Habilidades de autogestión:** pertenecen a la esfera emotiva y de la metacognición, siendo habilidades útiles para aprender a aprender, a autorregular el aprendizaje y el nivel de desempeño, y a reflexionar sobre las competencias que se emplean para la autorregulación del aprendizaje. Estas habilidades son favorecidas por un entorno de aprendizaje positivo que se centre en las competencias cognitivas y afectivas de los alumnos (como la resiliencia), además de su capacidad de reflexión, confianza en sí mismos (autoeficacia) y conocimiento de sí mismos (autoconcepto) (Organización del Bachillerato Internacional, 2015d).

En el apartado 3.3 se detallan los enfoques trabajados en las propuestas de actividades prácticas de este TFM.

## 1.5 Programa del Diploma

El Programa del Diploma (en inglés, *Diploma Programme*, DP) es uno de los cuatro programas educativos ofrecidos por el IB, y el primero en ser desarrollado en 1968 (con la asignatura de Historia Contemporánea), después de la conferencia de educadores internacionales en ciencias sociales organizada en 1962 por la *International Schools Association* (ISA) en Ginebra (Hill, 2003). El objetivo de la ISA era crear un programa educativo:

- i) que convirtiera a los alumnos y alumnas en ciudadanos del mundo, brindándole una perspectiva de entendimiento internacional con el fin de promover la paz mundial;
- ii) reconocido a nivel mundial para el acceso a la universidad, con estándares de evaluación y currículos comunes a nivel internacional, para facilitar la movilidad global;
- iii) que promoviera habilidades de pensamiento crítico, en contraste con el aprendizaje memorístico común en aquella época.

Al día de hoy, el Programa del Diploma se enseña en más de 1200 colegios de 117 países (Organización del Bachillerato Internacional, 2020). Está dirigido a alumnos y alumnas de entre 16 y 19 años de edad, a quienes pretende brindar una educación de excelencia con un

enfoque internacional, amplio y equilibrado para el desarrollo de las habilidades académicas necesarias para el acceso a la universidad (Organización del Bachillerato Internacional, 2015a). Eso se concreta con el estudio simultáneo de seis asignaturas, más tres componentes troncales a lo largo de dos años.

En la Figura 1-1 se sintetiza esquemáticamente la estructura del DP. Al centro del modelo está la comunidad de aprendizaje del IB, caracterizada por los atributos explicados en el apartado 1.3. Todos los miembros de la comunidad escolar IB se mueven dentro de un marco de enfoques de enseñanza y aprendizaje (descritos en el apartado 1.4), correspondientes al segundo círculo del modelo. En el tercer círculo está el llamado “núcleo” del programa, o sea los componentes troncales del DP. Estos componentes retroalimentan las disciplinas académicas del DP, y a su vez se enriquecen de ellas: por eso, en las guías de las asignaturas del DP, cada tema tiene conexiones explícitas con los componentes del núcleo. Estos son (Organización del Bachillerato Internacional, 2015f):

- **Teoría del Conocimiento** (en inglés, *Theory of Knowledge*, TOK): es un curso que se centra en el pensamiento crítico y la indagación acerca del aprendizaje y la naturaleza del conocimiento, relacionando las áreas de conocimiento con las formas con que las conocemos. Puede resumirse en la pregunta: “¿Cómo sabemos lo que sabemos?”. Las habilidades de pensamiento crítico que se desarrollan en TOK son, por supuesto, transferibles a las demás disciplinas del DP.
- **Monografía** (en inglés, *Extended Essay*): es un trabajo de investigación independiente relacionado con un tema de alguna asignatura del DP, y brinda la posibilidad de desarrollar habilidades de investigación y comunicación académica, además de la creatividad. Como se verá a continuación en el apartado 2.5, tiene mucho en común con la evaluación interna de las asignaturas del Grupo 4, la principal diferencia siendo que la monografía es un trabajo más extenso a lo largo de los años del DP.
- **Creatividad, Actividad y Servicio** (en inglés, *Creativity, Activity, Service*, CAS): de acuerdo con los principios fundamentales del IB y con los atributos del perfil de la comunidad de aprendizaje, el programa CAS pretende hacer personas mejores, educando el carácter y la identidad de los alumnos a través de actividades de exploración creativa de ideas para generar un producto original (Creatividad),

actividades deportivas para un estilo de vida sano (Actividad), y la colaboración con la comunidad para responder a una necesidad auténtica (Servicio).

En el cuarto círculo están los seis grupos de disciplinas del DP. Los alumnos han de elegir una asignatura por grupo:

- Grupo 1: Estudios de Lengua y Literatura. Se refiere a la Lengua A, o sea la lengua principal de comunicación en el colegio.
- Grupo 2: Adquisición de Lengua. Se refiere a la adquisición de idiomas que no sean la lengua vehicular del colegio, como Lenguas Clásicas u otras Lenguas B.
- Grupo 3: Individuos y Sociedades. Incluye asignaturas muy diversas como Historia, Economía o Psicología.
- Grupo 4: Ciencias. Son las asignaturas de ciencias experimentales como Química, Física o Biología.
- Grupo 5: Matemáticas.
- Grupo 6: Artes

Por último, el quinto círculo representa el marco fundamental de la filosofía IB que es la mentalidad internacional, detallada en el apartado 1.2.



Figura 1-1: Representación del modelo del Programa del Diploma (Organización del Bachillerato Internacional, 2015a).

El Programa del Diploma, tal y como los demás programas del IB, está deliberadamente diseñado alrededor del enfoque de enseñanza centrada en la comprensión conceptual: no por casualidad entre sus componentes troncales está la Teoría del Conocimiento, que anima a los alumnos a pensar más allá de los hechos y analizar e indagar situaciones complejas e interdisciplinarias (Erickson, 2012).

En este Programa destaca también la importancia de la indagación, fomentada por el profesor animando a los alumnos a investigar las respuestas por sí mismos, y a través de la misma evaluación de las asignaturas en el Programa del Diploma, diseñada para premiar el pensamiento independiente de los alumnos (Organización del Bachillerato Internacional, 2015d). Además, uno de los componentes troncales del núcleo, la Monografía, es donde los alumnos ponen en práctica sus habilidades de pensamiento crítico para una indagación independiente sobre una de las áreas del programa.

## 2 Química del Nivel Medio

### 2.1 Naturaleza de la Ciencia

Limitarse a estudiar el contenido de las varias materias científicas no es suficiente para apreciar y beneficiar de los conocimientos científicos, o generar conocimientos nuevos. Para ello, es necesario conocer los métodos con que se generan estos conocimientos, y las características del propio conocimiento científico: en otras palabras, hay que aprender la naturaleza de la Ciencia. Conocer la naturaleza de la Ciencia conlleva un número de beneficios tanto a nivel individual como social, si todos los ciudadanos tienen un conocimiento adecuado. Así pues, una correcta alfabetización científica por parte de la sociedad es fundamental a la hora de, por ejemplo, entender y gestionar la tecnología, tomar decisiones informadas sobre cuestiones socio-científicas, y entender por completo la importancia de la ciencia en la cultura contemporánea (McCain, 2016). Además, conocer la naturaleza de la Ciencia puede ayudar en reconocer falacias de razonamiento subyacentes las pseudociencias (Organización del Bachillerato Internacional, 2014b).

Por eso es esencial que los educadores de Ciencias dominen la comprensión de la naturaleza de la Ciencia, para que a su vez puedan transmitirla al alumnado. De acuerdo con estos principios, el IB apuesta por la integración de la comprensión de la naturaleza de la Ciencia en las asignaturas del Grupo 4 del DP, y sugiere unos puntos clave para abordarla (Organización del Bachillerato Internacional, 2014b), brevemente resumidos a continuación.

En primer lugar, la Ciencia busca una comprensión más profunda de la realidad, basada en la racionalidad y a partir de pruebas. Para ello, los científicos hacen uso de muchos y distintos métodos (la concepción de un único “método científico” es errónea – cfr. Figura 2-1, p. 25), cuya validez científica es consensual, para construir conocimiento e ideas. En la base del descubrimiento científico están la curiosidad, la creatividad y la imaginación, así como el rigor en la forma de pensar y poner los conocimientos en práctica.

Como se ha dicho, la Ciencia se basa en pruebas, o sea comprobaciones mediante experimentos y observaciones del mundo natural. Las pruebas recogidas por los científicos sirven para desarrollar teorías, formular leyes y proponer hipótesis, que a su vez deben poder someterse a prueba como para poderlas apoyar o rechazar. Por eso, las teorías científicas son

intrínsecamente refutables, sustituibles y modificables. De ahí que el criterio de los científicos para juzgar sobre la veracidad o falsedad de una afirmación son los argumentos basados en pruebas.

En segundo lugar, la Ciencia es objetiva: se basa en datos obtenidos de observaciones o experimentos específicamente diseñados. A través del análisis de datos, especialmente los cuantitativos porque se prestan al análisis matemático, se intenta descubrir relaciones causales notando patrones, tendencias y discrepancias en los datos. Al respecto, cabe destacar que la correlación entre dos variables no necesariamente implica una relación causal entre dos factores: afirmar que A está relacionado con el incremento de B no es lo mismo que afirmar que A es la causa del incremento de B. Para averiguar la causalidad entre dos factores hace falta investigar la relación entre ellos controlando los factores restantes en un entorno experimental.

A pesar de la importancia de los datos en la Ciencia, ellos no corresponden a la verdad absoluta. La razón es que por un lado, todo dato conlleva errores, sean aleatorios o sistemáticos, con lo cual la interpretación estadística de los datos es esencial a la hora de tomar decisiones o sacar conclusiones acertadas. Por otro lado, existen los sesgos cognitivos de los investigadores, como el sesgo de confirmación, que pueden alterar la recogida de los datos, o la validez de la interpretación de los datos. Hay que minimizar los sesgos cognitivos diseñando los experimentos oportunamente.

Para garantizar la objetividad de la Ciencia, es preciso que los datos se presenten con integridad, sin arreglarlos, manipularlos o alterarlos, tanto maliciosamente como inconscientemente. Por eso, los trabajos de investigación reconocidos por la comunidad científica se someten a la revisión por pares, con el fin de asegurar su probidad.

Por último, cabe subrayar que todo proceso científico ocurre en un contexto humano: la Ciencia es el resultado de la actividad colaborativa de una gran comunidad internacional de personas que indagan, se relacionan y comunican bajo conceptos, metodologías, procesos y principios en común.

La diversidad y multidisciplinaridad de los equipos científicos implican el libre intercambio de ideas a nivel global. Por eso, dicho intercambio debe ocurrir con una mentalidad abierta e

independiente de religiones, culturas, políticas, nacionalidades, edades y sexos, pues el intercambio de información e ideas entre distintos países está a raíz del progreso científico.

Tal como el conocimiento científico puede contribuir al bien común y beneficiar a la humanidad, también puede usarse de manera moralmente cuestionable y producir daños a personas y al medio ambiente. La sociedad y la comunidad científica deben involucrarse en mantener discusiones sobre los aspectos éticos del uso de la Ciencia. Además, es responsabilidad moral de los científicos asegurar el acceso libre a los conocimientos y datos científicos para el desarrollo sostenible de la sociedad a nivel internacional.

## 2.2 Naturaleza de la Química

Como en el caso de la naturaleza de la Ciencia, en muchas ocasiones alumnos y profesores alcanzan un conocimiento parcial o incluso incorrecto de la naturaleza de la Química. Estudios apuntan a que si la enseñanza de la química no se centra en los aspectos prácticos de la química, en su utilidad en la vida diaria y para la sociedad, los alumnos pierden interés en la materia, y no logran captar una comprensión específica de lo que es la Química (Rusek et al., 2019).

Por otra parte, incluso los profesores pueden carecer de una comprensión profunda de la naturaleza de la Química. Hallazgos señalan que un desarrollo profesional docente basado en la interacción con científicos e investigadores puede mejorar el conocimiento pedagógico sobre la naturaleza de la Química y su transferencia en la práctica en el aula (Vesterinen & Aksela, 2009). En particular, el contacto con investigadores puede beneficiar a los profesores de química de cara a aspectos como los procesos de indagación, la visión de la química como un esfuerzo colaborativo, la diversidad e interdisciplinaridad en el pensamiento científico, el proceso de publicación científica, y la relación entre química y tecnología.

Este vínculo entre enseñanza de la Química y la investigación en Química subraya un elemento esencial de la disciplina, que es la observación: la forma natural de enseñar la materia es entonces a través de un método experimental (Organización del Bachillerato Internacional, 2014c). Por eso, los alumnos que cursen Química en el Programa del Diploma deben abordar tanto la teoría como los experimentos, mutuamente complementados, exactamente como ocurre en la comunidad científica y de investigación. Así, además, los alumnos se conciencian sobre la importancia del intercambio de ideas teóricas y resultados experimentales, a través de

la literatura científica, para incrementar el cuerpo de conocimientos de esta disciplina (Organización del Bachillerato Internacional, 2014c).

A través del aprendizaje experimental de la química, los alumnos adquieren habilidades y técnicas específicas de la disciplina, y desarrollan la competencia matemática, la competencia en el uso de tecnologías digitales, y habilidades interpersonales. Estos son todos componentes fundamentales para enfrentarse no solo a contextos científicos, sino también para mejorarse a sí mismos y a la sociedad. Además, se desarrolla la mentalidad internacional, haciendo hincapié en que la química es una actividad de cooperación internacional (Organización del Bachillerato Internacional, 2014c).

Una manera de desarrollar en los estudiantes de Química la comprensión y apreciación de la naturaleza de la Ciencia y de la Química es conectar intencionalmente los temas de la asignatura con la Teoría del Conocimiento (TOK). Las habilidades de pensamiento crítico desarrolladas en TOK pueden ayudar el estudio de la Química, ya que se les brinda a los alumno la oportunidad de reflexionar sobre las metodologías de las ciencias y contrastarlas con las de otras áreas de conocimiento. Preguntas relacionadas con TOK y que pueden ayudar a comprender la naturaleza de la Ciencia y de la Química son, por ejemplo: “¿Cómo se reconocen las pseudociencias?”; “¿En qué medida la imaginación influye en las ciencias?”; “¿Qué papel tienen las expectativas y percepciones de los científicos en la investigación?” (Organización del Bachillerato Internacional, 2014c).

El curso de Química del Programa del Diploma se ofrece en el Nivel Medio (NM) y en el Nivel Superior (NS). La diferencia entre los dos no consiste en el tipo de atributos, habilidades y actitudes desarrolladas, ya que prevén los mismos temas troncales comunes y los mismos objetivos generales y de evaluación, sino en la amplitud y profundidad del contenido tratado. El NM cuenta con 150 horas lectivas totales a lo largo de dos años, comparadas con las 240 del NS, lo que permite abordar el currículo en mayor profundidad. Eso se refleja también en la cantidad de horas dedicadas a los trabajos prácticos, siendo 40 para el NM y 60 para el NS.

Este TFM está centrado en el desarrollo de un plan de trabajos prácticos de la asignatura de Química del Nivel Medio, porque este nivel es el más común en los centros de enseñanza IB, y permite el acceso a su contenido incluso a aquellos alumnos que no tengan conocimientos previos en química (Organización del Bachillerato Internacional, 2014c). En el Capítulo 3:

“Plan de trabajos prácticos” se detallan detenidamente las propuestas de actividades prácticas, y su importancia en el aprendizaje de la química.

### 2.3 Objetivos generales de Ciencias

Tal y como apunta la guía de la asignatura de Química del Programa del Diploma de cara a las disciplinas del Grupo 4, *“Si bien el método científico puede adoptar muy diversas formas, es el enfoque práctico, mediante trabajos experimentales, lo que caracteriza a estas asignaturas”* (Organización del Bachillerato Internacional, 2014d). Procede destacar que, a pesar de usar la expresión “método científico”, el IB se refiere aquí a la multiplicidad de métodos y relaciones usados en los procesos de investigación científica, resumidos en el esquema de la Figura 2-1.

Basados en la naturaleza de la Ciencia y de la Química, los diez objetivos generales de los alumnos de Ciencias del Programa del Diploma del IB son (Organización del Bachillerato Internacional, 2014d):

- G1 Apreciar el estudio científico y la creatividad dentro de un contexto global mediante oportunidades que los estimulen y los desafíen intelectualmente.
- G2 Adquirir un cuerpo de conocimientos, métodos y técnicas propios de la ciencia y la tecnología.
- G3 Aplicar y utilizar un cuerpo de conocimientos, métodos y técnicas propios de la ciencia y la tecnología.
- G4 Desarrollar la capacidad de analizar, evaluar y sintetizar la información científica.
- G5 Desarrollar una toma de conciencia crítica sobre el valor y la necesidad de colaborar y comunicarse de manera eficaz en las actividades científicas.
- G6 Desarrollar habilidades de experimentación y de investigación científicas, incluido el uso de tecnologías actuales.
- G7 Desarrollar las habilidades de comunicación del siglo XXI para aplicarlas al estudio de la ciencia.
- G8 Tomar conciencia crítica, como ciudadanos del mundo, de las implicaciones éticas del uso de la ciencia y la tecnología.
- G9 Desarrollar la apreciación de las posibilidades y limitaciones de la ciencia y la tecnología.
- G10 Desarrollar la comprensión de las relaciones entre las distintas disciplinas científicas y su influencia sobre otras áreas de conocimiento.

## 2.4 Objetivos de evaluación de Ciencias

De acuerdo con el enfoque de enseñanza guiada por la evaluación, los objetivos generales de Ciencias vistos anteriormente se concretan en una serie de objetivos de evaluación, también centrados en la naturaleza de la Ciencia. Los objetivos de evaluación de Ciencias del Programa del Diploma del IB son (Organización del Bachillerato Internacional, 2014d):

E1. Demostrar conocimiento y comprensión de:

- E1.1. Hechos, conceptos y terminología
- E1.2. Metodologías y técnicas
- E1.3. Cómo comunicar la información científica

E2. Aplicar:

- E2.1. Hechos, conceptos y terminología
- E2.2. Metodologías y técnicas
- E2.3. Métodos de comunicar la información científica

E3. Formular, analizar y evaluar:

- E3.1. Hipótesis, problemas de investigación y predicciones
- E3.2. Metodologías y técnicas
- E3.3. Datos primarios y secundarios
- E3.4. Explicaciones científicas

E4. Demostrar las aptitudes de investigación, experimentación y personales necesarias para llevar a cabo investigaciones perspicaces y éticas.

En el capítulo 3 se detalla en cuáles objetivos de evaluación se centra esta propuesta de trabajos prácticos (cfr. también la Tabla 7-4 en Anexos).

## 2.5 La evaluación interna

La evaluación interna de Química del Programa del Diploma es una parte esencial de la asignatura. Corresponde a una investigación individual, independiente y original que los alumnos han de realizar al final de los dos años del programa, bajo la orientación y supervisión del profesor del curso. Este trabajo de investigación consiste en una indagación abierta sobre

algún tema de interés de la asignatura de Química, y conlleva una carga de 10 horas lectivas de las 150 totales del Nivel Medio (o 240 del Nivel Superior) a lo largo de los dos años del DP.

El trabajo presentado como evaluación interna tiene naturaleza formativa, representa el 20% de la nota final de la asignatura, es corregido por el profesor del curso, y es moderado externamente por el IB. La moderación externa de las calificaciones en el IB es un “*instrumento para garantizar la fiabilidad de la corrección*” del profesor del curso, y tiene el objetivo de “*garantizar que, en su conjunto, las puntuaciones de los alumnos se ajusten a niveles más apropiados*” (Organización del Bachillerato Internacional, 2005). Se basa en un mecanismo jerárquico de revisión de calificaciones según el cual el profesor del curso envía a los “moderadores” IB una muestra de sus trabajos corregidos de evaluación interna. Los moderadores, que son examinadores con mucha experiencia, vuelven a corregir la muestra y comparan estadísticamente sus puntuaciones con las del profesor del curso. Así se determina si la evaluación del profesor del curso está o no en discordancia con los criterios y estándares previstos por el IB y, en definitiva, si su puntuación es aceptable o no. Al no ser la puntuación del profesor del curso aceptable (se habla de “moderación fallida”), los moderadores externos pueden tomar varias medidas, como aplicar ajustes de moderación o pedir al profesor que vuelva a corregir los trabajos.

El IB ha establecido una serie de cinco criterios para evaluar el informe final de la investigación individual de Química del DP (Organización del Bachillerato Internacional, 2014a). Cada criterio contiene varios descriptores, descritos en detalle en el apartado 3.5, “Criterios de evaluación interna”. A continuación, se describen brevemente los criterios de la evaluación interna:

1. **Compromiso personal:** este criterio mide el nivel del compromiso personal del alumno en la actividad de investigación, mostrando habilidades como, entre otras, el pensamiento independiente, la iniciativa, y la creatividad.
2. **Exploración:** este criterio mide la capacidad de definición del problema de investigación por parte del alumno, así como la formulación de una pregunta de investigación clara y definida, la definición de una metodología y de las variables a medir, además de consideraciones de seguridad y éticas donde proceda.

3. **Análisis:** este criterio mide la pertinencia de los datos generados a partir de pruebas, y cómo el alumno los ha registrado, procesado e interpretado de manera relevante para responder a la pregunta de investigación y poder sostener sus conclusiones.
4. **Evaluación:** este criterio mide la discusión de la investigación por parte del alumno (metodología, datos, resultados), además de las conclusiones sacadas por el alumno, basadas en los datos presentados y por comparación con el marco científico de referencia.
5. **Comunicación:** este criterio mide la presentación de la investigación: la estructura del informe, su pertinencia y claridad, y el uso de léxico y terminología adecuados.

Llama la atención que estos criterios reflejan el funcionamiento del método científico y la estructura de la Ciencia – cfr. por ejemplo el diagrama del proyecto “*Understanding Science: how science really works*” del Museo de Paleontología de la Universidad de California<sup>1</sup>. Este marco, como se muestra en el esquema de la Figura 2-1, se aleja de una visión lineal y por “pasos” del método científico, y más bien distingue cuatro fases o “áreas” fundamentales del proceso de investigación científica, interconectadas entre ellas:

- Probar ideas: es el núcleo de la investigación científica, y tiene que ver con la recopilación y la interpretación de datos, que a su vez influyen en la (re)formulación y mejora de hipótesis. Esta fase recibe retroalimentación de las otras tres, y a su vez las retroalimenta. Se relaciona con el criterio de evaluación interna n. 3, “Análisis”, y el n. 4, “Evaluación”.
- Exploración y descubrimiento: tiene que ver con la observación, la formulación de preguntas, la creatividad e inspiración, el análisis de la literatura, y el compartir ideas y resultados. Esta fase se retroalimenta principalmente de la fase de “Beneficios y resultados”, y la de “Análisis y respuesta comunitaria”. Está impulsada, además, por factores externos como la disponibilidad de tecnología nueva, la necesidad de responder a un problema práctico, o descubrimientos y observaciones casuales. Se relaciona sobre todo con el criterio de evaluación interna n. 1, “Compromiso personal”, y el n. 2, “Exploración”.
- Análisis y respuesta comunitaria: conlleva los aspectos de discusión, reacción y revisión por parte de colegas científicos, y replicación y publicación de los resultados.

---

<sup>1</sup> <https://undsci.berkeley.edu/index.php>

Eso permite identificar nuevas ideas y/o pregunta, y desarrollar nuevas teorías, así que esta fase retroalimenta la “Exploración y descubrimiento” y los “Beneficios y resultados”. Se relaciona con el criterio de evaluación interna n. 5, “Comunicación”.

- Beneficios y resultados: es el aspecto más aplicativo de la ciencia, y tiene que ver con el desarrollo de tecnología, la resolución de problemas diarios y sociales, y la construcción de conocimiento. Retroalimenta la fase de “Exploración y descubrimiento”, y se nutre del Análisis y respuesta comunitaria”.

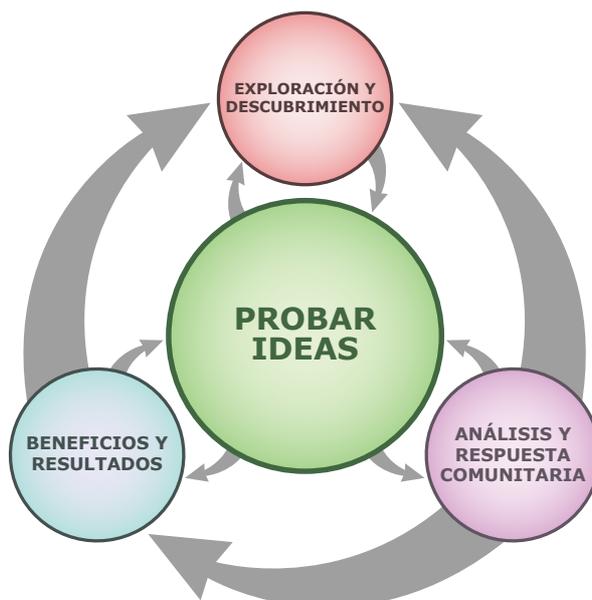


Figura 2-1: Diagrama de flujo que representa el funcionamiento de la ciencia según el modelo del Museo de Paleontología de la Universidad de California. Fuente: [https://undsci.berkeley.edu/lessons/pdfs/simple\\_flow\\_handout\\_sp.pdf](https://undsci.berkeley.edu/lessons/pdfs/simple_flow_handout_sp.pdf).

Como apunta la Guía de Química del IB, “La evaluación interna debe [...] integrarse en la enseñanza normal de clase, y no ser una actividad aparte que tiene lugar una vez que se han impartido todos los contenidos del curso” (Organización del Bachillerato Internacional, 2014a). Se desprende, pues, que es esencial preparar a los alumnos a su trabajo de investigación individual ya a partir de los trabajos prácticos que se desarrollan en la didáctica a lo largo de los años del DP. Por eso, como se describe en el capítulo 3: “Plan de trabajos prácticos”, en el presente TFM se pretende estructurar los trabajos prácticos de modo que sigan una intensidad cognitiva y conceptual creciente, a partir de una indagación cerrada hasta la abierta, a través de niveles “estructurados” de indagación. Eso permite a los alumnos asomarse a la actividad de investigación científica de manera gradual, y así adquirir las habilidades y los hábitos de pensamiento necesarios para llevar a cabo una indagación independiente.

Por eso, es preciso que la evaluación de los trabajos prácticos a lo largo del curso sea conforme a los criterios de la evaluación interna, para que los alumnos se acostumbren a los requisitos de la evaluación final de la asignatura y los dominen con seguridad. En el apartado 3.5 se detalla la rúbrica de evaluación propuesta para la evaluación de los trabajos prácticos en este TFM, basada en los criterios de la evaluación interna y los indicadores sugeridos por la guía de Química del DP.

Para terminar, procede mencionar la importancia de las preguntas de investigación en las actividades prácticas, tanto en química como en cualquier otra ciencia. Con el fin de desarrollar habilidades de investigación y preparar a los alumnos a trabajos de investigación más amplios y profundos como la evaluación interna y la monografía, es imprescindible hacer hincapié en cómo se formulan preguntas de investigación adecuadas. Los alumnos (y a veces incluso los profesores) suelen confundir el concepto de *pregunta de indagación* con el de *pregunta de investigación*, o pregunta investigable (Ferrés-Gurt, 2017). Las preguntas de indagación están caracterizadas por abordar temas muy amplios, suponer resultados obvios desde el principio (son intrínsecamente triviales), y/o centrarse en aspectos no científicos (p. ej. éticos, religiosos, políticos o económicos): un ejemplo sería: “¿Cómo afecta la luz al crecimiento de las plantas?”. Esta pregunta no especifica las variables a medir, trata un tema demasiado general, y los resultados son evidentes. Distintas son las preguntas de investigación, cuyo enunciado encierra y relaciona una serie de variables cuantitativas (dependientes, independientes, controladas), y que por lo tanto pueden responderse a partir de los datos recogidos y de su análisis. Estas preguntas, además, identifican los factores limitantes de la investigación, y hacen referencia a conceptos estrictamente científicos y cuantitativos. Ejemplos de preguntas de investigación se dan en el apartado 3.7 del capítulo “Plan de trabajos prácticos”.

## 2.6 Seguridad en el laboratorio

Además de conformarse a las directrices nacionales o locales en tema de seguridad en el laboratorio, el IB recomienda que los profesores y estudiantes de química sigan las pautas y normas de seguridad en el laboratorio del Laboratory Safety Institute (Organización del Bachillerato Internacional, 2014f), redactadas en el documento “*Guía de seguridad para laboratorios: 40 sugerencias para un laboratorio más seguro*”<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> <https://www.labsafety.org/>

### 3 Plan de trabajos prácticos

Como se ha explicado anteriormente, las actividades prácticas constituyen un aspecto esencial para el aprendizaje significativo de las Ciencias (Clough, 2002), ya que adhieren a la enseñanza basada en la indagación y en la comprensión conceptual, ambas a raíz de la filosofía educativa del IB (ulteriores detalles de dan en el apartado 3.1). Dada su importancia, le corresponde una parte significativa de la carga temporal de las asignaturas del Grupo 4, correspondiendo al 25% de las horas lectivas tanto en el Nivel Medio (40 h) como en el Nivel Superior (60 h). A la hora de planificar las actividades prácticas, es oportuno tener en cuenta que de las horas totales permitidas para las actividades prácticas, 10 deben ser dedicadas a la evaluación interna, y otras 10 al proyecto del Grupo 4 (Organización del Bachillerato Internacional, 2014a). Por consiguiente, en este TFM se intenta ajustarse a un total de 20 horas de actividades prácticas.

Dentro de la programación didáctica de la asignatura de Química, el plan de trabajos prácticos es la programación de las actividades prácticas, planificado por el profesor con el propósito de resumir todas las actividades de investigación que van a llevar a cabo los alumnos a lo largo de los dos años del DP (Organización del Bachillerato Internacional, 2014a). Aun dentro de un marco de flexibilidad en dicha programación respecto por ejemplo a las necesidades específicas del alumnado y a los recursos disponibles, es imprescindible que el plan de trabajos prácticos incluya, además de experimentos sencillos, también al menos un experimento complejo que requiera un mayor esfuerzo conceptual por parte de los alumnos (Organización del Bachillerato Internacional, 2014a).

En este TFM, se proponen varios tipos de actividades prácticas, como prácticas breves de laboratorio, uso de bases de datos, ejercicios de análisis de datos, y trabajo de campo, dispuestos en orden de complejidad experimental y conceptual creciente, como se detalla en el apartado 3.7. Cabe destacar, además, que estas actividades prácticas, sirviendo como andamio para el desarrollo de la investigación de la evaluación interna, cumplen también con los siguientes propósitos indicados por la guía de la asignatura de Química del DP (Organización del Bachillerato Internacional, 2014a):

1. Ejemplificar, enseñar y reforzar los conceptos teóricos;
2. Apreciar el carácter esencialmente práctico del trabajo científico;
3. Apreciar el uso que los científicos hacen de datos secundarios obtenidos de bases de datos;

4. Apreciar el uso que los científicos hacen de la creación de modelos;
5. Apreciar las ventajas y limitaciones de la metodología científica.

Estos propósitos subrayan la importancia de que los alumnos aprendan la asignatura a través de la aplicación de los conocimientos en un contexto de experimentación e investigación científica, mediante el uso de metodologías, tecnologías y técnicas adecuadas, además de la capacidad de manejar y analizar datos e información científica. Por eso, de acuerdo con estos propósitos, las actividades prácticas propuestas en este TFM responden a los objetivos generales G3, G4, y G6 (ver apartado 2.3), y a los objetivos de evaluación E2.2, E2.3, E3.2, E3.3, E3.4, y E4 (ver apartado 2.4). Estos últimos están relacionados con los atributos del perfil de aprendizaje mencionados a continuación (ver apartado 3.4), dando voz a las aptitudes de investigación, experimentación y personales necesarias para llevar a cabo investigaciones perspicaces y éticas.

### 3.1 La enseñanza basada en la indagación y la comprensión conceptual

Todos los alumnos, independientemente de su entorno, son capaces de comprender los fenómenos científicos si se les ofrece oportunidades equitativas para participar activamente en las clases de Ciencias y en las prácticas científicas (Lee et al., 2014). Este último aspecto, en particular, les otorga a los alumnos una comprensión del descubrimiento científico que los aleja de una visión abstracta de la Ciencia (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016).

Dadas estas premisas, a partir del Marco para la Enseñanza de las Ciencias formulado por la Academia Nacional de Ciencias de EE.UU. (National Research Council, 2012), en 2012 se inició un movimiento al que suele referirse como “Ciencia basada en la práctica” (en inglés, *science as practice*), el cual pretende promover las actividades de enseñanza y aprendizaje de las Ciencias a través de la propia práctica de la Ciencia. En lo específico, la visión de la Academia Nacional de Ciencias, apoyada por un número de instituciones como la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias de EE.UU. (National Science Teachers Association, 2018), pretende la incorporación de la *indagación e investigación* en la enseñanza y aprendizaje de la Ciencia: es decir, un sistema integrado de objetivos y actividades que integren la indagación.

Así pues, tal como trabajan los científicos, las actividades prácticas basadas en la indagación deben diseñarse para integrar explicaciones y modelos basados en evidencias. En este sentido,

es importante subrayar que las prácticas basadas en la indagación no se limitan a ser un simple ejercicio descontextualizado para que los alumnos aprendan una serie de métodos que encajen con el contenido curricular. Por lo contrario, con las prácticas basadas en la indagación se fomenta la comprensión conceptual de la Ciencia a través de la propia práctica, paralelamente a lo que ocurre con los investigadores en la realidad: la labor de los científicos está íntimamente relacionada con su comprensión conceptual. De la misma manera, los alumnos deben adquirir habilidades de razonamiento científico epistemológicamente auténticas, ya que la sociedad moderna requiere que todos los ciudadanos (sean científicos o no) razonen en términos de modelos complejos, datos, y evidencias (Chinn & Malhotra, 2002).

Otro aspecto clave de la pedagogía de la Ciencia basada en la práctica es la importancia de diseñar las actividades prácticas con el objetivos de fomentar un aprendizaje significativo en los alumnos. La construcción de significado y conocimientos en este contexto ocurre gracias a la representación de la incertidumbre que conlleva cualquier práctica científica: las desviaciones experimentales de las expectativas (tanto del alumnado como del profesor), por ejemplo, fomentan la discusión sobre posibles causas y alternativas. La posibilidad de argumentación y modelización científicas que brindan las actividades prácticas basadas en la indagación son ocasiones para transmitir a los alumnos la sensación de que estén comprometidos en algo que tiene sentido, que estén trabajando para resolver un problema real, y no para ejecutar una serie de ejercicios cuyo sentido no se aprecia. Con respecto a eso, cabe destacar que la realización de trabajos prácticos con el único objetivo de verificar una teoría científica no encaja con la naturaleza de la ciencia ni con los criterios epistemológicos perseguidos por el IB, que apoya la visión de “métodos científicos múltiples”, y de interrelación activa y dinámica entre los modelos conceptuales y los experimentos (cfr. Figura 1-1). En otras palabras, los experimentos no deben considerarse como una forma de confirmación independiente de principios teóricos (Yeşiloğlu & Köseoğlu, 2020).

El Marco para la Enseñanza de las Ciencias citado antes permitió, en el contexto estadounidense, que se definieran los “estándares científicos de la próxima generación” (*Next Generation Science Standards*, NGSS) (National Research Council, 2013). Los NGSS<sup>3</sup> son una serie de estándares rigurosos de enseñanza y aprendizaje de las Ciencias que suponen desafíos a la vez que oportunidades de aprendizaje para todos los alumnos, especialmente los

---

<sup>3</sup> <https://www.nextgenscience.org/>

que suelen necesitar más atención por parte del profesor (como alumnos de contextos vulnerables y de pobreza, alumnos de minorías étnicas, alumnos con necesidades educativas específicas y especiales, alumnos con altas capacidades, etc.). Por eso, aspectos como la diversidad del alumnado y la equidad de acceso a estos estándares son fundamentales en este marco. En particular, se requiere a los profesores de Ciencias que intenten poner en práctica la equidad en sus aulas, haciendo sus clases inclusivas hacia todo tipo de diversidad para aumentar el acceso al contenido para todo el alumnado. Eso se realiza, por ejemplo, a través del uso inclusivo del lenguaje, y a través de conexiones relevantes con el contexto del alumnado (Lee et al., 2014).

A pesar las declaraciones de intenciones provistas por la Academia Nacional de Ciencias y los NGSS, al día de hoy la literatura aún carece de modelos y propuestas para la incorporación de la investigación en las prácticas de laboratorio que encajen en la visión de la Ciencia basada en la práctica. Un reciente estudio de Manz y colaboradores (Manz et al., 2020) sugiere, a partir del concepto de “modelos empíricos” (o sea los conjuntos de actividades experimentales realizadas para ejemplificar los modelos conceptuales que a su vez dan una explicación de los fenómenos naturales), una serie de pautas para diseñar las actividades prácticas en la enseñanza de las Ciencias, para que los alumnos construyan su conocimiento, desarrollen el pensamiento crítico, y elaboren la idea que la Ciencia no es un método para obtener la explicación correcta, sino un sistema cíclico de ensayo y error de mejora de las explicaciones. Estas pautas son:

1. Desarrollo de modelos empíricos: entender que las actividades prácticas relacionan los fenómenos naturales, los modelos conceptuales, y los datos, y que estas relaciones muchas veces no se encuentran de manera directa e inmediata, sino por ciclos de ensayo y error.
2. Comprensión de modelos empíricos: entender la naturaleza de los modelos empíricos utilizados para crear oportunidades de innovación conceptual cuando los modelos no funcionan, a través de preguntas, argumentaciones positivas, y más ciclos de modelización.
3. Desarrollo de modelos de datos: decidir qué datos generar, cómo estructurarlos, y utilizarlos como evidencias para el desarrollo conceptual y la mejora de los conocimientos.
4. Límites de la capacidad de explicación de los modelos empíricos: animar a los alumnos a pensar en cuáles son las simplificaciones realizadas en los modelos, y de ahí en el alcance de qué pueden o no pueden explicar.

Por último, los autores hacen hincapié en que los profesores de Ciencias deben involucrar a los alumnos en la construcción de los modelos empíricos a raíz de las actividades prácticas. Así se evita que los alumnos se centren demasiado en la “estructura” de las actividades (como ejercicios de control de variables, uso de instrumentos de medición, etc.) y se les facilita su propia comprensión conceptual de la Ciencia. Para usar las palabras de Stroupe (Stroupe, 2014) los alumnos han de convertirse en “agentes epistémicos”, es decir, en los protagonistas de su propia construcción de las Ciencias, contando con el andamiaje provisto por el profesor. Eso implica, por ejemplo, decir honestamente a los alumnos cuando un experimento no funciona como se había planeado, o proponer explicaciones alternativas pese al sesgo de interpretación. Este cambio metodológico en la enseñanza de las Ciencias no es sencillo, como ya apuntaban Windschitl y colaboradores (Windschitl et al., 2008) en su marco de la “investigación basada en modelos”, en parte incluso porque entre los educadores de Ciencias hay confusión respecto a los significados, en el contexto científico, de términos como “explicación”, “hipótesis”, “evidencia”, “conclusiones”, “indagación” e “investigación”. Hay, pues, dos modalidades de enseñanza de las Ciencias: enseñanza *en cuanto* indagación (donde las actividades de enseñanza y aprendizaje se estructuran y realizan como procesos científicos), y enseñanza *a través de* la indagación (donde las actividades de enseñanza se limitan a usar los procesos científicos). Sin embargo, ya Kirschner (Kirschner, 1992) señalaba que muchos educadores no distinguen estos dos tipos de enseñanza de las Ciencias, lo que añade un nivel de dificultad adicional a la hora de diseñar actividades prácticas orientadas a la visión de la Ciencia basada en la práctica.

Aunque puedan ser una oportunidad preciosa de crecimiento intelectual del alumnado y de comprensión conceptual profunda de los contenidos curriculares, los trabajos prácticos en educación secundaria conllevan una carga cognitiva elevada en los estudiantes (Johnstone, 1997), especialmente si se usa un enfoque de enseñanza por indagación (según las pautas del movimiento de la Ciencia basada en la práctica), y si las instrucciones proporcionadas a los alumnos no son adecuadas a considerar esta carga cognitiva (Kirschner et al., 2006). En los laboratorios de química, esta sobrecarga se concreta en el hecho de que los alumnos deban concentrarse en leer y entender las instrucciones de las prácticas, y al mismo tiempo pensar en sus observaciones y relacionarlas con los conceptos químicos, todo ello inmerso en un contexto – el del laboratorio químico de secundaria – de distracciones provocadas por el ruido y las interacciones sociales con la clase (Paterson, 2019). Por eso, con el fin de lograr el máximo beneficio de la enseñanza y aprendizaje como actividades de investigación, los profesores

deben manejar la carga cognitiva del alumnado, moderando la complejidad de las experiencias prácticas donde proceda (Criswell, 2012). Tal y como recomienda el IB, la inclusión de técnicas de andamiaje oportunas es una herramienta valiosa a la hora de manejar la carga cognitiva de los alumnos que se enfrentan a las actividades prácticas. Sin una gestión apropiada de esta carga, el enfoque de la Ciencia basada en la práctica y en la investigación puede incluso llegar a ser perjudicial para la comprensión de los alumnos (Mayer, 2004). A continuación se dan dos ejemplos de andamiajes que pueden ser útiles en las prácticas de laboratorio de Química planeadas en este trabajo.

Un ejemplo de técnica de andamiaje en Química son las “instrucciones integradas” propuestas por Paterson (Paterson, 2019) (basadas a su vez en el trabajo de otros investigadores): es decir, instrucciones en forma de diagrama, donde la información se presenta mediante un uso reducido de texto y en combinación con pictogramas. El uso de instrucciones integradas puede reducir el llamado “efecto de atención dividida”, que se genera por ejemplo cuando los alumnos deben dividir su atención entre las instrucciones prácticas escritas en formato de “receta”, y los diagramas de los aparatos que usen. El efecto de atención dividida supone una carga cognitiva adicional, con lo cual las instrucciones integradas pueden disminuir esta carga porque focalizan la atención de los alumnos en un solo documento, que de forma gráfica e intuitiva se relaciona con la actividad experimental. Además de resultar provechoso para los alumnos y alumnas en general, esta técnica beneficia especialmente a aquellos estudiantes que tengan dificultades de comprensión lectora o cuyo idioma materno no sea el idioma vehicular del colegio, dos aspectos que pueden constituir una barrera para el aprendizaje y la construcción de significado a partir de las experiencias de laboratorio. Además, puede adaptarse fácilmente para la inclusión de estudiantes con trastornos del espectro del autismo (Organización del Bachillerato Internacional, 2013a), dado que suelen tener un pensamiento visual más desarrollado que los demás (Dettmer et al., 2000), y por ello varios programas de enseñanza y aprendizaje ya se han diseñado teniendo en cuenta el uso de pictogramas (Herrera et al., 2012). Un ejemplo de instrucción integrada usada en este TFM se da en la Figura 7-2 en Anexos.

Otro ejemplo de andamio útil para reducir la sobrecarga cognitiva característica de las actividades prácticas es la “técnica del enmarque” concebida por B. Criswell (Criswell, 2012). El investigador sostiene que a menudo los profesores no tenemos en cuenta la necesidad de “enmarcar” las experiencias de aprendizaje de los alumnos en problemas de complejidad limitada, encauzando su atención y exploración en los recursos y habilidades necesarias para

llevar a cabo una determinada actividad práctica. En concreto, el autor propone enmarcar los siguientes componentes con el fin de manejar la complejidad cognitiva de las actividades prácticas en Química:

- Contexto: enmarcar el contexto significa crear conexiones con los conocimientos previos del alumnado, incluso a nivel interdisciplinar, y encontrar un atractivo que estimule su atención y les haga entender el significado de lo que estén haciendo.
- Objetivos: enmarcar los objetivos significa presentarlos en forma de reto, de desafío a resolver, y no como una de las muchas tareas que los alumnos deben cumplir.
- Acciones: enmarcar las acciones significa delimitar la complejidad del problema de investigación al que se enfrenta el alumnado, evitando darles a los alumnos “recetas” con pasos a seguir (a excepción, obviamente, de las normas de seguridad en el laboratorio), con el fin de que puedan explorar e indagar poniendo en marcha actividades cognitivas como comprobar hipótesis y modelos, alinear las evidencias con las teorías, e interpretar datos.
- Instrumentos: enmarcar los instrumentos significa ayudar a los alumnos a relacionar, por un lado, las acciones requeridas para lograr los objetivos de una actividad práctica, con los instrumentos que puedan ser útiles para realizar estas acciones. Por otro lado, a relacionar el diseño y funcionamiento de un determinado instrumento con su uso y alcance, así como a lograr una panorámica de los instrumentos disponibles para resolver un determinado problema.
- Interacciones: las interacciones alumnos-alumnos y alumnos-profesor son una forma muy enriquecedora de intercambio de informaciones, ya que favorecen la cooperación y de ahí la construcción de conocimientos. Sin embargo, en el contexto de un laboratorio las interacciones pueden resultar complejas e incluso desviar la atención del alumnado. Enmarcar las interacciones significa pues estructurar los trabajos por ejemplo con técnicas de aprendizaje cooperativo.

### 3.2 La Química y la diversidad en las actividades prácticas

“*Toda persona tiene derecho a la educación*”: de acuerdo con la Declaración Universal de Derechos Humanos (Declaración Universal de Derechos Humanos, 1948), el IB apuesta por una educación inclusiva para todos y todas, integradora de la diversidad y de las diferencias (Organización del Bachillerato Internacional, 2016). Su visión de la diversidad (mejor definida como *variabilidad*) radica en una concepción de los alumnos como *personas*, con estilos de

aprendizaje propios, puntos fuertes y desafíos: individuos únicos que enriquecen a la comunidad de aprendizaje, aportando valores, conocimientos y experiencias.

Por eso, debe haber una voluntad compartida por los equipos directivos de colegios, por los coordinadores de los programas, por los educadores del IB, por el personal de apoyo, y en definitiva por los padres y los propios alumnos, para garantizar la inclusión de la diversidad, cuya responsabilidad es compartida entre toda la comunidad de aprendizaje. Con inclusión, el IB se refiere a un proceso continuo de identificación y eliminación de barreras para alcanzar el acceso y la participación de todos los alumnos al aprendizaje (Organización del Bachillerato Internacional, 2016). Obviamente, tal proceso implica cambios organizativos, ya que las barreras que impiden el aprendizaje se encuentran en muchos niveles, como la organización del colegio y sus recursos, los enfoques de enseñanza y aprendizaje utilizados, o las relaciones entre los miembros de la comunidad de aprendizaje. Específicamente estos últimos dos ámbitos son los que se sitúan en la esfera de actuación directa de los profesores para consentir el acceso de todos los alumnos y alumnas al aprendizaje. Los profesores somos *educadores de todos* los alumnos, y tenemos la responsabilidad de asegurarnos de que todos y todas tengan acceso a experiencias de aprendizajes plenas y significativas, de acuerdo con sus fortalezas individuales. Podemos pues eliminar las barreras de aprendizaje por ejemplo i) empleando activamente estrategias de diferenciación y prácticas inclusivas (como adecuaciones y ajustes del aprendizaje y de la evaluación) para aumentar el acceso y la participación; ii) creando entornos que fomenten un sentido de pertenencia, seguridad y autoestima en el alumnado; iii) promoviendo prácticas colaborativas en el aula; iv) estimulando la reflexión en clase sobre la diversidad y múltiples perspectivas; y v) permitiendo a los alumnos demostrar su aprendizaje de formas diferentes. Para guiar a los profesores en realizar estas actuaciones, el IB nos ofrece cuatro principios de buenas prácticas, interrelacionados entre sí, a tener en cuenta como profesores en el diseño de nuestras clases (Organización del Bachillerato Internacional, 2016):

- **Afirmación de la identidad y desarrollo de la autoestima:** el IB sostiene un modelo afirmativo de la identidad para que todo alumno se sienta valorado, pueda afirmar su identidad y desarrollar su autoestima. Eso favorece el aprendizaje eficaz de todas y todos.
- **Valoración de los conocimientos previos:** todo aprendizaje nuevo se basa en los conocimientos previos del alumnado. Los conocimientos previos difieren en cada alumno, y cada alumno los expresa de forma diferente. Por eso, en la medida de lo posible hay que crear perfiles de aprendizaje individuales en el aula.

- **Andamiaje:** con el propósito de desarrollar la independencia de todo el alumnado, hay que crear andamiajes personalizados e implementar técnicas de andamiaje adecuadas para consentir el acceso de todas y todos al currículo.
- **Ampliación del aprendizaje:** tiene que ver con la creación de entornos de aprendizaje inclusivos, la incorporación de tecnologías múltiples y diferenciadas para asistir la enseñanza y facilitar el aprendizaje, el fomento de actividades colaborativas, el desarrollo de las habilidades cognitivas y metacognitivas del alumnado, y la diferenciación de la evaluación, la enseñanza y el aprendizaje.

De cara a la diferenciación de las actividades de enseñanza y aprendizaje, el IB incentiva el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA), un marco que aborda la variabilidad de los estudiantes para crear el acceso universal a los currículos para todos los alumnos, incluso los con discapacidad (Rose & Meyer, 2006) (Hall et al., 2012)<sup>4</sup>. A raíz de este marco está el reconocimiento de que cada alumno tiene un conjunto de redes neuronales únicas que producen respuestas estratégicas, afectivas y de reconocimiento distintas en cada alumno. Por consiguiente, a la hora de planificar actividades de enseñanza y aprendizaje, al profesor se le requiere que proporcione a los alumnos formas *múltiples* y *flexibles* de representación del contenido (p. ej. alternativas a las representaciones visuales), de implicación en el aprendizaje (p. ej. varios niveles de esfuerzo y recursos diferentes), y de acción y expresión de lo que los alumnos han aprendido. Se hace hincapié no en las carencias de los alumnos, sino en sus áreas de desafío.

En Ciencias, y específicamente en Química (una asignatura con una carga elevada de contenido complejo), la literatura coincide en que las instrucciones para las actividades prácticas diseñadas según los criterios del DUA favorecen la comprensión y el rendimiento en la asignatura de los alumnos *con y sin dificultades de aprendizaje*, incluso discapacidades (King-Sears & Johnson, 2020), brindándoles un andamiaje para apoyar la carga cognitiva elevada (Mastropieri et al., 2005).

---

<sup>4</sup> Véase también: Organización educativa CAST para el Diseño Universal para el Aprendizaje: <http://www.cast.org/>

Es fundamental planificar la enseñanza teniendo en cuenta la diversidad a través del DUA: al día de hoy, por ejemplo, las personas con discapacidad en general y con baja visión en particular siguen siendo infrarrepresentadas en química y las demás carreras *STEM* (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) (Wells & Kommers, 2020). En los colegios, estudiantes con discapacidad suelen ser infrarrepresentados en las prácticas de laboratorio (Jeannis et al., 2020) por barreras de varia naturaleza, como la falta de instrumentos tecnológicos que permitan la recogida de datos, o barreras arquitectónica o de diseño del laboratorio que constituyan riesgos para la incolumidad física de los estudiantes. En el caso específico de los alumnos y alumnas con baja visión, una posible razón propuesta por Supalo y colaboradores (Supalo et al., 2014) es la falta de experiencias de laboratorio adecuadas y accesibles, lo que además puede cohibir el desarrollo de creencias positivas de autoconcepto y autoeficacia hacia la realización de tareas de laboratorio en estos estudiantes. Por consiguiente, muchos de ellos acaban por no elegir carreras universitarias en campos *STEM*.

Los profesores que quieran incluir a las personas con discapacidad en las prácticas de laboratorio tienen que formarse en cómo afrontar cada específica discapacidad, y posiblemente tener un profesor de apoyo que presencie las actividades prácticas. La idea es permitir que los estudiantes con discapacidad puedan alcanzar un nivel de implicación activa (Supalo et al., 2014) en las prácticas de laboratorio y en los equipos de trabajo (lo que no se logra con el simple aparejamiento de estudiantes con discapacidad a los sin). Eso permite a los estudiantes con discapacidad desarrollar sentimientos tanto de independencia como de pertenencia activa a su equipo – un sentimiento ese último que resulta ser clave en carreras *STEM*, ya que la Ciencia es compuesta de contribuciones de equipos y comunidades de científicos. Un ejemplo de ayuda tecnológica propuesta por Supalo (Supalo et al., 2014) (Supalo, 2011) para realizar la implicación activa de estudiantes con baja visión es el programa *Sci-Voice Talking LabQuest*, un instrumento diseñado para el proceso de recogida de datos por personas con baja visión.

Los profesores debemos hacer el currículo accesible a personas con discapacidad. Como se ha mencionado antes, los profesores han de formarse en cómo entender y enfrentarse a las discapacidades, y contar con el apoyo de los centros (profesores de apoyo y/o departamento de orientación) para lograr la participación completa de los estudiantes con discapacidad en las prácticas de laboratorio. Para ello, también es fundamental que las *instrucciones* de las prácticas de laboratorio sean accesibles: por ejemplo, en el caso de la baja visión, el material proporcionado a los alumnos debería incluir textos en Braille o impresos con buen contraste y

un tamaño de letra óptimo (Organización del Bachillerato Internacional, 2013b), o ficheros audios accesibles con programas de síntesis de habla (Supalo et al., 2014).

Las actividades prácticas deberían diseñarse para incluir a los alumnos con discapacidad. En el caso de la química, fomentar el uso de otros sentidos (como el olfato o el tacto) en el laboratorio, o el uso de indicadores no visuales en experiencias de neutralización ácido-base, son ejemplos de inclusión para personas con baja visión. El Manual de Enseñanza de la Química a Estudiantes con Discapacidad, publicado por el Comité de los Químicos con Discapacidades de la Sociedad Química Americana (Pagano & Ross, 2015), ofrece numerosísimos ejemplos y pautas para la inclusión de estudiantes con discapacidad en las prácticas de laboratorio de química. El IB, además, para reforzar el aprendizaje de alumnos con baja visión recomienda el uso de materiales táctiles tales como documentos tridimensionales y textos en relieve, entre otros (Organización del Bachillerato Internacional, 2013b).

### 3.3 Enfoques (o habilidades) de aprendizaje trabajados

Como se ha detallado en el capítulo 1, el modelo de aprendizaje del IB se rige en cinco enfoques (o habilidades) de aprendizaje que los alumnos tienen que desarrollar. A continuación, se indican cuáles habilidades se trabajarán en las actividades prácticas planeadas en este trabajo. En la Tabla 7-4 en Anexos se indican, a modo de resumen, qué enfoques serán útiles en cada actividad propuesta.

1. **Habilidades de pensamiento:** el papel que tienen las prácticas de laboratorio en el desarrollo de las habilidades de pensamiento, a nivel tan cognitivo como metacognitivo, es conocido en literatura (Hofstein, 2017). En las prácticas que aquí se proponen, se trabajarán de especial manera las siguientes habilidades de pensamiento, de acuerdo con el modelo del IB:
  - 1.1. Pensamiento crítico.
  - 1.2. Pensamiento creativo.
2. **Habilidades de investigación:** por su propia naturaleza, las actividades experimentales se prestan al desarrollo de habilidades de investigación en las asignaturas del grupo de

Ciencias (Zimmerman, 2007). Con las actividades propuestas a continuación, se hará hincapié en las habilidades de investigación, de acuerdo con el modelo del IB:

2.1. Comparación y contraste.

2.2. Validación.

2.3. Priorización de la información.

3. **Habilidades de comunicación:** en el contexto de los laboratorios didácticos de Ciencias, el desarrollo de las habilidades de comunicación no sólo permite la transmisión de ideas y conocimientos entre alumnos y profesores, sino que a su vez retroalimenta las habilidades de pensamiento, especialmente cuando se les pide a los alumnos tareas orales y escritas bien diseñadas (Burke et al., 2006). De acuerdo con las recomendaciones del IB, en las actividades prácticas descritas en este trabajo se fomentarán específicamente las siguientes habilidades de comunicación:

3.1. Comunicación oral.

3.2. Comunicación escrita.

3.3. Formulación de argumentos.

4. **Habilidades de autogestión:** los trabajos prácticos son muy apropiados para la adquisición de habilidades de autogestión, especialmente si están estructurados según el modelo del aprendizaje basado en proyectos (Hadinugrahaningsih et al., 2017). En este trabajo se promoverán las siguientes habilidades de autogestión:

4.1. Habilidades de organización, de gestión del tiempo y de las tareas.

5. **Habilidades sociales:** en el contexto del laboratorio didáctico, las habilidades sociales están relacionadas con las habilidades de investigación y de comunicación compleja (Holbrook & Rannikmae, 2017). Además, como muchas de las actividades propuestas en este trabajo se basan en el modelo de aprendizaje cooperativo, que a su vez promueve el desarrollo de las habilidades sociales (Johnson & Johnson, 2009), en este contexto se trabajarán las siguientes habilidades sociales, de acuerdo con las recomendaciones del IB:

5.1. Establecer y mantener relaciones positivas.

5.2. Habilidades de escucha.

### 3.4 Atributos del perfil de la comunidad de aprendizaje del IB trabajados

Como se ha visto en el capítulo de introducción, el Programa del Diploma, como los demás programas del IB, de acuerdo con los principios declarados en su modelo, hace hincapié en el desarrollo de los alumnos como personas con una serie de atributos que contribuyan a crear un mundo mejor y más pacífico. En este plan de trabajos prácticos, se trabajarán en particular cinco atributos del perfil de la comunidad de aprendizaje del IB, indicados a continuación, relacionados con el objetivo de evaluación n. 4. También se explicitan las habilidades mencionadas en el apartado anterior que más se relacionan con cada atributo.

1. **Indagadores:** este atributo comporta por un lado la curiosidad, componente esencial para la indagación y la investigación. Por otro, conlleva las habilidades de aprender a aprender, tanto de manera autónoma como cooperativamente y en equipo. Por eso, este atributo bien se relaciona con las habilidades de pensamiento creativo, de investigación, y de autogestión trabajadas en este plan.
2. **Informados e instruidos:** este atributo tiene que ver con la exploración del conocimiento para desarrollar y usar la comprensión conceptual en la Química. Por lo tanto, bien encaja con las habilidades de pensamiento creativo y de priorización de la información descritas anteriormente.
3. **Pensadores:** este atributo se desarrolla a partir de las habilidades de pensamiento crítico y creativo, con el fin de abordar problemas complejos como una investigación química de manera responsable y razonada.
4. **Buenos comunicadores:** este atributo tiene relación tanto con las habilidades de comunicación, tratándose de entender material en otro idioma (inglés) y jergas, como con las habilidades sociales, tratándose de colaboraciones eficaces y habilidades de escuchas con otras personas y grupos.
5. **Audaces:** el desarrollo de este atributo implica la exploración de ideas nuevas y estrategias innovadoras, mostrando inventiva y flexibilidad ante los retos de una investigación química. Por eso, se requieren habilidades de pensamiento creativo, además de habilidades de autogestión y sociales a la hora de trabajar de manera tanto autónoma como colaborativa.

### 3.5 Criterios de evaluación interna

Como se ha mencionado anteriormente, para acostumbrar a los alumnos a los criterios del proyecto individual de investigación que constituye la evaluación interna de la asignatura de Química del Programa del Diploma, los trabajos prácticos propuestos en este TFM se evaluarán conforme estos criterios. Para ello, se ha realizado una rúbrica de evaluación (Tabla 7-1 en Anexos), que contiene las bandas de calificación correspondientes a los niveles de desempeño descritos por los indicadores (descriptores) de cada criterio usados en la evaluación interna (Organización del Bachillerato Internacional, 2014a). Esta rúbrica está a disposición de los alumnos, tal y como recomendado por el IB, para que sepan en qué medida deben ajustar su nivel de esfuerzo para alcanzar su rendimiento óptimo. Al respecto, es importante notar cómo los descriptores subrayan competencias y aspectos positivos en vez de la falta de logros.

Los indicadores tachados en la Tabla 7-1 en Anexos sólo pueden aplicarse para la evaluación del propio proyecto de investigación (la evaluación interna), ya que miden aspectos pertinentes a la formulación de una pregunta de investigación. Por eso, aquellos indicadores no se tendrán en cuenta en los trabajos prácticos propuestos en este TFM, porque, como se describe a continuación, todos tienen una pregunta de investigación ya formulada por el docente, y se deja a los alumnos encontrar los resultados o formular una metodología de investigación, según el nivel de indagación oportuno.

En cada trabajo práctico se evaluará:

- un informe final (correspondiente al 60% de la nota del trabajo), evaluado según los criterios de la evaluación interna expuestos en la rúbrica de p. 84. En la Tabla 3-1 se detallan qué indicadores se aplican en la evaluación de cada trabajo práctico;
- el “perfil del alumno” (máx. 15 puntos, correspondientes al 30% de la nota del trabajo), que evalúa el desarrollo de las habilidades de aprendizaje y atributos del perfil de la comunidad de aprendizaje (véase rúbrica, Tabla 7-2 en Anexos);
- la capacidad del alumno de autoevaluar su aprendizaje (máx. 15 puntos, correspondientes al 10% de la nota del trabajo), según los mismos criterios de la rúbrica del perfil del alumno (Tabla 7-2 en Anexos).

Tabla 3-1: Descripción de la evaluación en cada trabajo práctico, y los criterios de evaluación interna correspondientes (ver Tabla 7-1 en Anexos).

<i>Trabajo práctico</i>	<i>Tipo de informe final</i>	<i>Criterios de evaluación interna</i>
1 – Actividad preliminar: trabajo de campo (visita de las Bardenas Reales de Navarra y recogida de muestras) y desarrollo y uso de modelos.	Mapa conceptual	1.1 2.4
2 – Indagación por confirmación: uso de bases de datos para datos secundarios y ejercicios de análisis de datos.	Presentaciones grupales basadas en el trabajo cooperativo	1.3 2.4 3.2, 3.4 4.1, 4.2 5 (todos)
3 – Indagación guiada: prácticas de laboratorio	Informe de laboratorio por pareja	1.3 2.4 3 (todos) 4 (todos) 5 (todos)
4 – Indagación estructurada: prácticas de laboratorio	Informe de laboratorio individual	Todos, menos los tachados

El trabajo práctico n. 1 tiene como objetivo instaurar una conexión significativa entre los demás trabajos prácticos y el contexto local, siendo una visita de campo al Parque Natural y la Reserva de la Biosfera de las Bardenas Reales de Navarra. Por eso, con el fin de fijar algunos puntos clave en los alumnos, se presta bien a ser evaluado a través de mapas conceptuales sobre el tema de la desertización. Se les pedirá a los alumnos realizar un mapa conceptual inicial al final de la sesión previa, y un mapa conceptual final al final de la visita de campo. El objetivo es, por un lado, evaluar la conciencia del alumno acerca de las cuestiones ambientales pertinentes para la metodología de la investigación a seguir (criterio de evaluación interna 2.4), como la influencia de factores climáticos, geográficos, químico-físicos y antrópicos en la formación de áreas desérticas como las Bardenas Reales. Por otro, se puede evaluar el compromiso personal inicial del alumno (pensamiento independiente, iniciativa o creatividad) con las exploraciones planeadas, considerando las conexiones conceptuales que realiza el alumno en su mapa (criterio de evaluación interna 1.1). Por último, la comparación del mapa conceptual inicial y final permitirá observar la evolución cognitiva del alumno sobre la desertización, sus causas y consecuencias en un contexto local (las Bardenas Reales) y sus conexiones a nivel global. La rúbrica de evaluación indicada en la Tabla 7-3 en Anexos explicita los criterios de evaluación para el trabajo n. 1.

Los demás trabajos prácticos (2, 3, y 4) son trabajos de investigación, así que su evaluación encaja mejor con los criterios de evaluación interna destacados anteriormente. El trabajo n. 2 se evaluará a través de dos presentaciones grupales basadas en el trabajo cooperativo de 3 alumnos, para entrenarlos en las habilidades de comunicación científica oral. Para acostumbrar a los alumnos a redactar informes de manera cada vez más independiente, ya que la evaluación

interna es un trabajo individual, se propone evaluar el trabajo n. 3 con un informe de laboratorio por pareja; y el trabajo n. 4, el que más se parece a la evaluación interna, con un informe de laboratorio individual.

### 3.6 Temas del Nivel Medio de Química

Las actividades prácticas llevadas a cabo en este plan cubren parte del contenido de cuatro temas más una opción del programa de estudio del NM (Organización del Bachillerato Internacional, 2014e), resumidos en la Tabla 3-2 a seguir:

Tabla 3-2: Temas del programa de estudio del NM de Química del DP, y contenido trabajo en este plan.

<b>Tema</b>	<b>Subtema</b>	<b>Contenido</b>
Tema 1: Relaciones estequiométricas	1.3 Masas y volúmenes reaccionantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración molar y cantidad de soluto.</li> <li>- Gravimetría.</li> </ul>
Tema 4: Enlace químico y estructura	4.1 Enlace iónico y estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explicación de las propiedades físicas de compuestos iónicos (volatilidad, conductividad eléctrica y solubilidad) en función de su estructura.</li> <li>- Nomenclatura de iones poliatómicos comunes: <math>\text{NH}_4^+</math>, <math>\text{OH}^-</math>, <math>\text{NO}_3^-</math>, <math>\text{HCO}_3^-</math>, <math>\text{CO}_3^{2-}</math>, <math>\text{SO}_4^{2-}</math> y <math>\text{PO}_4^{3-}</math>.</li> </ul>
Tema 8: Ácidos y bases	8.3 La escala de pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de electrodos selectivo de iones, incluso sondas de pH (péhachímetros)</li> </ul>
Tema 11: Medición y procesamiento de datos	11.1 Incertidumbres y errores en la medición y los resultados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Errores aleatorios y sistemáticos.</li> <li>- Repetición de ensayos y mediciones.</li> <li>- Exactitud y precisión.</li> </ul>
	11.2 Técnicas gráficas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dibujo de gráficos de resultados experimentales con hojas de cálculo.</li> <li>- Interpretación de gráficos para establecer relaciones entre las variables dependiente e independiente.</li> <li>- Producción e interpretación de líneas de ajuste o curvas a través de los puntos de datos.</li> </ul>
Opción A: Materiales	A.2 Los metales y la espectroscopía con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de espectroscopía con fuente de plasma de acoplamiento inductivo y espectroscopía de masas (ICP-MS) para determinar las trazas de metales.</li> <li>- Determinación colorimétrica (usando la ley de Beer y la espectrofotometría) de metales.</li> </ul>

Estos temas, además de apoyar las actividades prácticas descritas a continuación, fortalecen la comprensión de la naturaleza de la Ciencia. Por ejemplo, en los Subtemas 1.3 y 4.1 se puede hacer hincapié en que las teorías científicas se basan en observaciones cuidadosas y se usan para la explicación de fenómenos naturales. Asimismo, en el Tema 11 se profundiza un aspecto central de la naturaleza de la Ciencia, o sea que para asegurar la fiabilidad de las mediciones hay que realizar repeticiones de mediciones cuantitativas. Cuando estos datos se puedan representar gráficamente, es posible comprobar la correlación entre dos variables. Por último, en la Opción A se puede subrayar que la comprensión de principios científicos permite desarrollar nuevos instrumentos y técnicas, que a su vez pueden servir para verificar estos principios.

En la Tabla 3-4 se explicita qué actividad práctica está relacionada con cada tema.

### 3.7 Actividades prácticas

El plan de trabajos prácticos que se plantea en este TFM consiste en cuatro trabajos, a su vez repartidos en varias actividades:

1. Visita de campo a las Bardenas Reales de Navarra
2. Sesiones de indagación por confirmación
3. Sesiones de indagación guiada
4. Sesiones de indagación estructurada

Conforme la filosofía de enseñanza del IB vista anteriormente, en este TFM se pretende desarrollar los trabajos prácticos por niveles de indagación según el modelo de enseñanza y aprendizaje basados en la indagación (o por indagación; *inquiry-based instruction* e *inquiry-based learning* en inglés) (Banchi & Bell, 2008) (Minner et al., 2010) (Watt et al., 2013). Como se detalla a continuación, hay tres componentes que distinguen este modelo, recomendado cada vez más en la enseñanza de las Ciencias en educación secundaria (National Research Council, 2012) (National Science Teachers Association, 2018), respecto a otros enfoques (Watt et al., 2013):

1. los alumnos llevan a cabo investigaciones y experimentos como parte integrante de las clases de Ciencias;
2. los alumnos investigan a través de técnicas como la resolución de problemas y la negociación;
3. los profesores llevan el aprendizaje de los alumnos más allá de los estándares prefijados.

Con el fin de maximizar el aprendizaje de los alumnos, es importante reducir la complejidad y carga cognitiva de las actividades prácticas iniciales, para luego ir incrementándolas poco a poco (Watt et al., 2013). Esto se hace a través de la creación por parte del profesor de andamios en los primeros niveles de indagación, como por ejemplo proporcionar al alumnado instrucciones de indagación explícitas y usar presentaciones multimedia y organizadores gráficos. De esta manera, los alumnos empiezan las actividades de indagación provistos de andamios que se van paulatinamente quitando a medida que las habilidades cognitivas y prácticas de los alumnos se desarrollen. Esto beneficia enormemente tanto a los alumnos sin

dificultades en el aprendizaje, como a los con (por ejemplo, alumnos con discapacidad, o procedentes de contextos socio-económicos vulnerables (Mujtaba et al., 2018). A raíz de este andamiaje, el modelo de enseñanza y aprendizaje basados en la indagación bien encaja con el DUA si se diseña para favorecer (Watt et al., 2013):

- La comprensión de conceptos clave: es importante delimitar el número de conceptos claves con que se quiere que se queden los alumnos, y, a partir de los conocimientos previos, considerarlos como las unidades fundamentales a través de las cuales los alumnos pueden construir más conocimientos.
- La adquisición y retención del conocimiento: eso se realiza fomentando conversaciones alumnos-profesor sobre el aprendizaje, lo que requiere una comunicación significativa, activa y participativa de la comprensión entre los alumnos. Eso también favorece el aprendizaje del alumnado con dificultades en el aprendizaje, porque los ayuda a entender los significados y las relaciones del vocabulario del contenido científico. Además, profesor debe utilizar técnicas que faciliten la adquisición y retención de conceptos y vocabulario, como múltiples formas de representación (gráficas, tablas, diagramas), organizadores gráficos (como mapas conceptuales), y estrategias mnemónicas.
- La evaluación formativa: esta tiene como objetivos: i) para el profesor, darse cuenta de los conocimientos previos de los alumnos, para ampliarlos, o corregir y/o reestructurar eventuales fallos conceptuales que son especialmente perjudiciales para el alumnado con dificultades de aprendizaje; ii) para los alumnos, reconocer, evaluar, y reflexionar sobre lo que han aprendido.

En el modelo de enseñanza y aprendizaje basados en la indagación, se parte de un nivel “cerrado” de indagación, donde se les proporcionan a los alumnos y alumnas todos los elementos constitutivos de la investigación: tanto la pregunta de investigación (pregunta investigable) como la metodología. En este nivel, además, los resultados son conocidos por los alumnos y alumnas, con lo cual a este nivel se le llama también *indagación por confirmación*, ya que el trabajo de los alumnos y alumnas consiste en repetir y confirmar los resultados para que adquieran cierta confianza y un hábito de trabajo científico.

En el segundo nivel de indagación, la indagación guiada, los alumnos y alumnas tienen tanto la pregunta investigable como la metodología. Sin embargo, no saben a qué resultados les llevará la investigación, con lo cual se añade un nivel de desafío.

En el tercer nivel, el de la indagación estructurada, los alumnos y alumnas sólo cuentan con la pregunta investigable. A partir de ahí y de una correcta comprensión y contextualización del problema, además de una adecuada retroalimentación por parte del profesor, tienen que desarrollar una metodología de investigación adecuada para obtener los resultados que contesten a la pregunta inicial. Las indagaciones guiada y estructurada permiten a los alumnos trabajar los pensamientos y las prácticas propias de los científicos, aun dentro de un marco de instrucciones provistas por el profesor (Brigham et al., 2011). No limitan en absoluto la exploración y la discusión de ideas en los alumnos: por el contrario, proporcionan un método sistemático para organizar y conectar la información de que los alumnos dispongan (Watt et al., 2013). Asimismo, estos tipos de indagación resultan beneficiosas a la hora de atender a alumnos con dificultades en el aprendizaje, gracias a las técnicas de andamiaje que puede realizar el profesor para mejorar la adquisición y la retención del vocabulario y de los conocimientos del alumnado, como las instrucciones de indagación explícitas que benefician la comprensión del funcionamiento de la investigación científica en todos los alumnos, con y sin dificultades de aprendizaje (McGrath & Hughes, 2018). Cabe destacar, por último, que la indagación estructurada se presta bien al trabajo cooperativo entre alumnos sin y con dificultades en el aprendizaje, ya que el profesor puede entrenar a los primeros para “tutorizar” a los segundos. Eso beneficia a todos los alumnos en el hábito al trabajo cooperativo, y al profesor que puede distribuir mejor su asistencia al alumnado (McGrath & Hughes, 2018), concentrarse en que todos los alumnos accedan a los conceptos claves que se estén tratando (Watt et al., 2013), y abordar ideas erróneas y confusiones de los alumnos desde el comienzo de las actividades (Therrien et al., 2011).

Estos tres niveles de complejidad creciente capacitan a los alumnos y alumnas para llevar a cabo una investigación abierta, propia de la evaluación interna de las asignaturas del Grupo 4, y en general para la Monografía del núcleo del Diploma. La indagación abierta es el puro descubrimiento por parte de los alumnos, sin las direcciones del profesor.

En la Tabla 3-3 se resumen las varias actividades propuestas, mientras en la Tabla 3-4 se explicita la temporalización, además de los temas relacionados con cada actividad práctica. Más detalles sobre las actividades se encuentran en la Tabla 7-4 en Anexos.

Tabla 3-3 Actividades prácticas ordenadas por niveles de indagación según (Banchi & Bell, 2008).

<b>Tipo de indagación</b>	<b>Trabajo práctico n.</b>	<b>Preguntas de investigación</b>	<b>Metodología</b>	<b>Resultados</b>
Por confirmación	2	<p>¿Hay diferencias significativas de concentración de sodio en áreas desérticas como las Bardenas y en áreas con destinación a uso agrícola en Navarra?</p> <p>¿La conductividad eléctrica del suelo depende significativamente de la concentración de sodio en el suelo de las Bardenas? ¿Y de los demás iones?</p>	<p>Consulta de bases de datos y comparación de los valores de <math>[Na^+]</math> en las Bardenas (Desir &amp; Marín, 2013) y en áreas con destinación a uso agrícola de Navarra (Virto et al., 2007).</p>	<p>La erodabilidad del suelo en las Bardenas está controlada por el elevado contenido de sodio (Desir &amp; Marín, 2013). Por lo tanto, se observa una concentración de sodio significativamente superior en las zonas desérticas de las Bardenas que en otras zonas agrícolas de Navarra.</p>
Guiada	3	<p>¿El tamaño de los fragmentos de regolito en las Bardenas varía según las características de los barrancos donde se han recogido las muestras?</p> <p>¿La concentración de sodio en el suelo de las Bardenas influye en el tamaño de los fragmentos de regolito?</p> <p>¿El índice de adsorción de sodio (<i>sodium adsorption ratio</i>, SAR) en el suelo de las Bardenas es un mejor predictor del tamaño de partículas de regolito?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medición del tamaño de fragmentos de regolito de áreas con pendientes distintas de las Bardenas recogidos durante la visita de campo;</li> <li>- Medición de <math>[Na^+]</math> con electrodo selectivo de iones;</li> <li>- Determinación de <math>[Ca^{2+}]</math> y <math>[Mg^{2+}]</math> con método gravimétrico (precipitación con ácido oxálico), para obtener el SAR (Sparks, 2003).</li> </ul>	—
Estructurada	4	<p>¿El pH del suelo influye en la concentración de hierro libre en el suelo de las Bardenas?</p> <p>¿La concentración de metales pesados en el suelo de las Bardenas está relacionada con la distancia entre el punto de recogida y la zona de uso militar?</p>	—	—
Abierta	Evaluación interna	—	—	—

Tabla 3-4: Plan de trabajos prácticos - modelo 4/PSOW. Los números que aparecen en la columna de TIC indica cuál de las siguientes aplicaciones se utilizan: (1) registro de datos, (2) software para el trazado de gráficas, (3) hojas de cálculo, (4) base de datos y (5) modelos o simulaciones por computadora.

Trabajo práctico	Descripción de todos los experimentos, investigaciones o proyectos	TIC	Subtemas	Tiempo (horas)
1	Visita con guía oficial de las Bardenas Reales de Navarra, y recogida de muestras de fragmentos de regolito en diferentes áreas.	1 5		7
2	Indagación por confirmación: análisis, interpretación y comparación de 2 bases de datos para recoger información sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>- la concentración de sodio en suelos sódicos y suelos de uso agrícola;</li> <li>- la conductividad del suelo en función de <math>[Na^+]</math> y otros iones.</li> </ul>	2 3 4	4.1 11.2	2
3	Indagación guiada: medición del tamaño de los fragmentos de regolitos en función de las características morfológicas de los barrancos de recogida, y del contenido de sodio del propio suelo: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>[Na^+]</math> con electrodo selectivo de iones;</li> <li>- <math>[Ca^{2+}]</math> y <math>[Mg^{2+}]</math> con gravimetría, para calcular el SAR.</li> </ul>	1 2 3	1.3 8.3 11.1	4
4	Indagación estructurada: <ul style="list-style-type: none"> <li>- medición del pH del suelo en función de la concentración de hierro libre en el suelo (con colorimetría UV-Vis);</li> <li>- medición de la concentración de metales pesados (con ICP-MS) en función de la distancia entre el punto de recogida y la zona de uso militar de las Bardenas.</li> </ul>	1 2 3	A.2 11.1	7

### 3.7.1 Trabajo práctico n. 1: Visita de campo

El trabajo práctico n. 1 corresponde a una visita guiada al Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra. El “Itinerario 1: Las Cortinillas - Castildetierra”,<sup>5</sup> propuesto por el Centro de Información Turística de Bardenas, responde bien a los propósitos descritos a continuación.

Puesto que la conexión con el contexto local es elemento imprescindible para favorecer el aprendizaje significativo, con esta visita de campo se pretende que los alumnos puedan “sentir” en primera persona el patrimonio paisajístico y natural local. Por un lado, se los concienciará sobre una realidad local (el área desértica de las Bardenas Reales) a las que probablemente la mayoría de los alumnos que viven en un contexto como el de la Comunidad Navarra no estén acostumbrados, al tener esta Comunidad un clima de tipo oceánico al norte y de tipo mediterráneo al centro-sur. Por otro lado, la presencia de una zona de uso militar con un polígono de tiro del Ejército del Aire puede animar a los alumnos a pensar a los aspectos éticos del uso del territorio, reflexionando sobre la declaración de principios IB cuyo objetivos es alcanzar un mundo más pacífico.

<sup>5</sup> [https://bardenasreales.es/wp-content/uploads/2019/11/CONCERTAR-VISITAS-ESCOLARES\\_2018\\_2019.pdf](https://bardenasreales.es/wp-content/uploads/2019/11/CONCERTAR-VISITAS-ESCOLARES_2018_2019.pdf)

Dada su finalidad más bien de exploración y conocimiento que de investigación, se guiará a los alumnos a través de preguntas de indagación, para que centren su atención sobre los siguientes aspectos:

- ¿Qué tipo de flora y fauna viven en las Bardenas Reales, y qué relación tienen con este ecosistema específico?
- ¿Qué efectos climáticos, mineralógicos, químico-físicos y antrópicos influyen en la morfología de las Bardenas Reales?
- ¿Cuál ha sido la historia humana y geológica del lugar? ¿Qué relación tiene con los usos actuales de las Bardenas?

Este trabajo se estructura en 2 sesiones (cfr. Tabla 7-4 en Anexos):

- Sesión 1.1: en esta sesión, a realizar en aula, se introduce a los alumnos el plan de trabajos a realizar a lo largo de los dos años del Programa del Diploma. Los alumnos tienen acceso a todas las preguntas de investigación propuestas, y será importante que las tengan en cuenta durante la visita de campo cuando deberán recoger las muestras de suelo. Parte central de la sesión se dedica al estudio del área de las Bardenas Reales, incluso haciendo uso de un modelo tridimensional posiblemente en colaboración con la asociación Ciencias sin Barreras<sup>6</sup>. Eso respeta el principio del Diseño Universal para el Aprendizaje, beneficiando por ejemplo a estudiantes con baja visión. También se les dará tiempo a los alumnos, al final de la clase, para realizar su mapa conceptual inicial, que forma parte de la evaluación de este trabajo.
- Sesión 1.2: esta sesión corresponde a la salida de campo. Incluye el viaje en autobús hasta el Centro de Información Turística de Bardenas, la visita con guía oficial, y la recogida de muestras de regolito (o sea, los fragmentos de roca superficiales) según los criterios descritos en la Tabla 7-4 en Anexos. Al final de la salida de campo, los alumnos tendrán 15' de tiempo para realizar el segundo mapa conceptual, que completa la evaluación de este trabajo práctico.

### 3.7.2 Trabajo práctico n. 2: Indagación por confirmación

En el trabajo práctico n. 2, los alumnos relacionarán el concepto de desertización con el de erodabilidad, un fenómeno estrictamente asociado a la concentración de sodio en el suelo. Para ello, trabajarán con datos secundarios (a partir de (Desir & Marín, 2013) y (Virto et al., 2007),

---

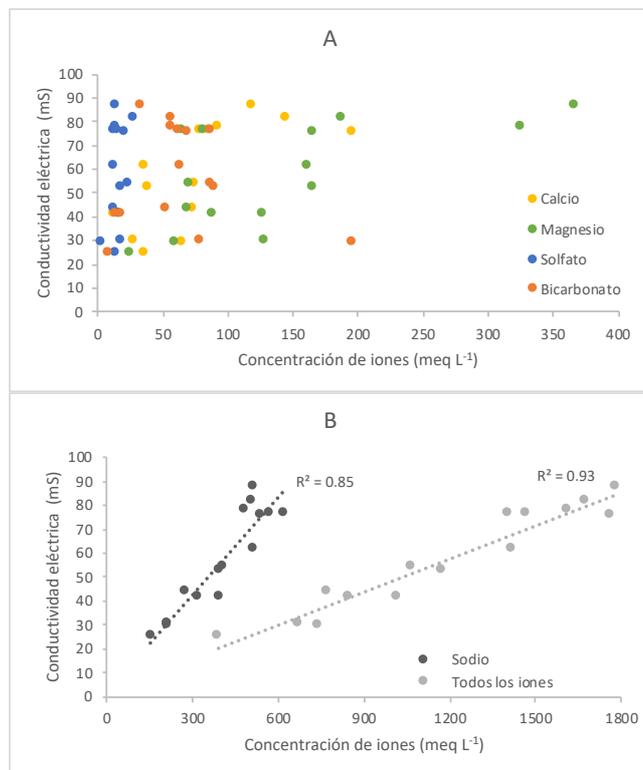
<sup>6</sup> <https://www.ucm.es/geodivulgar/asociacion-ciencia-sin-barreras>

contestando por grupos cooperativos de 3 alumnos a una de las siguientes preguntas de investigación, según interés del grupo:

- *¿Hay diferencias significativas de concentración de sodio en áreas desérticas como las Bardenas Reales y en áreas con destinación a uso agrícola en Navarra? Aunque ya sin particulares análisis estadísticas se note la diferencia de concentración de sodio entre los terrenos agrícolas y los de las Bardenas Reales (porque difieren de 3 órdenes de magnitud), el análisis estadístico con instrumentos como el ANOVA confirma la diferencia estadísticamente significativa.*
- *¿La conductividad eléctrica del suelo depende significativamente de la concentración de sodio en el suelo de las Bardenas? ¿Y de los demás iones? Se verá que la conductividad eléctrica tiene una correlación lineal bastante buena en función de la concentración de sodio ( $R^2 = 0.85$ , cfr. Figura 3-1 B), pero no en función de la concentración de los demás iones (cfr. Figura 3-1 A). Además, se nota que la correlación mejora si se tiene en cuenta la concentración totales de iones, en vez de sólo un tipo ( $R^2 = 0.93$ ). Se puede animar a los alumnos a pensar por qué pasa esto, y si la conductividad eléctrica del suelo puede utilizarse como predictor de desertización en los suelos.*

Con este trabajo práctico, los alumnos se familiarizan con el análisis, la interpretación y la comparación de bases de datos, con el fin de identificar las variables que influyen en la erodabilidad del suelo. Habilidades específicas que se desarrollan son: identificación de datos relevantes a partir de bases de datos; atención a las unidades; representación gráfica de tablas de datos numéricos; cálculo de regresiones lineales y evaluación de coeficientes  $R^2$ ; aplicación de tests estadísticos como ANOVA. Además, considerada la reducida carga de habilidades de investigación en esta actividad, se propone centrar la atención en el trabajo cooperativo, como el trabajo por roles (ver a continuación).

Figura 3-1: Conductividad eléctrica en función de la concentración de varios tipos de iones en muestras de suelo de las Bardenas Reales. En A: en función de calcio, magnesio, sulfato y bicarbonato; en B: en función de sodio y de la concentración total de todos los iones. En B, además, se muestran las regresiones lineales y sus coeficientes  $R^2$ . Estos datos proceden de (Desir & Marín, 2013).



Este trabajo se estructura en 2 sesiones:

- Sesión 2.1: al inicio de esta sesión se hace hincapié en el uso de fuentes fiables de información, a partir de un breve vídeo TED-Ed<sup>7</sup>. A continuación, se les propone a los alumnos un ejercicio grupal de análisis de bases de datos guiado por preguntas, donde los alumnos deberán analizar los datos meteorológicos de Pamplona. Cada grupo está formado por 3 alumnos, a los que se asignan 3 roles: el “investigador principal”, responsable de seleccionar los datos y proponer cómo procesarlos/representarlo; el “informático”, responsable de trasladar los datos a una forma manipulable y realizar la representación gráfica; y el “vocal”, responsable de comunicar las conclusiones al final. Para este ejercicio, los grupos irán a la página de datos meteorológicos de Pamplona de AEMET<sup>8</sup>, donde se muestran los valores climatológicos normales mediados entre 1981-2010, registrados en la estación climatológica del aeropuerto de Pamplona (cfr. Figura 7-1 en Anexos). Cada grupo deberá elegir dos parámetros de la tabla de datos, y la mejor forma de compararlos a través

<sup>7</sup> <https://ed.ted.com/lessons/how-false-news-can-spread-noah-tavlin#watch>

<sup>8</sup> <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=9263D&k=nav>

de una representación gráfica, poniendo cuidado en las unidades. Las preguntas que guían el análisis son las siguientes:

- a. ¿Qué evolución se ve en los parámetros escogidos?
- b. ¿Dónde están los valores máximos? ¿Y los mínimos?
- c. ¿Cómo aumentan o disminuyen las variables?
- d. ¿Hay algo que te llame la atención?

Para que los alumnos puedan realizar una exposición final donde expliquen las conclusiones que hayan obtenido del análisis de datos, se hará hincapié en que, en un trabajo científico, sólo se analizan los datos que se procesan, y sólo se discute lo que se ha analizado. Por eso, se les animará a buscar material teórico que explique lo que observen a partir de los datos (como en libros de texto o webs). La exposición grupal final de esta sesión valdrá el 30% de la nota final de este trabajo práctico.

- Sesión 2.2: esta sesión es el trabajo práctico n. 2 en sí, basado en las habilidades que los alumnos han podido trabajar en la sesión 2.1. Además, para fomentar habilidades sociales y de comunicación, se trabajará a través de una metodología cooperativa llamada “Puzzle de Aronson” (Aronson et al., 1978).
  - a. Al inicio de la sesión, se forman grupos de 3 alumnos. En cada grupo, se proporcionan las instrucciones para llevar a cabo el trabajo práctico a seguir, pero de manera fragmentada: es decir, un alumno recibirá instrucciones sobre las preguntas de investigación, otro sobre la metodología a seguir, y otro sobre los resultados de la indagación. Después de un tiempo (5’) para leer sus instrucciones, se forman macro-grupos de “expertos”, con alumnos de cada uno de los grupos cooperativos. Así que habrá el macro-grupo de los que han leído sobre las preguntas de investigación, el macro-grupo de los que han leído sobre la metodología, y el macro-grupo de los que han leído sobre los resultados. Ahora los grupos de “expertos” pueden preguntar y resolver dudas entre sí sobre lo que han leído (5’). Después, cada grupo vuelve a su grupo originario, y se comparte la información recibida (5’).
  - b. Ahora los alumnos, siguiendo en los mismos grupos, pueden elegir qué pregunta de investigación trabajar, y seguir la metodología de análisis de datos adecuadas a partir de los datos de los dos artículos propuestos. Deberán también llegar a conclusiones razonadas en el tiempo establecido (20’).

- c. Por último, cada grupo presenta ante el resto de la clase sus conclusiones (15'). Esta exposición grupal constituye el restante 70% de la nota final de este trabajo práctico.

### 3.7.3 Trabajo práctico n. 3: Indagación guiada

En el trabajo práctico n. 3, la indagación guiada, los alumnos están a oscuras de los resultados, que tienen que obtener a partir de una metodología dada. Se estructura en torno a tres preguntas de investigación indicadas a continuación:

- *¿El tamaño de los fragmentos de regolito en las Bardenas Reales varía según las características morfológicas de los barrancos donde se han recogido las muestras?* Este trabajo conlleva la medición con calibre del tamaño de fragmentos de regolito de las Bardenas Reales recogidos durante la visita de campo inicial en áreas con pendientes diferentes. Los resultados deberían mostrar que los fragmentos de regolito procedentes de zonas con elevada erosión (o sea, barrancos con elevada pendiente) tienen un tamaño más pequeño, en razón del grado de erosión mayor.
- *¿La concentración de sodio en el suelo de las Bardenas Reales influye en el tamaño de los fragmentos de regolito?* Este trabajo conlleva la medición de la concentración de sodio en las muestras de suelo con electrodo selectivo de iones, previa disolución ácida de las muestras. Los resultados deberían indicar que la concentración de sodio es mayor en los fragmentos más pequeños, ya que el elevado contenido de sodio confiere un carácter más dispersivo al suelo (Desir & Marín, 2013).
- *¿El índice de adsorción de sodio (sodium adsorption ratio, SAR) en el suelo de las Bardenas Reales es un mejor predictor del tamaño de partículas de regolito?* Este trabajo se realiza determinando la concentración de iones calcio y magnesio con método gravimétrico (precipitación con ácido oxálico) para obtener el SAR (Sparks, 2003). Los resultados deberían clarificar si el SAR es un peor o mejor predictor del tamaño de los fragmentos de regolitos respecto a la concentración de sodio, por comparación de la linealidad en los dos casos.

Las preguntas n. 2 y 3 son las más estrictamente químicas, y se realizarán en sesiones de laboratorio. Los alumnos, por parejas, eligen qué pregunta trabajar, según su interés. Sin embargo la primera, ya que no tiene un carácter estrictamente químico, se realizará en clase por parte de todos los alumnos.

Este trabajo práctico se estructura en cuatro sesiones:

- Sesión 3.1: esta sesión previa se compone de dos partes. En la primera (20') se concienciará a los alumnos sobre importantes cuestiones de seguridad en el laboratorio químico. A través de la redacción y firma de un “contrato” consensual de normas de comportamiento a respetar y posibles sanciones, la clase se compromete en mantener la seriedad y atención necesarias en el laboratorio. En la segunda parte (30'), los alumnos harán ejercicios sobre el concepto de pregunta de investigación investigable (es decir, una pregunta a la que se puede responder con datos, a partir de variables que están ínsitas en el enunciado de la pregunta). Para ello, se dividirá la clase en grupos de 3-4, y a cada uno se le dará una lista de “buenas” preguntas de investigación (o sea, investigables) y de “malas” preguntas (o sea, demasiado genéricas, o sin variables claras, etc.). A los grupos se les pedirá identificar, en cada pregunta, cuáles son las variables dependientes, independientes, y controladas. Al final, cada grupo expondrá sus conclusiones, y sus dificultades en identificar variables en las preguntas de investigación “malas”.
- Sesión 3.2: en la primera parte de esta sesión se explicará a los alumnos la incertidumbre y errores experimentales (aleatorios/sistemáticos) que toda medición comporta (10'). A continuación, los alumnos podrán examinar, por grupos de 3, los efectos de los errores, de la precisión y de la exactitud en la regresiones lineales de puntos experimentales y sus coeficientes  $R^2$  y  $\chi^2$ , a través de una simulación por ordenador de la Universidad de Colorado<sup>9</sup>. En la segunda parte de esta sesión los alumnos, por grupos de 3 según una estructura cooperativa por roles parecida a la sesión 2.1 (Investigador Principal, Informático, Vocal), deberán medir el tamaño de las muestras de regolito recogidas en la visita de campo inicial. Recogerán la información en una hoja de datos y analizarán los errores y dispersión de las mediciones, y expondrán brevemente sus resultados ante la clase (25').
- Sesión 3.3: esta es la primera sesión verdaderamente en el laboratorio. Por parejas, según su interés (gravimetría o electrodo selectivo de iones) los alumnos trabajarán una de las dos preguntas de investigación. Las instrucciones de laboratorio serán en forma de instrucciones integradas (descritas en el apartado 3.1): a modo de ejemplo, cfr. Figura 7-2 en Anexos.

---

<sup>9</sup> PhET Interactive Simulations: [https://phet.colorado.edu/sims/html/curve-fitting/latest/curve-fitting\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/curve-fitting/latest/curve-fitting_en.html)

- Sesión 3.4: en esta sesión se les dará tiempo a las parejas para analizar los resultados recogidos en la sesión anterior, y redactar el informe final.

#### 3.7.4 Trabajo práctico n. 4: Indagación estructurada

En este trabajo, el que más se parece al modelo de indagación abierta propio de la evaluación interna, los alumnos y alumnas deberán encontrar la metodología más adecuada para llevar a cabo las investigaciones sugeridas por las siguientes preguntas investigables:

- *¿El pH del suelo influye en la concentración de hierro libre en el suelo de las Bardenas?*  
Metodologías adecuadas para trabajar esta pregunta se encuentran en (Eisenmann, 1980), donde se describen métodos para filtrar muestras del suelo y:
  - o medir el pH con pH-metro o escala de papel;
  - o medir el contenido de hierro libre (Coffin, 1963) tras añadir el ferricianuro de potasio, un compuesto de uso común que reacciona con los iones  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  para formar  $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ , también conocido con el nombre de azul de Prusia, por su intenso color azul. La determinación del azul de Prusia mediante espectrofotometría UV-Vis (Erhardt, 2007) da la concentración total de iones hierro en el filtrado del suelo.
- *¿La concentración de metales pesados en el suelo de las BR está relacionada con la distancia entre el punto de recogida y la zona de uso militar?* Esta segunda pregunta de investigación conlleva la medición de la concentración de algunos metales pesados (como Cr, As, Cd, Hg, Pb) con espectroscopía con fuente de plasma de acoplamiento inductivo y espectroscopía de masas (ICP-MS) (Rodríguez-Oroz et al., 2017), y su correlación con la distancia entre el punto de recogida de las muestras durante la salida de campo, y el área de uso militar.

Dada la complejidad cognitiva que conlleva planificar una metodología de investigación, es esencial dedicar tiempo para que los alumnos puedan entender a fondo la naturaleza del trabajo experimental de cara a aspectos como la reproducibilidad y la validación. Por eso, en el plan de este TFM se dedican 7 horas lectivas a este trabajo en particular. Se estructura en las siguientes siete sesiones:

- Sesión 4.1: el propósito de esta sesión es que los alumnos entiendan la importancia de un método de investigación estandarizado, detallado, y reproducible. Se dividen los alumnos en 4 grupos, y se propone a cada grupo la misma sencilla actividad, o sea medir el pH de una disolución completamente neutralizada con pH-metro. Los pasos de la metodología completa son los siguientes: 1) *Preparar una disolución 0.010 M de NaOH a partir de NaOH en pellets, 100%*; 2) *Preparar una disolución 0.015 M de HCl a partir de HCl 1M 100%*; 3) *Mezclar 1.5 mL NaOH + 1 mL HCl*; 4) *Termalizar la disolución obtenida a 21 °C, y medir el pH con un pH-metro calibrado para un pH neutro*; 5) *Comprobar que el pH sea 7*. Sin embargo, a cada grupo le faltará un elemento imprescindible que intencionalmente no se ha especificado (ver Tabla 7-5 en Anexos). No sabiendo que faltan detalles en el procedimiento, cada grupo obtendrá resultados diferentes. Los grupos luego pondrán en común los resultados y se darán cuenta de las diferencias. Los alumnos así entenderán que es necesario que el procedimiento esté perfectamente especificado para poder reproducirlo siempre en las mismas condiciones.
- Sesión 4.2: en esta sesión los alumnos empiezan el estudio del contexto de la indagación, eligen por grupos de 3 las preguntas de investigación, y definen y redactan la metodología adecuada para llevar a cabo el experimento de la sesión sucesiva de forma reproducible. El profesor guía a los alumnos sobre las técnicas experimentales más adecuadas para obtener las variables pedidas en las preguntas de investigación.
- Sesión 4.3: los alumnos llevan a cabo los experimentos correspondientes siguiendo la metodología que hayan elaborado la vez anterior.
- Sesión 4.4: en esta segunda actividad de laboratorio, las parejas que hayan realizado el mismo experimento se intercambian las metodologías, e intentan seguirlas al pie de la letra.
- Sesión 4.5: en esta sesión se les da tiempo a los alumnos para analizar los datos recogidos en las dos actividades anteriores, comparar los resultados, y reflexionar sobre las dos metodologías: la inicial y la “ajena”.
- Sesión 4.6: en esta sesión las parejas que se hayan intercambiado las metodologías se unen en grupos de 4, y discuten cómo se pueden integrar y/o añadir detalles a las metodologías ideadas, con el fin de mejorarlas.
- Sesión 4.7: en esta sesión se les da tiempo a los alumnos para redactar el informe final del trabajo n. 4, individualmente y según los criterios de la evaluación interna.

## 4 Reflexiones

Los trabajos prácticos propuestos en este plan constituyen una concretización de los enfoques de enseñanza y aprendizaje del IB. Como se ha descrito anteriormente, a partir de una visita de campo a la reserva natural de las Bardenas Reales de Navarra, se pretende instituir una conexión explícita con el contexto local de un centro IB de Navarra, dando voz al enfoque de enseñanza desarrollada en contextos locales y globales. Además, como se detalla detenidamente a continuación, los trabajos prácticos que se proponen después de la visita de campo se basan en los modelos de enseñanza basada en la indagación y en los conceptos. Se destaca también la importancia de la evaluación y de las interacciones para crear un oportunidades de aprendizaje óptimas y, por último, se subraya la necesidad imperativa de apostar por una educación inclusiva, específicamente en las ciencias.

### 4.1 Sobre complejidad, asequibilidad, y significatividad

*“La educación [...] se enfrenta con el más fundamental y general de los problemas: cómo abordar la complejidad”* (Perkins, 2010). Con esta frase, el ilustre D. Perkins sintetiza la esencia y el sentido de este TFM: cómo hacer las actividades prácticas en Ciencias, algo extremadamente complejo, asequibles a alumnos y alumnas. El concepto de asequibilidad se entiende en este TFM en tres niveles, descritos a continuación.

En primer lugar, a nivel cognitivo, hacer las prácticas asequibles significa proveer a los alumnos de andamios “removibles” para construir sus conocimientos. Es lo que se hace proponiendo niveles de indagación cada vez más complejos y abiertos. Ir abriendo los niveles de indagación no es otra cosa sino “enmarcar” (para usar las palabras de (Criswell, 2012) las acciones y los instrumentos al alcance de los alumnos, delimitando la carga cognitiva de las prácticas y dando tiempo a los alumnos para entender el funcionamiento y la utilidad de las herramientas que se usan en investigación. La técnica de andamiaje de las instrucciones integradas (Paterson, 2019) es otra manera de delimitar la carga cognitiva del alumnado durante las actividades prácticas y permitirles sacar el máximo partido de estas experiencias de aprendizaje.

En segundo lugar, las actividades prácticas se hacen asequibles también removiendo las barreras de aprendizaje, tanto para el alumnado con discapacidad y/o necesidades educativas como para los demás. Para ello, hay que tener presente las pautas de diversificación de la

enseñanza del DUA a la hora de planificar las actividades. En la programación didáctica de este TFM, se le propone al alumnado un abanico de actividades diferentes (como simulaciones con modelos físicos, simulaciones con ordenador, uso de vídeos, trabajo de campo, trabajo en laboratorio, trabajo cooperativo, trabajo individual, debate de clase) así como una gama de múltiples formas de expresar las competencias por parte de los alumnos (presentaciones orales, mapas conceptuales, informes escritos). Eso brinda a los alumnos la posibilidad de encontrar su forma óptima de expresión y aprendizaje, además de practicar y/o descubrir otras. Asimismo, permite la inclusión de alumnos con discapacidad, especialmente cuando se adaptan las actividades para satisfacer las necesidades específicas según el caso (por ejemplo, software específico de recogida de datos para los alumnos con baja visión; uso de pictogramas para los alumnos con espectro autista).

En tercer lugar, “asequibilidad” se entiende aquí también como contextualización y significatividad de las actividades. No por casualidad las prácticas que se proponen en este trabajo están estructuradas alrededor de una visita de campo inicial a un contexto local de Navarra, las Bardenas Reales. El propósito de esta visita inicial es que haga de estímulo para los alumnos, para que descubran una realidad de su territorio, e indaguen aspectos complejos y entrelazados con la sociedad y la naturaleza. Las Bardenas Reales parecen un contexto ideal para reflexionar sobre estos aspectos y el anhelo a la paz mundial expresado por los principios del IB, dada la presencia de un área de uso militar en el pleno corazón de la reserva – lo que se anima a hacer en el trabajo práctico n. 4. La contextualización en ámbitos locales y globales facilita, pues, la participación significativa y activa de los alumnos.

La significatividad desempeña un papel fundamental en cada actividad de aprendizaje. No puede darse un aprendizaje pleno si no es significativo, lo cual no significa sólo encontrar un contexto (un estímulo, como se decía), sino también proponer las actividades en forma de desafíos y problemas a resolver, lo que precisamente se hace aquí basándose en el modelo de enseñanza y aprendizaje centrados en la indagación. De nuevo, se reconoce la técnica de andamiaje del “enmarque”, esta vez de cara al contexto y a los objetivos. Las actividades prácticas presentadas aquí son en sí problemas a resolver, ya que parten todas de preguntas a investigar, que por su naturaleza constituyen retos a abordar.

Para usar otra vez las palabras de D. Perkins, los alumnos encuentran su aprendizaje significativo si se les permite “jugar al juego completo” (Perkins, 2010). En el ámbito de la

educación, el “juego completo” es otorgar a los alumnos la visión global de qué y por qué los alumnos están aprendiendo, y en este TFM eso se realiza haciendo particular hincapié en que los alumnos reflexionen sobre cómo se conducen las investigaciones científicas, sobre las multiplicidades de “métodos científicos” y, en definitiva, sobre la naturaleza de la Ciencia.

#### 4.2 Sobre la comprensión conceptual

“Jugar el juego completo” es también enseñar para la comprensión. La enseñanza centrada en la comprensión conceptual, uno de los seis enfoques de enseñanza del IB, aun suponiendo un desafío tanto para los alumnos como para los profesores, brinda a los alumnos la oportunidad de involucrarse de manera más profunda en el aprendizaje a nivel tanto intelectual como emocional. Basadas en la enseñanza para la comprensión, las actividades propuestas en este TFM además favorecen (Erickson, 2012):

- El pensamiento sinérgico: consiste en utilizar los conocimientos factuales como instrumento para alcanzar una comprensión más profunda de los temas disciplinares y generalizarlos a conceptos y principios. Aquí se realiza a través de las propias preguntas de investigación, que a partir de datos factuales (la concentración de sodio o el pH, además de los conocimientos técnicos necesarios para entenderlos) pretenden llegar a una visión global creando conexiones y viendo pautas entre conceptos e ideas (p. ej. la relación entre la dimensión del regolito, la erodibilidad, la desertización, y sus efectos sobre el ecosistema).
- La transferencia del aprendizaje a nuevos contextos: conceptos y principios pueden transferirse a nivel interdisciplinario, y así facilitar la transferencia de conceptos a contextos globales, en tiempos, culturas y situaciones distintas (lo que no se puede hacer con los conocimientos factuales). Aquí la transferencia del aprendizaje se fomenta, otra vez, con las preguntas de investigación, que a propósito conectan disciplinas distintas como la geografía, la geología, la ecología y la biología, además de, obviamente, la química.
- La construcción social del conocimiento y del significado: el trabajo y aprendizaje colaborativo permiten la producción de ideas nuevas gracias al andamiaje que personas distintas que trabajan juntas se ofrecen recíprocamente. Por eso en este trabajo tanto espacio se da al trabajo cooperativo.

La enseñanza centrada en la comprensión conceptual beneficia pues el desarrollo de las habilidades cognitivas (pensamiento crítico y creativo, reflexión) y de las metacognitivas (conecta la motivación para el aprendizaje con el grado de compromiso intelectual y emocional), favorece la mentalidad internacional (aborda contextos globales y promueve la transferencia del conocimiento a situaciones y culturales diferentes), ayuda la adquisición de idiomas y la fluidez lingüística (facilita la construcción de estructuras metalingüísticas y la comunicación intercultural), y apoya, entre otros, los atributos del perfil de aprendizaje IB trabajados en este plan: Indagadores, Informados e Instruidos, Pensadores, Buenos Comunicadores (Erickson, 2012).

#### 4.3 Sobre la indagación y la naturaleza de la ciencia

La indagación es un elemento esencial de la filosofía de enseñanza y aprendizaje IB, y eso se refleja en sus enfoques de enseñanza. Los trabajos prácticos en lo específico tal vez representen la quintaesencia de la indagación en el ámbito educativo, que en este TFM se modelan según el funcionamiento “real” de la investigación científica. Así pues, siguiendo el modelo recomendado por Manz y colaboradores (Manz et al., 2020), los trabajos prácticos propuestos aquí se estructuran a partir del desarrollo y comprensión de modelos empíricos, haciendo hincapié en las relaciones que surgen en cada actividad práctica entre los modelos conceptuales (p. ej. las asunciones y simplificaciones detrás de un experimento) y los datos recogidos (p. ej. la concentración de determinadas especies químicas), y cómo éstos ayudan la comprensión de los fenómenos naturales (p. ej. la erodibilidad y la desertización). La posibilidad que se les brinda a los alumnos de reflexionar sobre sus prácticas, y mejorar sus metodologías de indagación (como en el trabajo práctico n. 4) sirve además a desarrollar los modelos de datos, concienciando a los alumnos sobre cómo y qué datos generar, así favoreciendo un sentido de los límites de los modelos empíricos por la incertidumbre que conlleva cualquier práctica científica.

Estructurar los trabajos prácticos según el modelo de Manz et al. (Manz et al., 2020), además de ser una concreción de la Ciencia basada en la práctica, permite tanto a los alumnos como al profesor operar el ciclo de enseñanza de indagación-acción-reflexión, tan arraigado en todo el sistema del IB. Al respecto, llama la atención que los componentes troncales del núcleo del Programa del Diploma reflejen este ciclo de indagación-acción-reflexión. Así pues, la Monografía representaría el componente de indagación, siendo una investigación autónoma

llevada a cabo por el alumno; el CAS representaría obviamente la acción; y el TOK representaría la reflexión, dando el alumno voz a cuestiones epistemológicas sobre las formas del conocimiento (en este caso, de la ciencia).

Cada profesor es también profesor de Teoría del Conocimiento. De cara a esta visión, los trabajos prácticos planteados en este TFM dan a los alumnos algo para reflexionar en este sentido. El trabajo práctico n. 3, por ejemplo, se centra en la incertidumbre ínsita en las mediciones científicas, con lo cual se puede animar a los alumnos a reflexionar a través de preguntas como: “*¿Qué papel tienen las expectativas y percepciones de los científicos en la investigación?*”. Asimismo, el trabajo práctico n. 4, que conlleva un mayor esfuerzo creativo dado que los alumnos tienen que encontrar una metodología de indagación, puede servir de base para preguntas como: “*¿En qué medida la imaginación influye en las ciencias?*”. Estas consideraciones epistémicas, además, ayudan a los alumnos a cuestionar la visión del método científico como una lista de pasos a seguir, favoreciendo en su lugar la concepción de la ciencia como un conjunto de ideas explicativas y procesos complejos que, a raíz de teorías y modelos, utilizamos para interpretar el mundo natural en que vivimos (Romero-Ariza, 2017). Por eso es valioso estructurar la programación didáctica teniendo en cuenta el modelo de “*Understanding Science: how science really works*”, visto anteriormente (cfr. Figura 2-1).

Desde el punto de vista de los alumnos, su interés y motivación aumentan gracias a la enseñanza basada en la indagación, y estudios apuntan a que enfoques como la indagación guiada promueven el aprendizaje significativo, acercando su percepción de la química a sus entornos cotidianos (Tortosa, 2012), y fomentan los aspectos afectivos y emocionales de la esfera metacognitiva (Aramendi Jauregui et al., 2017).

Para alcanzar todo esto, los docentes de ciencias tenemos la obligación de seguir desarrollándonos profesionalmente a lo largo de la vida, si queremos instilar en nuestros alumnos una visión de la Ciencia basada en ciclos de indagación-acción-reflexión, y proporcionarles una alfabetización científica y comprensión de la naturaleza de la ciencia que les permita crecer adquiriendo una “*ciudadanía competente científicamente*” (Tortosa, 2012), o sea como individuos críticos, informados y funcionales en la sociedad de hoy, basada en avances científicos.

La formación inicial de los futuros docentes en enfoques de enseñanza basados en la indagación, así como la epistemología (es decir, la reflexión explícita) sobre estos enfoques constituyen aspectos clave para poder enseñar las ciencias promoviendo la indagación y volviendo la materia más cercana y significativa al contexto de los alumnos (Martínez-Chico et al., 2014) (Aramendi Jauregui et al., 2017). Reflexionar sobre estos enfoques de enseñanza requiere también tomar conciencia sobre los aspectos que más suelen costar al alumnado, como por ejemplo el desarrollo de las habilidades de diseño de investigación, que implican habilidades como el planteamiento de hipótesis y de preguntas investigables, además de capacidades de inferencia y predicción (Sosa & Dávila, 2019). Otros autores apuntan también a la necesidad de hacer hincapié en las habilidades de razonamiento científico, la modelización, la argumentación, y la capacidad de identificar las variables, todos aspectos que, yendo más allá de las simples destrezas técnicas propias de las prácticas de laboratorio, comportan una actividad cognitiva superior y por lo tanto resultan arduos a los alumnos, que intentan crear modelos mentales de fenómenos naturales a través de la indagación científica (Tecpan & Hernández-Silva, 2017) (Romero-Ariza, 2017).

Por último, cabe subrayar que la preparación inicial y el desarrollo profesional de los docentes en temas de enseñanza centrada en la indagación es esencial también a la hora de homogeneizar este enfoque respecto a los tipos de intervenciones didácticas que se ejecutan. De hecho, según el estudio de Romero-Ariza (Romero-Ariza, 2017), actualmente en España esta multitud de intervenciones “*varían significativamente en el tipo de actividades llevadas a cabo por el alumnado, en su grado de autonomía y en el nivel de guía recibido*”, dificultando pues una evaluación clara sobre los efectos de este enfoque y, por consiguiente, sobre sus posibles mejoras. Parece entonces que en el contexto español tanto la investigación académica como la puesta en práctica de la enseñanza de la ciencia basada en “hacer ciencia” se encuentre todavía en un estado “embrionario”, a pesar de los numerosos estudios a nivel internacional sobre sus efectos positivos de cara a la mejora de las actitudes del alumnado ante la ciencia, a las sensaciones y emociones positivas que produce, y al evitar concepciones erróneas sobre las ciencias (Aguilera Morales et al., 2017).

#### 4.4 Sobre la evaluación

La evaluación es uno de los pilares de la pedagogía en los contextos IB, que la eleva a guía de la enseñanza y de la programación didáctica. En lo específico, es a través de la evaluación

formativa (continua a lo largo del curso, y con comentarios eficaces) que los alumnos pueden mejorar su aprendizaje, y de reflejo el profesor puede mejorar su enseñanza. Así pues, la evaluación es un instrumento tanto para mejorar la calidad de la enseñanza, como para los alumnos para desarrollarse como individuos mejores. Además, la evaluación sirve como herramienta de reflexión sobre lo aprendido para desarrollar la alfabetización científica en los alumnos (Romero-Ariza, 2017) y una correcta comprensión de la naturaleza de la ciencia.

En este TFM, se considera importante, de acuerdo con los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje, ofrecer a los alumnos una gama de maneras para expresarse y demostrar sus competencias, a través de una evaluación formativa variada. Es decir, no sólo por medio de informes escritos, sino también a través de presentaciones orales basadas en el trabajo cooperativo, mapas conceptuales, autoevaluaciones individuales por parte de los alumnos, y la evaluación del “perfil del alumno”. Todo esto rigurosamente enmarcado en los criterios de la evaluación interna, para guiar el trabajo de investigación final individual de la asignatura. A continuación se comentan brevemente las tipologías de evaluación propuestas en este TFM.

La autoevaluación pretende medir la capacidad del alumno de autoevaluar su aprendizaje, y está asociada al fomento del aprendizaje autorregulado y al desarrollo de competencias metacognitivas. La literatura abunda de estudios sobre la eficacia de la autoevaluación, no sólo como método evaluativo sino sobre todo como estrategia de aprendizaje que vuelve a los alumnos “aprendices a lo largo de la vida” (en inglés, *lifelong learners*). Que un alumno sea aprendiz a lo largo de la vida quiere decir que sea capaz de aprender autónomamente y autorregular su aprendizaje no sólo en la inmediatez de la carrera escolar o del curso específico, sino en su futuro de adulto responsable, crítico y activamente participe de la sociedad (Boud, 1995).

Obviamente, desarrollar actitudes y competencias para el aprendizaje autorregulado es clave también a la hora de emprender estudios universitarios. Por eso la autoevaluación como enfoque pedagógico es valiosa incluso para alumnos ya al final de su escolarización obligatoria como en el Programa del Diploma. Autoevaluarse (que es muy distinto a autocalificarse, donde el énfasis está en la nota final) pues es un proceso formativo que brinda a los alumnos la posibilidad de enfrentarse a su propio aprendizaje, y así de mejorar su aprendizaje a través de la reflexión y de la toma de conciencia sobre los factores metacognitivos en juego. De ahí que

la autoevaluación puede incluso incrementar el sentido de autoeficacia de los alumnos (Bourke, 2018).

Lo expuesto hasta ahora cabe bajo un concepto muy importante a la hora de planificar actividades que favorezcan la autoevaluación (y en general la evaluación formativa), que es el de “evaluación sostenible” (Boud & Soler, 2016). Haciendo eco al concepto de desarrollo sostenible, la evaluación sostenible va más allá del medir los resultados y formación del alumno en un determinado curso, "aquí y ahora", sino que pretende contribuir en que los alumnos desarrollen habilidades de autorregulación para sus necesidades de aprendizaje en el futuro, durante toda su vida. Si los profesores queremos instilar en nuestros alumnos dichas habilidades, que los sostengan en su recorrido de aprendizaje a lo largo de la vida para poder vivir y contribuir eficazmente en una sociedad compleja, hemos de tener muy bien en cuenta qué actividades incluir en nuestras planificaciones didácticas. La evaluación sostenible, pues, es una manera de interpretar la evaluación como un método para equipar a los alumnos con las habilidades de aprendizaje que necesitarán en su futuro. Al respecto, el IB habla de evaluación *del* aprendizaje (en lugar de *para* el aprendizaje), y puede tomar la forma de, además de autoevaluación, co-evaluación por pares (p. ej. en el trabajo cooperativo), evaluación de portafolio, discusión, y debates.

En pos del desarrollo de habilidades metacognitivas y de autorregulación del aprendizaje, resulta también esencial que los profesores contribuyamos a crear una cultura de aula que, a través de actividades de clase ricas y estimuladoras, mejore las propias habilidades de pensamiento y la “consciencia metacognitiva” del alumnado. Para ello, los mapas conceptuales constituyen una herramienta invaluable para hacer visible la estructura cognitiva de los alumnos y animarles a pensar sobre cómo piensan, además de poner el énfasis en el rol del alumno como agente epistémico de su conocimiento (Ritchhart et al., 2009). En sí, la creación de un mapa conceptual y reflexionar sobre su propio pensamiento puede servir también como ejercicio de apoyo al componente de Teoría del Conocimiento, y facilitar el desarrollo en los alumnos de atributos del perfil de aprendizaje del IB como Pensadores, Indagadores, Audaces (estos tres entre los propuestos en este TFM), y Reflexivos.

#### 4.5 Sobre la importancia de las relaciones

A lo largo de este TFM, se ha subrayado en varias ocasiones la importancia de promover en la clase una comunicación significativa, activa y participativa para facilitar la comprensión y construcción de significado por los alumnos. El IB, desde una óptica constructivista de interdependencia social positiva, hace mucho hincapié en la construcción social del conocimiento y del significado, considerando este aspecto como uno de los enfoques de enseñanza y aprendizaje fundamentales (enseñanza centrada en el trabajo en equipo y la colaboración eficaces; habilidades de comunicación; habilidades sociales).

La interdependencia social positiva es una teoría de la psicología educativa que sostiene que, a diferencia del aprendizaje competitivo-individualista, los resultados de aprendizaje individuales se potencian cuando las acciones individuales están dirigidas a alcanzar objetivos de grupo, es decir, cuando *“los individuos procuran obtener resultados que sean beneficiosos para ellos mismos y para todos los demás miembros del grupo”* (Johnson et al., 2008). A la luz de esta teoría se ha ido difundiendo, desde los años '80, la difusa técnica del aprendizaje cooperativo, donde las acciones individuales de los alumnos se estructuran en un marco de responsabilidad individual, interacciones positivas, y elaboración y gestión grupal del aprendizaje. Así, los alumnos tienden a mejorar su rendimiento y productividad, sus capacidades de pensamiento de orden superior, su motivación y habilidades emocionales, así como su autoconfianza, autoestima, y autonomía (Johnson & Johnson, 2009). Todos estos beneficios, claro está, requieren de los alumnos la práctica y el desarrollo de habilidades sociales, que son la base del trabajo cooperativo. De ahí la necesidad de que el profesor fomente y mantenga un clima de clase socialmente positivo, de comunicación continua, honesta y abierta entre todos sus miembros.

Cabe destacar, en fin, que estructurar las relaciones entre alumnos en forma de trabajo cooperativo es una manera de enmarcar las relaciones en un andamio de aprendizaje, según la *“técnica del enmarque”* ya anteriormente mencionada (Criswell, 2012), especialmente útil en un contexto cognitivamente complejo y desafiante como el del laboratorio de química donde las interacciones entre alumnos, si se dejan desestructuradas, pueden desviar la atención del alumnado.

#### 4.6 Sobre educación inclusiva y mentalidad internacional

Como se ha visto anteriormente, la mentalidad internacional es el pilar de la educación IB, y tiene que ver con el fomento de una actitud de aceptación y valoración de las culturas, idiomas, y valores a nivel transnacional. El respeto y no discriminación de los demás también implican una postura de paz y convivencia tanto en el contexto mundial como en el local, y en educación sólo se puede realizar a partir de un ambiente educativo inclusivo.

La educación inclusiva apunta a que los alumnos y alumnas con discapacidad y/o dificultades de aprendizaje puedan tener acceso al currículo, alcanzando todos los objetivos didácticos y participando plenamente en todas las actividades programadas. En pos de realizar este objetivo, obviamente hay que poner en práctica adaptaciones que tengan en cuenta cada caso, y diseñar la programación didáctica en función de la inclusión, por ejemplo a través del DUA. Esto es, además, uno de los enfoques fundamentales de enseñanza del IB, que debe ser “*diseñada para eliminar las barreras para el aprendizaje*” y “*crear oportunidades de aprendizaje para todos*” (Organización del Bachillerato Internacional, 2019d). Dichas adaptaciones aportan, por un lado, un abanico de beneficios a los alumnos con necesidades educativas específicas o especiales (NEE) (Sharma & Mahapatra, 2007): a nivel comportamental, reduciendo conductas disruptivas o inadecuadas; a nivel emotivo, mejorando la creación de objetivos de aprendizaje auto-impuestos; a nivel social, mejorando las relaciones y amistades entre pares y con los profesores; y a nivel cognitivo, favoreciendo la adquisición de habilidades y competencias. Por otro lado, también el alumnado sin NEE se ve beneficiado por un ambiente inclusivo, especialmente de cara a la comprensión, aceptación y valoración de la diversidad, y de ahí al respeto para cada individuo en una sociedad diversa (Sharma & Mahapatra, 2007).

A pesar de estos obvios beneficios, además de la riqueza que supone la diversidad tanto en ambientes académicos como laborales, resulta desconcertante que al día de hoy la inclusión en educación no sea un aspecto atendido universalmente en cualquier colegio. Y las razones son aún más desconcertantes: a partir de una actitud negativa de la sociedad (y a veces de los profesores) hacia personas con NEE, hasta la presencia de barreras, físicas o estructurales, contra la inclusión (como rigidez de los currículos o falta de formación adecuada de los profesores). En su reciente revisión sistemática de la literatura sobre la educación inclusiva, Van Mieghem y colaboradores (Van Mieghem et al., 2020) ponen de manifiesto que, a pesar de que los profesores sean la clave para promover y realizar la educación en las aulas, en varias

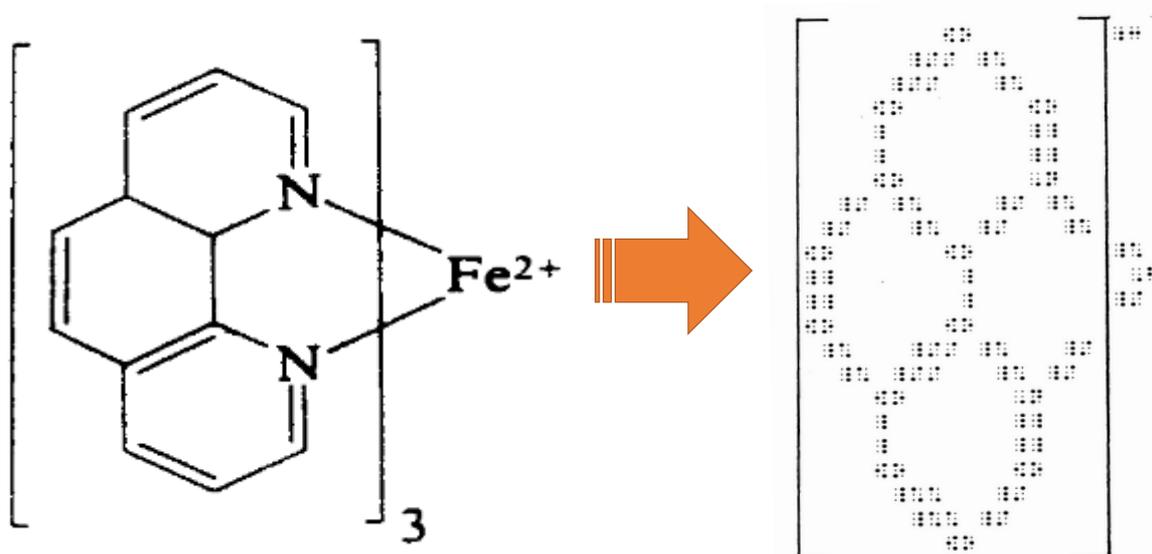
ocasiones justo ellos suelen ser reacios a la inclusión del alumnado con NEE. Para obviar a este fenómeno que me atrevería a definir dramático, y garantizar la plena participación social y académica de los alumnos con NEE, los autores señalan la importancia del desarrollo profesional del profesorado para adquirir estrategias pedagógicas específicas en tema de inclusión y de discapacidad en educación, además de proveer las aulas de profesores de apoyo al alumnado. Cabe destacar, además, la importancia de la participación de los alumnos sin NEE en las actividades de apoyo a los compañeros con NEE a través de trabajo cooperativo o “tutoría entre pares”, lo que, además de concretar uno de los enfoques de enseñanza del IB (enseñanza centrada en el trabajo en equipo y la colaboración eficaces), favorece la adquisición de habilidades sociales-emocionales en ambas categorías de alumnos. Se desprende, pues, que la inclusión es una responsabilidad compartida de toda la comunidad de aprendizaje de alumnos, profesores, familias, y equipos directivos. Especialmente estos últimos tienen la gran responsabilidad de abordar la inclusión de forma explícita en los PECs y en la filosofía educativa de sus centros, lo que además promueve un sentido de autoeficacia y realización en los profesores involucrados en la inclusión.

Se ha mencionado que el hecho de conocer las discapacidades y las dificultades de aprendizaje sea un elemento clave para la inclusión. Sin embargo, es la voluntad de los profesores y de los centros lo que puede realmente hacer la diferencia para lograr una educación inclusiva. Los educadores debemos mantenernos al día sobre las posibilidades educativas para los alumnos con NEE, además de estructurar y planificar nuestras unidades didácticas y actividades para tener en cuenta la atención a la diversidad. Respecto al tema de la baja visión, por ejemplo, existen numerosas iniciativas<sup>10</sup> que se ocupan de realizar adaptaciones de materiales didácticos, como libros en Braille, crear imágenes y gráficas táctiles y en relieve (incluso formulas químicas escritas en Braille, como la de Figura 4-1), o, en el caso específico de la química, diseñar “tecnologías accesibles” como sensores que traducen cambios de colores en sonidos. También es posible planificar adaptaciones a la hora de utilizar simulaciones de química para mejorar la comprensión conceptual de la química en alumnos con baja visión (Wedler et al., 2012).

---

<sup>10</sup> Cfr. la holandesa Dedicon (<https://goedekennis.dedicon.nl/visuele-beperking>), la estadounidense inABLE (<https://inable.org/>) o el proyecto español Astronomía Accesible (<http://astroaccesible.iaa.es/>).

Figura 4-1: Representación Braille del complejo de hierro con 1,10-fenantrolina, un común indicador redox, según el Braille Code of Chemical Notation (1997), <http://www.brl.org/chemistry/rule04.html>.



Sin embargo, muchas veces no necesitamos recursos especiales o tecnologías avanzadas para incluir a personas con discapacidad o dificultades de aprendizaje: basta con tener la conciencia, voluntad y creatividad de adaptar las experiencias de aprendizaje a cada caso específico, y eso (casi) a coste cero. De nuevo respecto a la baja visión, por ejemplo, en el ámbito de la seguridad en el laboratorio de química, se pueden disminuir las concentraciones de los reactivos para que los alumnos con baja visión puedan manejarlos sin peligro. Otros ejemplos de adaptación de las prácticas de laboratorio a la baja visión, que muy bien pueden aplicarse también en todos los trabajos prácticos propuestos en este TFM, son: el uso de pH-metros en lugar de valoraciones colorimétricas; diseñar las experiencias para que los alumnos usen el olfato o el sonido, en vez de la visión; medir volúmenes en cilindros con la ayuda de “boyas” que floten en la superficie; etiquetar los reactivos en Braille, y los reactivos peligrosos con papel de lija; marcar la cristalería de laboratorio con signos en relieve; marcar los botones del teclado o de los instrumentos para que sean reconocibles al tacto, por ejemplo con pegamento termofusible. Estas y muchísimas más adaptaciones se encuentran en el manual para la enseñanza de la química a alumnos con discapacidad del Comité de los Químicos con Discapacidades de la Sociedad Química Americana (Pagano & Ross, 2015).

En este TFM, todas las actividades prácticas pueden ser adaptadas para incluir alumnos con discapacidad o dificultades de aprendizaje: a partir del estudio de las Bardenas Reales con modelos 3D (que puede beneficiar a alumnos con baja visión, o a aquellos con un estilo de

aprendizaje más táctil o visual como los alumnos con dislexia), hasta el uso de instrucciones integradas con pictogramas (que pueden ser beneficiosos para los alumnos con trastorno del espectro autista, o de nuevo para alumnos con dislexia dado el reducido contenido de texto). Además, las prácticas de laboratorio en sí pueden adaptarse teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en el párrafo anterior.

En definitiva, cabe subrayar, otra vez, que la educación inclusiva fomenta la mentalidad internacional respecto a valores cuales el respeto, la aceptación y la valoración de lo diverso. A ello se suman las conexiones explícitas a cuestiones de transnacionalidad con los temas curriculares tratados en este TFM (Organización del Bachillerato Internacional, 2014e), como el uso del Sistema Internacional de Unidades (Subtema 1.3), la presencia de organizaciones internacionales (ISO, IUPAC) para la estandarización en la química y en la ciencia (Subtema 11.1), y el uso de gráficos, que van más allá de lenguaje específicos, así facilitando la comunicación entre los científicos a nivel internacional (Subtema 11.2).

#### 4.7 Fortalezas y debilidades de este plan de trabajos prácticos

Como se ha visto detenidamente, una de las características distinguidas del modelo de enseñanza y aprendizaje del IB es el ciclo de indagación-acción-reflexión, practicado no sólo por los alumnos, sino también por los docentes, que así ejercen su función de modelado. La reflexión sobre la práctica, la programación didáctica, y los resultados de la evaluación de los alumnos es una parte esencial de la labor docente a fin de mejorar continuamente el proceso educativo. De acuerdo con este principio, a continuación se proponen aquellos que se consideran los puntos fuertes y débiles del presente plan de trabajos prácticos, suponiendo su puesta en práctica en un contexto real, y proponiendo elementos de mejora según proceda.

En primer lugar, se considera una fortaleza de este trabajo el hecho de ser una concreción de la enseñanza diferenciada. En efecto, no solamente se han planificado varias actividades prácticas que abarcan múltiples maneras de representación y expresión de los contenidos y competencias (con particular énfasis en el trabajo cooperativo), tanto por parte del alumnado como del propio docente, sino que en cada actividad práctica se plantean un mínimo de dos preguntas investigables a elección de los alumnos, lo que favorece su interés y motivación. Además, las actividades aquí propuestas son en sí mismas fácilmente *diferenciables*, en razón del alumnado y de sus necesidades educativas concretas. Este último aspecto se debe también

a la organización que se ha elegido dar a los trabajos prácticos, es decir, a partir de una indagación por confirmación, hasta una indagación estructurada, con niveles de complejidad y desafío cognitivo crecientes. Este tipo de andamiaje provee al profesor una plantilla a seguir para modificar, si necesario, las actividades y respetar el nivel de dificultad de cada etapa.

Es destacable, además, el énfasis puesto en la atención a la diversidad del alumnado, a posibles discapacidades y/o dificultades de aprendizaje (como baja visión, espectro autista, dislexia). En una posible aplicación de este plan de trabajo práctico, las adaptaciones adoptadas en cada caso específico pueden incluso servir como punto de reflexión para el alumnado sobre la diversidad en la ciencia, tanto dentro como fuera del aula y del laboratorio, y eso se puede trasladar a experiencias de CAS<sup>11</sup>.

Otro punto de fuerza que se aprecia en esta programación es la relación con el contexto local de las Bardenas Reales (suponiendo su aplicación en un centro escolar situado en Navarra). De hecho, todos los trabajos prácticos propuestos en este TFM tienen relación directa con la primera visita de campo inicial a las Bardenas, lo que permite a los alumnos ubicarse fácilmente a lo largo del DP respecto a los propósitos con que se los anima a realizar los trabajos prácticos. Asimismo, esto les brinda la posibilidad de realizar conexiones interdisciplinarias, ya que muchos temas que hacen de hilo a este plan trascienden el curso de química (por ejemplo: desertización y suelos; uso humano del territorio y aspectos éticos relacionados; historia geológica y humana del lugar; ecosistema y clima específico).

Por último, se destaca la relación explícita con los criterios de evaluación interna del curso de química del DP, que guía tanto el tipo de actividades prácticas a realizar como sus sesiones preparatorias. De ahí el hincapié que se hace en la fiabilidad de las fuentes de información (criterio de Evaluación), en la interpretación de tablas de datos y en la incertidumbre y errores en las mediciones (criterio de Análisis), en la seguridad en el laboratorio, en las preguntas investigables, en la reproducibilidad de la metodología (criterio de Exploración), y por último, si bien no menos importante, en la redacción precisa y rigurosa de informes de laboratorio (criterio de Comunicación y de Compromiso Personal). Todo esto, además de fomentar el

---

<sup>11</sup> Véanse, por ejemplo, las WebQuests realizadas por el mismo autor sobre la inclusión de alumnos con baja visión (<https://elearning.easygenerator.com/6b63e3ad-293d-4405-a267-bbc0c2d65a2d>) o dislexia (<https://elearning.easygenerator.com/6b4cdb5d-e0ab-4b4c-a490-94162e36d8e3>) en las prácticas de laboratorio de química.

desarrollo de habilidades de investigación y pensamiento crítico, se pone en relación directa con la Teoría del Conocimiento, sirviendo de apoyo para este componente troncal del DP.

A pesar de las posibles ventajas que se vislumbran a la hora de aplicar este plan de trabajos prácticos en un contexto real, también se reconocen un número de desafíos y posibles dificultades que podrían constituir puntos débiles de la programación, y que por lo tanto son susceptibles de mejora.

Antes de nada, se podría considerar una limitación el hecho de que el material de la mayor parte de las actividades del plan de trabajos prácticos, a lo largo de los dos años del DP, proviene enteramente de las muestras de suelo recogidas en la visita de campo inicial, la cual no se puede volver a realizar por cuestiones de tiempo. Sin duda, a medida que se avance en el currículo de los dos años podrían surgir dificultades: por ejemplo, los alumnos podrían darse cuenta de que las muestras debían de ser recogidas de manera diferente, o que, a causa de modificaciones de los experimentos, harían falta materiales distintos. Mientras por un lado estas consideraciones podrían perjudicar la visión global de este plan y sus relaciones con el contexto global, por otro lado constituyen también óptimas ocasiones como para practicar la creatividad y el pensamiento crítico (por parte tanto de los alumnos como del profesor). Además, la flexibilidad y variedad de las actividades propuestas permiten cambiar la planificación donde sea necesario, contando también con contribuciones por parte del alumnado, que aumentarían la significatividad de su trabajo.

En segundo lugar, se reconoce que algunas de las experiencias de laboratorio de este plan, aun siendo previstas por el currículo, conllevan una complejidad notable, respecto tanto al tratamiento de las muestras (por ejemplo, la disolución ácida del suelo) como a las técnicas instrumentales, a nivel teórico y práctico, previstas para analizarlas (como la espectroscopía ICP-MS). Obviamente, su real viabilidad debe de tener en cuenta en primer lugar los recursos escolares y el equipamiento de laboratorio, y luego el nivel efectivo del alumnado, sus conocimientos previos y necesidades educativas, y por supuesto sus actitudes y curiosidad hacia la materia. Sin embargo, es fácil idear trabajos alternativos, que a lo mejor comporten una dificultad técnica y/o teórica inferior, aunque cumplan con los requisitos del programa y las competencias esperadas en los alumnos. A título ejemplificativo, hay muchísimas actividades prácticas que se pueden realizar a partir de productos normales y corrientes de

supermercado, sin necesidad de laboratorios químicos particularmente bien equipados (Selinger & Barrow, 2017).

Otro punto digno de atención es que todas las medidas de atención a la diversidad propuestas (modelo de plástico de las Bardenas, sintetizadores vocales, materiales para discapacidades visuales, etc.) dependen, además de la voluntad del profesor y de los alumnos, de manera preponderante del propio centro escolar y su equipo directivo, así como del apoyo de las varias organizaciones (como la ONCE para el modelo de plástico). Mientras por una parte es verdad que la voluntad y conciencia individual del docente sobre el tema de la diversidad es la base fundamental para promover una educación inclusiva, los profesores debemos necesariamente contar con el apoyo y los recursos de la estructura escolar para garantizar una acción educativa eficaz a la hora de incluir a alumnos con discapacidad y/o dificultades de aprendizaje. De todas formas, la educación inclusiva en sí no requiere de grandes presupuestos, ni es únicamente responsabilidad de los colegios (Mariga et al., 2014): la participación comunitaria y de las familias es crucial, y los profesores tenemos el poder de influir en estas últimas concienciándolas sobre estos temas.

Finalmente, es importante señalar que, aunque se haya intentado ajustarse a los criterios de evaluación interna del DP en cada actividad práctica propuesta, en realidad no todas son estrictamente evaluables según estos criterios. La razón es que la evaluación interna mide específicamente las competencias del alumno para llevar a cabo una investigación abierta, lo que se refleja especialmente en los criterios de Compromiso Personal y Exploración (ver criterios 1.2, 2.1, 2.2 en la Tabla 7-1 en Anexos) donde se pone el énfasis en la habilidad de encontrar un contexto adecuado de investigación y preguntas investigables. Teniendo los trabajos prácticos de este TFM como objetivo el de preparar a los alumnos a la evaluación interna, obviamente muchos de ellos no pueden evaluarse al 100% con tales criterios. De ahí la necesidad de adaptar la rúbrica general de evaluación de la Tabla 7-1 (en Anexos) a las características de cada trabajo, seleccionando solo algunos de los criterios totales, como se evidencia en la Tabla 3-1. Esto es particularmente evidente en la evaluación de la visita de campo, donde sólo dos criterios pueden ser utilizados para la evaluación. Sin embargo, lejos de ser una limitación, se considera que este tipo de evaluación, que de nuevo sigue una “estructura a andamios”, pueda beneficiar a los alumnos que van acostumbrándose poco a poco la complejidad del trabajo de investigación individual que es la evaluación interna, y de ahí a uno de los componentes troncales del DP que es la Monografía.

## 5 Conclusiones

En este TFM se ha desarrollado un plan de trabajos prácticos para la asignatura de química del Programa del Diploma del Bachillerato Internacional, un programa educativo pre-universitario estimulador a la vez que desafiante, cuya implementación, incluso en el contexto español, sigue aumentando tanto en los centros públicos como en los privados y/o concertados (Valle et al., 2017).

El plan de trabajos prácticos es la programación didáctica de las actividades prácticas llevada a cabo por el docente del curso, y su importancia reside en la indagación y en la ciencia basada en la práctica enfatizadas por el IB. Así, pues, las actividades propuestas pretenden brindar a los alumnos y alumnas la posibilidad de “hacer ciencia” y de ahí desarrollar una comprensión correcta de la naturaleza de la Ciencia. De esta manera, de acuerdo con el modelo de enseñanza y aprendizaje basados en el ciclo de indagación-acción-reflexión, los alumnos pueden vivir en primera persona la interpretación dinámica e investigativa del método científico, conectando sus experiencias a aspectos epistemológicos de la Ciencia, y así desarrollando habilidades de investigación, de pensamiento, de comunicación, de autogestión, y sociales.

Respecto a las habilidades sociales, se destaca su relevancia a la hora de apreciar la relaciones alumnos-alumnos y alumnos-profesor como experiencias de aprendizaje. Por eso, dada la importancia en general de la construcción social del conocimiento y del significado, y en particular de la colaboración científica en un contexto como el de química, se da en este plan de actividades prácticas mucho relieve al trabajo cooperativo, que además está relacionado a un aprendizaje pleno y significativo por parte de los alumnos.

El aprendizaje significativo, un corolario del “jugar el juego completo”, se puede alcanzar teniendo en cuenta una serie de factores según los cuales estructurar y guiar la enseñanza (uno de ellos siendo el ya mencionado aprendizaje y enseñanza basados en la indagación), concretados por el IB en una serie de enfoques de enseñanza. En primer lugar, la enseñanza para la comprensión, basada en las ideas y los conceptos, así como la modelización (cfr. empíricos) y la argumentación. En segundo lugar, la enseñanza desarrollada en contextos locales y globales, como el de las Bardenas Reales de Navarra, alrededor de las cuales se basan todos los trabajos prácticos propuestos. En tercer lugar, la enseñanza guiada por la evaluación,

entendida como evaluación *para* el aprendizaje y no *del* aprendizaje. De cara al poder formativo de la evaluación, a propósito se han estructurados los trabajos prácticos según los criterios de la evaluación interna de la asignatura, para preparar a los alumnos al pensamiento crítico y a las habilidades de investigación, respetando los atributos del perfil de aprendizaje del IB.

Los atributos del perfil de aprendizaje del IB, además de estar relacionados con la significatividad del aprendizaje, tienen que ver con una visión holística de la educación. Esto se refleja en las áreas de desarrollo fomentadas por los cinco atributos que mayormente se trabajan en este plan: el área social-cultural (Audaces), el afectivo-emocional (Buenos Comunicadores), el cognitivo-intelectual (Pensadores, Informados e Instruidos), y el metacognitivo-personal (Indagadores). Especialmente el área de desarrollo metacognitivo ocupa un lugar especial en la educación, tanto IB como no IB, tal como la importancia de que toda la comunidad de aprendizaje sea formada por individuos con ganas de aprender a lo largo de toda la vida. De ello se desprende también la necesidad de un desarrollo profesional continuo por parte de los educadores.

Un aspecto esencial que se quiere destacar de este TFM es su inspiración a la enseñanza diseñada para eliminar las barreras para el aprendizaje, lo que se traduce en hacer el aprendizaje asequible a todo tipo de alumno. Con la conciencia de que la educación inclusiva y la atención a la diversidad dependen muchas veces de la buena voluntad del profesor, esta propuesta de trabajos prácticos pretende dar prueba de que cada actividad didáctica puede y debe ser diseñada para eliminar las barreras de aprendizaje. Antes de nada, planificando las sesiones teniendo en cuenta los principios de buenas prácticas del IB y el Diseño Universal para el Aprendizaje, diferenciando tanto la enseñanza como la evaluación. En segundo lugar, garantizando la asequibilidad también cognitiva del aprendizaje, partiendo de la ya mencionada contextualización local para aumentar la significatividad, y a través de técnicas de andamiaje y niveles de investigación.

*“La educación es un acto de esperanza ante un futuro constantemente incierto”* (Organización del Bachillerato Internacional, 2015b). Precisamente debido a esa incertidumbre del mañana, con el fin último de alcanzar la felicidad y un mundo de paz, necesariamente los educadores debemos centrarnos en infundir en los jóvenes, que tenemos la responsabilidad y el privilegio

de educar, valores universales de solidaridad, compasión, avidez de conocimiento, entendimiento y respeto del género humano.

## 6 Bibliografía

- Aguilera Morales, D., Martín Páez, T., Valdivia Rodríguez, V., Ruiz Delgado, Á., Vílchez González, J. M., Perales Palacios, F. J., & Williams Pinto, L. (2017). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Revista de Educación*, 381. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388>
- Allan, M. (2011). *Thought, word and deed: The roles of cognition, language and culture in teaching and learning in IB World Schools*. International Baccalaureate Organization.
- Aramendi Jauregui, P., Arburua Goienetxe, R. M., & Buján Vidales, K. (2017). El aprendizaje basado en la indagación en la enseñanza secundaria. *Revista de Investigación Educativa*, 36(1), 109. <https://doi.org/10.6018/rie.36.1.278991>
- Aronson, E., Blaney, N., Stephan, C., Sikes, J., & Snapp, M. (1978). *The jigsaw classroom*. Sage.
- Banchi, H., & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and children*, 46(2), 26.
- Boud, D. (1995). *Enhancing learning through self assessment*. Kogan Page.
- Boud, D., & Soler, R. (2016). Sustainable assessment revisited. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 41(3), 400-413. <https://doi.org/10.1080/02602938.2015.1018133>
- Bourke, R. (2018). Self-assessment to incite learning in higher education: Developing ontological awareness. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 43(5), 827-839. <https://doi.org/10.1080/02602938.2017.1411881>
- Brigham, F. J., Scruggs, T. E., & Mastropieri, M. A. (2011). Science Education and Students with Learning Disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice*, 26(4), 223-232. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2011.00343.x>
- Bullock, K. (2010). *International Baccalaureate learner profile: Literature review*. International Baccalaureate Organization.
- Burke, K. A., Greenbowe, T. J., & Hand, B. M. (2006). Implementing the Science Writing Heuristic in the Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 83(7), 1032. <https://doi.org/10.1021/ed083p1032>
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218. <https://doi.org/10.1002/sce.10001>

- Clough, M. P. (2002). Using the laboratory to enhance student learning. En R. W. Bybee (Ed.), *Learning science and the science of learning* (pp. 85–94). National Science Teachers Association.
- Coffin, D. E. (1963). A method for the determination of free iron in soils and clays. *Canadian Journal of Soil Science*, *43*(1), 7-17. <https://doi.org/10.4141/cjss63-002>
- Criswell, B. (2012). Framing Inquiry in High School Chemistry: Helping Students See the Bigger Picture. *Journal of Chemical Education*, *89*(2), 199-205. <https://doi.org/10.1021/ed101197w>
- Davy, I. (2011). *Learners without borders: A curriculum for global citizenship*. International Baccalaureate Organization.
- Declaración Universal de Derechos Humanos, § 26 (1948).
- Desir, G., & Marín, C. (2013). Role of erosion processes on the morphogenesis of a semiarid badland area. Bardenas Reales (NE Spain). *CATENA*, *106*, 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.02.011>
- Dettmer, S., Simpson, R. L., Myles, B. S., & Ganz, J. B. (2000). The use of visual supports to facilitate transitions of students with autism. *Focus on autism and other developmental disabilities*, *15*(3), 163–169.
- Eisenmann, M. A. (1980). Soil analysis for high school chemistry students. *Journal of Chemical Education*, *57*(12), 897. <https://doi.org/10.1021/ed057p897>
- Erhardt, W. (2007). Instrumental Analysis in the High School Classroom: UV–Vis Spectroscopy. *Journal of Chemical Education*, *84*(6), 1024. <https://doi.org/10.1021/ed084p1024>
- Erickson, H. L. (2012). *Concept-based teaching and learning*. International Baccalaureate Organization.
- Ferrés-Gurt, C. (2017). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *14*(2), 410–426.
- Hacking, E. B., Blackmore, C., Bullock, K., Bunnell, T., Donnelly, M., & Martin, S. (2018). International Mindedness in Practice: The Evidence from International Baccalaureate Schools. *Journal of Research in International Education*, *17*(1), 3-16. <https://doi.org/10.1177/1475240918764722>
- Hadinugrahaningsih, T., Rahmawati, Y., & Ridwan, A. (2017). *Developing 21st century skills in chemistry classrooms: Opportunities and challenges of STEAM integration*. 030008. <https://doi.org/10.1063/1.4995107>

- Hall, T. E., Meyer, A., & Rose, D. H. (2012). *Universal design for learning in the classroom: Practical applications*. Guilford Press.
- Hare, J. (2010). *Holistic education: An interpretation for teachers in the IB programmes*. International Baccalaureate Organization.
- Herrera, G., Casas, X., Sevilla, J., Rosa, L., Pardo, C., Plaza, J., Jordan, R., & Le Groux, S. (2012). Pictogram room: Natural interaction technologies to aid in the development of children with autism. *Annuary of Clinical and Health Psychology*, 8(2012), 39–44.
- Hill, I. (2003). The history of international education: An International Baccalaureate perspective. En M. Hayden, J. Thompson, & G. Walker (Eds.), *International Education in Practice: Dimensions for Schools and International Schools*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203416983>
- Hill, I. (2012). Evolution of education for international mindedness. *Journal of Research in International Education*, 11(3), 245-261. <https://doi.org/10.1177/1475240912461990>
- Hofstein, A. (2017). The Role of Laboratory in Science Teaching and Learning. En K. S. Taber & B. Akpan (Eds.), *Science Education: An International Course Companion* (pp. 357–368). SensePublishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8\\_26](https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_26)
- Holbrook, J., & Rannikmae, M. (2017). Context-Based Teaching and Socio-Scientific Issues. En K. S. Taber & B. Akpan (Eds.), *Science Education: An International Course Companion* (pp. 279–294). SensePublishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8\\_21](https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_21)
- Jeannis, H., Goldberg, M., Seelman, K., Schmeler, M., & Cooper, R. A. (2020). Barriers and facilitators to students with physical disabilities' participation in academic laboratory spaces. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 15(2), 225-237. <https://doi.org/10.1080/17483107.2018.1559889>
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An Educational Psychology Success Story: Social Interdependence Theory and Cooperative Learning. *Educational Researcher*, 38(5), 365-379. <https://doi.org/10.3102/0013189X09339057>
- Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Holubec, E. J. (2008). El concepto de aprendizaje cooperativo. En *El aprendizaje cooperativo en el aula* (p. 5). Paidós.
- Johnstone, A. H. (1997). Chemistry teaching-science or alchemy? *Journal of chemical education*, 74(3), 262.
- King-Sears, M. E., & Johnson, T. M. (2020). Universal Design for Learning Chemistry Instruction for Students With and Without Learning Disabilities. *Remedial and Special Education*, 074193251986260. <https://doi.org/10.1177/0741932519862608>

- Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, practical work and academic skills in science education. *Science & Education*, 1(3), 273–299.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1)
- Krathwohl, D. R., & Anderson, L. W. (2009). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Lee, O., Miller, E. C., & Januszyk, R. (2014). Next Generation Science Standards: All Standards, All Students. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 223-233. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9379-y>
- Manz, E., Lehrer, R., & Schauble, L. (2020). Rethinking the classroom science investigation. *Journal of Research in Science Teaching*, tea.21625. <https://doi.org/10.1002/tea.21625>
- Mariga, L., MacConkey, R., & Myezwa, H. (2014). *Inclusive education in low-income countries*. Atlas Alliance and Disability Innovations Africa.
- Martínez-Chico, M., López-Gay Lucio-Villegas, R., & Jiménez-Liso, M. R. (2014). La indagación en las propuestas de formación inicial de maestros: Análisis de entrevistas a formadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 591-608. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1376>
- Mastropieri, M. A., Scruggs, T. E., & Graetz, J. E. (2005). Cognition and Learning in Inclusive High School Chemistry Classes. En *Advances in Learning and Behavioral Disabilities* (Vol. 18, pp. 99-110). Emerald (MCB UP ). [https://doi.org/10.1016/S0735-004X\(05\)18005-7](https://doi.org/10.1016/S0735-004X(05)18005-7)
- Mayer, R. E. (2004). Should There Be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? *American Psychologist*, 59(1), 14-19. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.59.1.14>
- McCain, K. (2016). The Importance of Understanding the Nature of Scientific Knowledge. En K. McCain, *The Nature of Scientific Knowledge* (pp. 1-13). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-33405-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-33405-9_1)
- McGrath, A. L., & Hughes, M. T. (2018). Students With Learning Disabilities in Inquiry-Based Science Classrooms: A Cross-Case Analysis. *Learning Disability Quarterly*, 41(3), 131-143. <https://doi.org/10.1177/0731948717736007>

- Minner, D. D., Levy, A. J., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction-what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496. <https://doi.org/10.1002/tea.20347>
- Mujtaba, T., Sheldrake, R., Reiss, M. J., & Simon, S. (2018). Students' science attitudes, beliefs, and context: Associations with science and chemistry aspirations. *International Journal of Science Education*, 40(6), 644-667. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1433896>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). A New Vision of Science Teaching and Learning. En H. Schweingruber & N. Nielsen (Eds.), *Science Teachers' Learning: Enhancing Opportunities, Creating Supportive Contexts* (pp. 29-30). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/21836>
- National Research Council (Ed.). (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press.
- National Research Council (Ed.). (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18290>
- National Science Teachers Association. (2018). *Transitioning from Scientific Inquiry to Three-Dimensional Teaching and Learning*. [http://static.nsta.org/pdfs/PositionStatement\\_Three-DimensionalTeachingAndLearning.pdf](http://static.nsta.org/pdfs/PositionStatement_Three-DimensionalTeachingAndLearning.pdf)
- Organización del Bachillerato Internacional. (2005). *Principios y práctica del sistema de evaluación del Programa del Diploma*.
- Organización del Bachillerato Internacional. (2013a). Autismo. En *Respuesta a la diversidad de aprendizaje de los alumnos en el aula* (pp. 14-17). Organización del Bachillerato Internacional.
- Organización del Bachillerato Internacional. (2013b). Deficiencias visuales. En *Respuesta a la diversidad de aprendizaje de los alumnos en el aula* (pp. 23-25).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2014a). Evaluación interna. En *Programa del Diploma: Guía de Química (actualización de 2018)* (pp. 196-209).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2014b). Naturaleza de la ciencia. En *Programa del Diploma: Guía de Química (actualización de 2018)* (pp. 6-13).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2014c). Naturaleza de la química. En *Programa del Diploma: Guía de Química (actualización de 2018)* (pp. 14-18).

- Organización del Bachillerato Internacional. (2014d). Objetivos generales y Objetivos de evaluación. En *Programa del Diploma: Guía de Química (actualización de 2018)* (pp. 19-20).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2014e). Programa de estudios. En *Programa del Diploma: Guía de Química (actualización de 2018)* (pp. 38-188).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2014f). Requisitos y recomendaciones de seguridad. En *Programa del Diploma: Guía de Química (actualización de 2018)* (pp. 198-200).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2015a). Acerca del Programa del Diploma: Modelo del programa. En *El Programa del Diploma: De los principios a la práctica* (pp. 5-8).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2015b). Conclusión. En *¿Qué es la educación del IB?* (p. 10).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2015c). *Diploma Programme Approaches to teaching and learning website*. [https://ibpublishing.ibo.org/d\\_0\\_dpatl\\_gui\\_1502\\_1\\_e](https://ibpublishing.ibo.org/d_0_dpatl_gui_1502_1_e)
- Organización del Bachillerato Internacional. (2015d). Enfoques de la enseñanza y el aprendizaje en el Programa del Diploma. En *El Programa del Diploma: De los principios a la práctica* (pp. 72-89).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2015e). Los alumnos del IB y el perfil de la comunidad de aprendizaje. En *El Programa del Diploma: De los principios a la práctica* (pp. 9-10).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2015f). Los componentes troncales del Programa del Diploma. En *El Programa del Diploma: De los principios a la práctica* (pp. 70-71).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2016). *La diversidad en el aprendizaje y la inclusión en los programas del IB*.
- Organización del Bachillerato Internacional. (2019a). Declaración de principios del IB. En *¿Qué es la educación del IB?* (p. 1).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2019b). El perfil de la comunidad de aprendizaje del IB. En *¿Qué es la educación del IB?* (pp. 3-4).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2019c). La mentalidad internacional. En *¿Qué es la educación del IB?* (p. 2).
- Organización del Bachillerato Internacional. (2019d). Los enfoques de la enseñanza y el aprendizaje. En *¿Qué es la educación del IB?* (pp. 7-8).

- Organización del Bachillerato Internacional. (2020). *The IB Diploma Programme Provisional Statistical Bulletin: November 2019 Examination Session*.
- Pagano, T., & Ross, A. (2015). *Teaching Chemistry to Students with Disabilities: A Manual For High Schools, Colleges, and Graduate Programs* (D. L. Miner, R. Nieman, A. B. Swanson, K. Carpenter, & M. Woods, Eds.; 4.1). American Chemical Society's Committee on Chemists with Disabilities.
- Paterson, D. J. (2019). Design and Evaluation of Integrated Instructions in Secondary-Level Chemistry Practical Work. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2510-2517. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00194>
- Perkins, D. N. (2010). *Making Learning Whole: How Seven Principles of Teaching Can Transform Education*. Jossey Bass Inc.
- Ritchhart, R., Turner, T., & Hadar, L. (2009). Uncovering students' thinking about thinking using concept maps. *Metacognition and Learning*, 4(2), 145-159. <https://doi.org/10.1007/s11409-009-9040-x>
- Rodríguez-Oroz, D., Lasheras, E., Elustondo, D., & Garrigó, J. (2017). Assessment of Indexes for Heavy Metal Contamination in Remote Areas: A Case Study in a Pyrenean Forest, Navarra, Spain. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 98(1), 91-96. <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1972-7>
- 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.
- Rose, D. H., & Meyer, A. (2006). *A practical reader in Universal Design for Learning*. Harvard Education Press.
- Rusek, M., Chytrý, V., & Honskusová, L. (2019). The effect of lower-secondary chemistry education: students' understanding to the nature of chemistry and their attitudes. *Journal of Baltic Science Education*, 18(2), 286-299. <https://doi.org/10.33225/jbse/19.18.286>
- Selinger, B. K., & Barrow, R. (2017). *Chemistry in the marketplace* (Sixth edition). CSIRO Publishing.
- Sharma, K., & Mahapatra, B. C. (2007). *Emerging trends in inclusive education*. Sarup & Sons.
- Singh, M., & Qi, J. (2013). *21st century international mindedness: An exploratory study of its conceptualisation and assessment*. University of Western Sydney.

- Sosa, J., & Dávila, D. (2019). La enseñanza por indagación en el desarrollo de habilidades científicas. *Educación y Ciencia*, 23, 605-624.
- Sparks, D. L. (2003). The Chemistry of Saline and Sodic Soils. En *Environmental Soil Chemistry* (pp. 285-300). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012656446-4/50010-4>
- Stroupe, D. (2014). Examining Classroom Science Practice Communities: How Teachers and Students Negotiate Epistemic Agency and Learn Science-as-Practice: examining classroom science practice communities. *Science Education*, 98(3), 487-516. <https://doi.org/10.1002/sce.21112>
- Supalo, C. A. (2011). The Next Generation Laboratory Interface for Students with Blindness or Low Vision in the Science Laboratory. *Journal of Science Education for Students with Disabilities*, 16(1), 34-39. <https://doi.org/10.14448/jsesd.05.0004>
- Supalo, C. A., Isaacson, M. D., & Lombardi, M. V. (2014). Making Hands-On Science Learning Accessible for Students Who Are Blind or Have Low Vision. *Journal of Chemical Education*, 91(2), 195-199. <https://doi.org/10.1021/ed3000765>
- Tecpan, S., & Hernández-Silva, C. (2017). Aprendizaje por indagación para la construcción de arquetipos en física; el caso de un curso para formación de profesores en Chile. *Latin-American Journal of Physics Education*, 11(2), 20.
- Therrien, W. J., Taylor, J. C., Hosp, J. L., Kaldenberg, E. R., & Gorsh, J. (2011). Science Instruction for Students with Learning Disabilities: A Meta-Analysis. *Learning Disabilities Research & Practice*, 26(4), 188-203. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2011.00340.x>
- Tortosa, M. (2012). Aprendizaje sobre disoluciones reguladoras de ph mediante indagación guiada utilizando sensores. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(1), 189. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.744>
- Valle, J. M., Menéndez, M., Thoilliez, B., Garrido, R., Rappoport, S., & Manso, J. (2017). *Implementation and impact of the International Baccalaureate (IB) Diploma Programme (DP) in Spanish state schools*. Organización del Bachillerato Internacional.
- Van Mieghem, A., Verschueren, K., Petry, K., & Struyf, E. (2020). An analysis of research on inclusive education: A systematic search and meta review. *International Journal of Inclusive Education*, 24(6), 675-689. <https://doi.org/10.1080/13603116.2018.1482012>
- Vesterinen, V.-M., & Aksela, M. (2009). A novel course of chemistry as a scientific discipline: How do prospective teachers perceive nature of chemistry through visits to

- research groups? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 10(2), 132-141.  
<https://doi.org/10.1039/B908250F>
- Virto, I., Bescansa, P., & Imaz, M. J. (2007). *Riego con aguas residuales de la industria agroalimentaria y calidad del suelo en el valle del Ebro en Navarra, España*. 13.
- Watt, S. J., Therrien, W. J., Kaldenberg, E., & Taylor, J. (2013). Promoting inclusive practices in inquiry-based science classrooms. *Teaching Exceptional Children*, 45(4), 40–48.
- Wedler, H. B., Cohen, S. R., Davis, R. L., Harrison, J. G., Siebert, M. R., Willenbring, D., Hamann, C. S., Shaw, J. T., & Tantillo, D. J. (2012). Applied Computational Chemistry for the Blind and Visually Impaired. *Journal of Chemical Education*, 89(11), 1400-1404. <https://doi.org/10.1021/ed3000364>
- Wells, R., & Kommers, S. (2020). Graduate and Professional Education for Students with Disabilities: Examining Access to STEM, Legal, and Health Fields in the United States. *International Journal of Disability, Development and Education*, 1-15.  
<https://doi.org/10.1080/1034912X.2020.1726299>
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>
- Yeşiloğlu, S. N., & Köseoğlu, F. (2020). Epistemological problems underlying pre-service chemistry teachers' aims to use practical work in school science. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(1), 154-167.  
<https://doi.org/10.1039/C8RP00212F>
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172-223.  
<https://doi.org/10.1016/j.dr.2006.12.001>

## 7 Anexos

### 7.1 Rúbricas de evaluación

Tabla 7-1: Rúbrica de evaluación de los trabajos prácticos según los criterios de la evaluación interna (Organización del Bachillerato Internacional, 2014a).

Criterios		Puntuación según descriptores			
		2	1	0	
1. Compromiso personal	1.1	Las pruebas que demuestran el compromiso personal con la exploración son claras, con un grado significativo de pensamiento independiente, iniciativa o creatividad.	Las pruebas que demuestran el compromiso personal con la exploración son limitadas, con poco pensamiento independiente, poca iniciativa o poca creatividad.	El informe del alumno no alcanza ninguno de los niveles especificados por los descriptores que figuran anteriormente.	
	1.2	<del>La justificación aportada para elegir la pregunta de investigación y/o el tema que se investiga demuestra interés, curiosidad o importancia de índole personal.</del>	<del>La justificación aportada para elegir la pregunta de investigación y/o el tema que se investiga no demuestra interés, curiosidad o importancia de índole personal.</del>		
	1.3	Hay pruebas que demuestran una iniciativa y un aporte de índole personal en el diseño, la implementación o la presentación de la investigación.	Hay pocas pruebas que demuestran una iniciativa y un aporte de índole personal en el diseño, la implementación o la presentación de la investigación.		
2. Exploración	6-5		4-3	2-1	0
	2.1	<del>Se identifica el tema de la investigación y se describe con claridad una pregunta de investigación pertinente y totalmente bien centrada.</del>	<del>Se identifica el tema de la investigación y se describe una pregunta de investigación pertinente, pero la pregunta no está totalmente bien centrada.</del>	<del>Se identifica el tema de la investigación y se plantea una pregunta de investigación de cierta pertinencia, pero la pregunta no está bien centrada.</del>	El informe del alumno no alcanza ninguno de los niveles especificados por los descriptores que figuran anteriormente.
	2.2	<del>La información de referencia que se proporciona para la investigación es totalmente adecuada y pertinente, y mejora la comprensión del contexto de la investigación.</del>	<del>La información de referencia que se proporciona para la investigación es, en su mayor parte, adecuada y pertinente, y ayuda a comprender el contexto de la investigación.</del>	<del>La información de referencia que se proporciona para la investigación es superficial o de pertinencia limitada, y no ayuda a comprender el contexto de la investigación.</del>	
	2.3	La metodología de la investigación es muy adecuada para abordar la pregunta de investigación porque considera todos, o casi todos, los factores importantes que pueden influir en la pertinencia, la fiabilidad y la suficiencia de los datos obtenidos.	La metodología de la investigación es, en su mayor parte, adecuada para abordar la pregunta de investigación, pero tiene limitaciones, ya que considera solo algunos de los factores importantes que pueden influir en la pertinencia, la fiabilidad y la suficiencia de los datos obtenidos.	La metodología de la investigación solo es adecuada para abordar la pregunta de investigación de manera muy limitada, ya que considera unos pocos factores importantes que pueden influir en la pertinencia, fiabilidad y suficiencia de los datos obtenidos.	
	2.4	El informe muestra pruebas de una completa conciencia acerca de las importantes cuestiones de seguridad, éticas o ambientales que son pertinentes para la metodología de la investigación.	El informe muestra pruebas de cierta conciencia acerca de las importantes cuestiones de seguridad, éticas o ambientales que son pertinentes para la metodología de la investigación.	El informe muestra pruebas de una conciencia limitada acerca de las importantes cuestiones de seguridad, éticas o ambientales que son pertinentes para la metodología de la investigación.	
6-5		4-3	2-1	0	
3. Análisis	3.1	El informe incluye suficientes datos brutos cuantitativos y cualitativos pertinentes que podrían respaldar una conclusión detallada y válida en relación con la pregunta de investigación.	El informe incluye datos brutos cuantitativos y cualitativos pertinentes pero incompletos que podrían respaldar una conclusión simple o parcialmente válida con respecto a la pregunta de investigación.	El informe no incluye suficientes datos brutos pertinentes como para respaldar una conclusión válida para la pregunta de investigación.	El informe del alumno no alcanza ninguno de los niveles especificados por los descriptores que figuran anteriormente.
	3.2	Se realiza un procesamiento adecuado y suficiente de datos con la precisión necesaria como para permitir extraer una conclusión con respecto a la pregunta de investigación que sea completamente coherente con los datos experimentales.	Se realiza un procesamiento adecuado y suficiente de datos que podría llevar a una conclusión válida a grandes rasgos, pero hay importantes imprecisiones e incoherencias en el procesamiento.	Se realiza cierto procesamiento básico de datos, pero es demasiado impreciso o demasiado insuficiente como para llevar a una conclusión válida.	
	3.3	El informe muestra pruebas de que el efecto de la incertidumbre de las mediciones en el análisis se toma en consideración de manera completa y adecuada.	El informe muestra pruebas de que el efecto de la incertidumbre de las mediciones en el análisis se toma en consideración de manera limitada.	El informe muestra pruebas de que el efecto de la incertidumbre de las mediciones en el análisis apenas se toma en consideración.	
	3.4	Los datos procesados se interpretan correctamente, de tal forma que se puede deducir una conclusión completamente válida y detallada de la pregunta de investigación.	Los datos procesados se interpretan de tal forma que se puede deducir una conclusión válida a grandes rasgos, pero incompleta o limitada, con respecto a la pregunta de investigación.	Los datos procesados se interpretan de manera incorrecta o insuficiente, de tal forma que la conclusión no es válida o es muy incompleta.	

		6-5	4-3	2-1	0
4. Evaluación	4.1	Se describe y se justifica una conclusión detallada que es totalmente pertinente para la pregunta de investigación y que cuenta con el respaldo absoluto de los datos que se presentan.	Se describe una conclusión que es pertinente para la pregunta de investigación y que cuenta con el respaldo de los datos que se presentan.	Se resume una conclusión que no es pertinente para la pregunta de investigación o que no cuenta con el respaldo de los datos que se presentan.	El informe del alumno no alcanza ninguno de los niveles especificados por los descriptores que figuran anteriormente.
	4.2	Se describe y se justifica correctamente una conclusión mediante una comparación pertinente con el contexto científico aceptado.	Se describe una conclusión que realiza cierta comparación pertinente con el contexto científico aceptado.	La conclusión hace una comparación superficial con el contexto científico aceptado.	
	4.3	Los puntos fuertes y débiles de la investigación, como las limitaciones de los datos y las fuentes de error, se discuten y demuestran una clara comprensión de las cuestiones metodológicas implicadas en el establecimiento de la conclusión.	Los puntos fuertes y débiles de la investigación, como las limitaciones de los datos y las fuentes de error, se describen y demuestran cierta conciencia de las cuestiones metodológicas implicadas en el establecimiento de la conclusión.	Los puntos fuertes y débiles de la investigación, como las limitaciones de los datos y las fuentes de error, se resumen pero se limitan a exponer las cuestiones prácticas o de procedimiento a las que el alumno se ha enfrentado.	
	4.4	El alumno ha discutido sugerencias realistas y pertinentes para la mejora y la ampliación de la investigación.	El alumno ha descrito algunas sugerencias realistas y pertinentes para la mejora y la ampliación de la investigación.	El alumno ha resumido muy pocas sugerencias realistas y pertinentes para la mejora y la ampliación de la investigación.	
5. Comunicación	4-3		2-1		0
	5.1	La presentación de la investigación es clara. Los errores que pueda haber no obstaculizan la comprensión del objetivo, el proceso y los resultados.	La presentación de la investigación es poco clara, lo cual dificulta comprender el objetivo, el proceso y los resultados.	El informe del alumno no alcanza ninguno de los niveles especificados por los descriptores que figuran a continuación.	
	5.2	El informe es claro y está bien estructurado: la información necesaria acerca del objetivo, el proceso y los resultados se presenta de manera coherente.	El informe es poco claro y no está bien estructurado: la información necesaria acerca del objetivo, el proceso y los resultados es inexistente o se presenta de manera incoherente o desorganizada.		
	5.3	El informe es pertinente y conciso, lo cual facilita una rápida comprensión del objetivo, el proceso y los resultados de la investigación.	La presencia de información inadecuada o no pertinente dificulta la comprensión del objetivo, el proceso y los resultados de la investigación.		
	5.4	El uso de convenciones y terminología específicas de la asignatura es adecuado y correcto. Los errores que pueda haber no obstaculizan la comprensión.	Hay muchos errores en el uso de convenciones y terminología específicas de la asignatura*.		

Tabla 7-2: Rúbrica de evaluación del “perfil del alumno”, según los atributos del perfil de la comunidad de aprendizaje IB trabajados en este TFM.

Atributos del perfil de aprendizaje IB	Puntuación			
	3	2	1	0
Indagadores: - Muestra curiosidad y entusiasmo en las actividades prácticas. - Desarrolla y aplica habilidades para la indagación y la investigación. - Sabe cómo aprender de manera autónoma y junto con otros.	Siempre	Muchas veces	Algunas veces	Nunca
Informados e instruidos: - Desarrolla y usa su comprensión conceptual mediante la exploración del conocimiento en las actividades prácticas. - Se compromete en las actividades prácticas con ideas y cuestiones de importancia local y mundial.	Siempre	Muchas veces	Algunas veces	Nunca
Pensadores: - Utiliza habilidades de pensamiento crítico y creativo para analizar y proceder de manera responsable ante problemas complejos. - Actúa por propia iniciativa al tomar decisiones razonadas y éticas.	Siempre	Muchas veces	Algunas veces	Nunca
Buenos comunicadores: - Se expresa con confianza y creatividad a nivel oral y escrito, utilizando los registros apropiados. - Colabora eficazmente, escuchando atentamente las perspectivas de otras personas y grupos.	Siempre	Muchas veces	Algunas veces	Nunca
Audaces: - Aborda la incertidumbre con previsión y determinación. - Trabaja de manera autónoma y colaborativa para explorar nuevas ideas y estrategias innovadoras. - Muestra ingenio y resiliencia cuando se enfrenta a cambios y desafíos	Siempre	Muchas veces	Algunas veces	Nunca

Tabla 7-3: Rúbrica de evaluación de los mapas conceptuales correspondientes al trabajo práctico n. 1.

Categorías	Puntuación			
	3	2	1	0
Conceptos y terminología	Muestra un entendimiento del concepto de desertización, usa una terminología adecuada, e identifica todos los factores climáticos, geográficos, químico-físicos y antrópicos que influyen en la desertización.	Comete algunos errores en la terminología empleada, y/o muestra algunos vacíos en el entendimiento del concepto de desertización, y/o identifica muchos de los factores climáticos, geográficos, químico-físicos y antrópicos que influyen en la desertización.	Comete muchos errores en la terminología, y/o muestra muchos vacíos conceptuales, y/o identifica solo algunos de los factores climáticos, geográficos, químico-físicos y antrópicos que influyen en la desertización.	No muestra ningún conocimiento en torno al concepto tratado.
Relaciones entre conceptos	Demuestra un nivel avanzado de pensamiento independiente, iniciativa o creatividad en evidenciar las relaciones e interdependencias entre conceptos y factores de desertización.	Demuestra un nivel adecuado de pensamiento independiente, iniciativa o creatividad en evidenciar las relaciones e interdependencias entre conceptos y factores de desertización, pero algunas conexiones son erradas.	Demuestra un nivel escaso de pensamiento independiente, iniciativa o creatividad en evidenciar las relaciones e interdependencias entre conceptos y factores de desertización, y/o muchas conexiones son erradas.	Falla al establecer en cualquier concepto conexiones apropiadas.
Jerarquía de los conceptos	Los conceptos están expuestos claramente en correcto orden jerárquico.	Los conceptos están expuestos en correcto orden jerárquico, pero sin claridad visual.	Algunos conceptos no están expuestos en correcto orden jerárquico.	Muchos o todos los conceptos no están expuestos en correcto orden jerárquico.
Elementos visuales	Utiliza flechas, iconos o cualquier elemento visual que permitan diferenciar y hacer más clara la relación entre ideas.	Hace uso de elementos visuales, no muchos, pero los usa para diferenciar subconceptos principales.	Utiliza escasos elementos visuales.	No utiliza elementos visuales.
Evolución cognitiva <sup>12</sup>	Demuestra una evolución cognitiva profunda del concepto de desertización, añadiendo y/o modificando conceptos esenciales y sus relaciones, e incorporando todos los factores implicados en el proceso de desertización.	Demuestra una evolución cognitiva satisfactoria del concepto de desertización, añadiendo y/o modificando conceptos (aunque a veces no esenciales) y sus relaciones, e incorporando muchos de los factores implicados en el proceso de desertización.	Demuestra una evolución cognitiva básica del concepto de desertización, añadiendo y/o modificando conceptos (aunque muchas veces no esenciales) y sus relaciones, e incorporando algunos de los factores implicados en el proceso de desertización.	Todavía no demuestra una evolución cognitiva del concepto de desertización, no añadiendo y/o modificando conceptos y sus relaciones, y no incorporando ninguno de los factores implicados en el proceso de desertización.

<sup>12</sup> (Aplicable sólo al mapa conceptual final)

## 7.2 Resumen de las actividades prácticas

Tabla 7-4: Plan de actividades de cada trabajo práctico (TP). Se detallan, además de la temporalización y los enfoques de aprendizaje (ver apartado 3.3) trabajados, también los objetivos de evaluación correspondientes a cada trabajo prácticos (ver apartado 2.4). En cada actividad, se desarrollarán todos los atributos del perfil de aprendizaje IB propuestos (ver apartado 3.4).

TP	Sesión	Actividades	Tiempo	Enfoques de aprendizaje	Objetivos de evaluación
1	1.1	Sesión previa: panorámica de todas las actividades.	15'	1.1 2.1 5.1 5.2	E3.4 E4
		Sesión previa en clase con modelo de plástico de las Bardenas – en colaboración con la asociación Ciencias sin Barreras.	20'		
		Redacción del mapa conceptual inicial, individual.	15'		
	1.2	Visita de campo de las Bardenas con guía oficial, y recogida de muestras de regolito: - en barrancos con pendientes diferentes, y en áreas llanas con 0 pendiente; - a varias distancias de la zona de uso militar.	6 h		
2	2.1	Sesión previa: explicación de fuentes fiables de información, vídeo TED-Ed.	10'	1.1 2.1 2.3 3.1 3.3 5.1 5.2	E3.3 E3.4
		Ejercicios de interpretación de tablas: por grupos de 3 y a través de roles, análisis guiado por preguntas de bases de datos.	25'		
		Exposiciones grupales.	15'		
	2.2	Sesión trabajo práctico: con estructura cooperativa “Puzzle de Aronson”, cada grupo tiene pregunta de investigación + metodología o resultados; luego se ponen en común.	15'		
		Análisis de los artículos, por grupos.	20'		
		Presentación del análisis por grupos ante el resto de la clase.	15'		
3	3.1	Sesión previa, parte A: la seguridad en el laboratorio + redacción y firma de un contrato de normas de laboratorio a respetar.	20'	1.1 2.2 4.1 5.1 5.2	E2.2 E3.2 E3.3 E3.4 E4
		Sesión previa, parte B: ¿Qué es una pregunta de investigación investigable?	30'		
	3.2	Sesión trabajo práctico, parte previa: incertidumbre y errores en las mediciones + simulación interactiva PhET.	25'		
		Sesión trabajo práctico, parte en clase: medición tamaño del regolito.	25'		
	3.3	Sesión trabajo práctico, parte en laboratorio: por grupos, medición de $[Na^+]$ con electrodo selectivo o de $[Ca^{2+}]/[Mg^{2+}]$ con gravimetría, según interés.	50'		
3.4	Sesión final: análisis de los datos y redacción del informe de laboratorio.	50'			
4	4.1	Sesión previa en laboratorio: metodologías reproducibles y validación.	50'	1.1 1.2 2.2 3.2 4.1 5.1 5.2	E2.2 E2.3 E3.2 E3.3 E3.4 E4
	4.2	Sesión metodología: se trabajan las preguntas de investigación y se define la planificación y metodología.	50'		
	4.3	Sesión trabajo práctico, parte A: medición y validación de la metodología (unos grupos $[Fe]$ vs pH, otros [metales] vs distancia).	50'		
	4.4	Sesión trabajo práctico, parte B: test de la reproducibilidad (los grupos se intercambian las metodologías y ejecutan los experimentos).	50'		
	4.5	Análisis y discusión de los datos recogidos en las sesiones anteriores.	50'		
	4.6	Sesión de mejora de la metodología: ¿cómo se puede mejorar la metodología inicial? Discusión de clase.	50'		
	4.7	Redacción del informe final individual.	50'		

### 7.3 Recursos de apoyo a los trabajos prácticos

Figura 7-1: datos meteorológicos de AEMET del Aeropuerto de Pamplona, <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=9263D&k=nav>.

**Valores climatológicos normales. Pamplona Aeropuerto**

Periodo: 1981-2010 - Altitud (m): 459  
 Latitud: 42° 46' 37" N - Longitud: 1° 39' 0" O - Posición: Ver localización

Exportar a csv

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	5.2	9.1	1.4	57	78	8.7	2.0	0.2	3.8	11.2	3.1	93
Febrero	6.3	10.9	1.6	50	72	8.0	2.6	0.3	1.6	10.1	3.7	125
Marzo	9.1	14.6	3.7	54	66	7.7	1.4	0.9	0.6	4.5	4.4	177
Abril	10.9	16.4	5.3	74	65	9.7	0.8	2.2	0.4	1.2	3.5	185
Mayo	14.7	20.8	8.6	60	63	9.2	0.0	4.2	0.5	0.0	3.4	228
Junio	18.6	25.2	11.9	46	59	5.8	0.0	3.9	0.2	0.0	5.7	268
Julio	21.2	28.2	14.2	33	57	4.3	0.0	3.8	0.2	0.0	9.0	310
Agosto	21.4	28.3	14.5	38	58	4.7	0.0	4.2	0.1	0.0	7.2	282
Septiembre	18.2	24.5	12.0	44	62	5.7	0.0	2.4	0.3	0.0	7.0	219
Octubre	14.1	19.3	8.9	68	69	8.6	0.0	1.5	1.6	0.2	4.5	164
Noviembre	9.0	13.1	4.8	75	76	9.6	0.7	0.4	2.4	3.3	4.0	108
Diciembre	6.0	9.7	2.2	72	78	10.1	1.5	0.4	3.5	9.1	3.4	88
Año	12.9	18.4	7.4	674	67	93.5	9.5	24.4	15.2	39.3	59.0	2240

**Legenda**

T Temperatura media mensual/anual (°C)  
 TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)  
 Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)  
 R Precipitación mensual/anual media (mm)  
 H Humedad relativa media (%)  
 DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm  
 DN Número medio mensual/anual de días de nieve  
 DT Número medio mensual/anual de días de tormenta  
 DF Número medio mensual/anual de días de niebla  
 DH Número medio mensual/anual de días de helada  
 DD Número medio mensual/anual de días despejados  
 I Número medio mensual/anual de horas de sol

Tabla 7-5: Ejemplo de variaciones sobre el procedimiento completo para la sesión 4.1 del trabajo práctico n. 4.

<b>Paso n.</b>	<b>Instrucción con falta</b>	<b>Problema</b>
1-2	Preparar una disolución de NaOH y una de HCl.	No se especifican los reactivos “batch” ni su pureza. No se especifica qué concentración tiene que tener la preparación.
3	Mezclarlas.	No se especifican los volúmenes de solución.
4	Medir el pH.	No se especifica a qué temperatura, con qué instrumento, con qué calibración.

Figura 7-2: ejemplo de instrucción integrada (Paterson, 2019) para medir el pH de una neutralización ácido-base, relativa a la sesión práctica 4.1.

## Procedimiento: medir el pH de una disolución parcialmente neutralizada con pH-metro.

