



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

**MODALIDAD:** INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

# ARTE Y CIENCIA: LA CIANOTIPIA EN EL AULA DE SECUNDARIA

MÁSTER EN FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA Y BACHILLERATO, FORMACIÓN PROFESIONAL Y ENSEÑANZA DE IDIOMAS.

ESPECIALIDAD DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA Y QUÍMICA.

**Curso académico 2023-2024**

**Convocatoria: MAYO**

**Autora: NAIMA MOHAMED RODRÍGUEZ**  
**Tutores: ASCENSIÓN CAMERO ARRANZ**  
**ISRAEL PÉREZ VARGAS**

# ÍNDICE

<b>Introducción</b> .....	2
<b>Planteamiento del problema y justificación</b> .....	3
<b>Objetivos</b> .....	4
<b>Marco teórico</b> .....	4
<b>La fotografía en el arte y en la ciencia</b> .....	5
<b>Técnicas fotográficas sin cámara</b> .....	8
<i>Métodos caseros de fotografía sin cámara</i> .....	11
<b>La cianotipia en didáctica de las ciencias: aspectos pedagógicos, metodológicos y curriculares</b> .....	11
<b>La química detrás de la cianotipia</b> .....	14
<b>Marco investigador</b> .....	16
<b>Metodología</b> .....	16
<b>Técnica de la cianotipia</b> .....	17
<i>Reactivos, disolventes y disoluciones</i> .....	17
<i>Materiales y muestras para las copias</i> .....	18
<i>Procedimiento experimental</i> .....	18
<b>Planificación del taller de cianotipia en secundaria</b> .....	20
<b>Resultados</b> .....	21
<i>Creación de un herbario</i> .....	21
<i>Taller de cianotipia con alumnado de secundaria</i> .....	24
<b>Discusión y conclusiones</b> .....	27
<b>Bibliografía</b> .....	30

# Arte y ciencia: la cianotipia en el aula de secundaria

**Naima Mohamed-Rodríguez** 

*Facultad de Educación de la Universidad de La Laguna. Departamento de Didácticas Específicas, área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. C/Heraclio Sánchez, 43; 38204; La Laguna; S.C.Tenerife. [alu0100969665@ull.edu.es](mailto:alu0100969665@ull.edu.es)*

**Ascensión Camero-Arranz** 

*Facultad de Educación de la Universidad de La Laguna. Departamento de Didácticas Específicas, área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. C/Heraclio Sánchez, 43; 38204; La Laguna; S.C.Tenerife. [acamerao@ull.edu.es](mailto:acamerao@ull.edu.es)*

**Israel Pérez-Vargas** 

*Facultad de Farmacia de la Universidad de La Laguna. Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal. Instituto Universitario de Enfermedades Tropicales. Avenida Astrofísico Francisco Sánchez, s/n; La Laguna; S. C. Tenerife. [ispeva@ull.edu.es](mailto:ispeva@ull.edu.es)*

[Recepción: xx Mes xxxx, Revisado: xx Mes xxxx, Aprobación: xx Mes xxxx]

**Resumen:** Muchas de las complicaciones o inconvenientes que se encuentran los y las docentes a la hora de impartir clases del ámbito científico, es la poca motivación por parte del alumnado. En este contexto, la investigación e innovación en educación se vuelve una herramienta fundamental para conseguir clases de calidad. Se trata de materias, en su mayoría, abstractas e incluso, el alumnado podría considerarlas como descontextualizadas. Dentro de la metodología que se ha seguido en la realización de este trabajo se engloban tres fases: una primera fase de documentación e investigación de técnicas de fotografía sin cámara, una segunda fase de experimentación en la que se elabora un herbario con plantas locales haciendo uso de la cianotipia, una de las técnicas de fotografía alternativa y, por último, una tercera fase de implementación de esta técnica en un aula de secundaria, relacionada con el saber básico de las reacciones químicas. Tras los resultados obtenidos, se puede concluir que, efectivamente se trata de una técnica versátil que puede ser empleada en un aula de secundaria y, a su vez, permite al alumnado comprender y contextualizar algunos de los conceptos básicos de la asignatura de Física y Química.

**Palabras clave:** Física y Química; Arte; Fotografía; Didáctica; Reacciones químicas; Cianotipia.

**Art and science: cyanotype in the secondary classroom**

**Abstract:** Many of the disadvantages that teachers encounter when teaching science classes is the lack of motivation on the part of the students. In this context, research and innovation in education becomes a fundamental tool to achieve quality classes. These are mostly abstract subjects and students may even consider them as decontextualized. The methodology followed in this work includes three phases: a first phase of documentation and research on camera-less photography techniques, a second phase of experimentation in which a herbarium is created with local plants using cyanotype, one of the alternative photography techniques, and finally, a third phase of implementation of this technique in a high school classroom, related to the basic knowledge of chemical reactions. After the results obtained, it can be concluded that this is indeed a versatile technique that can be used in a high school classroom and, in turn, allows students to understand and contextualize some of the basic concepts of the subject of Physics and Chemistry.

**Keywords:** Physics and Chemistry; Art; Photography; Didactics; Chemical reactions; Cyanotype.

**Para citar este artículo:** Mohamed-Rodríguez N, Camero-Arranz A., Pérez-Vargas, I. (2024) Arte y ciencia: la cianotipia en el aula de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* xx(x), xxxx. doi:

## Introducción

En muchas ocasiones los profesores y profesoras de ciencias se limitan a enseñar como se ha hecho hasta ahora, es decir, siguiendo un modelo tradicional: mismas fuentes, mismas metodologías y estrategias. La investigación en este sentido se vuelve una herramienta indispensable en educación en general, puesto que va intrínsecamente relacionado con la continua formación con la que deberían comprometerse todos los y las docentes (Martínez, 2007).

La tarea de investigación lleva como objetivo principal ofrecer clases de calidad, de forma que se puedan adaptar a cualquier situación (Roig-Vila, 2018; Tomé & Manzano, 2016). En cuanto a lo que al conocimiento se refiere, la investigación permite al cuerpo docente mantenerse al día con los últimos avances en su campo, lo que les posibilita ofrecer a los y las estudiantes información actualizada y relevante. Por otra parte, también les facilita explorar nuevas metodologías, estrategias y recursos que pueden aplicar en el aula para mejorar el aprendizaje del alumnado.

Por otro lado, la investigación fomenta la creatividad y la innovación en el aula (Martínez, 2007). Esto es una gran oportunidad para individualizar los contenidos favoreciendo así el desarrollo de las inteligencias múltiples. Esta teoría que fue propuesta por el psicólogo Howard Gardner entre finales de los años 70 y principios de los años 80, sostiene que los individuos poseen diversas formas de inteligencias relativamente autónomas (Davis et al., 2011). Gardner identificó un mínimo de ocho tipos de inteligencias, por lo que propuso, con su teoría, entender la inteligencia como un concepto diverso y no unitario.

Existen diferentes estrategias a la hora de enseñar ciencia en el aula de enseñanza secundaria. La experimentación debería ser intrínseca a la enseñanza de estas materias, dado que la Física y la Química son ciencias experimentales. Si pudiéramos de ejemplo el Proceso de Aprendizaje Efectivo (PAE) (Sáez, 2018), dos de las condiciones que pueden asegurar un buen aprendizaje son la experimentación y la práctica. Quizás adoptar este modelo en las clases de Física y Química puede servir de ayuda para superar, desde un enfoque práctico, los desafíos conceptuales que a menudo surgen en esta materia. Un ejemplo sería incluir la realización de experimentos, simulaciones computacionales o actividades prácticas en el laboratorio para diversificar los productos de aprendizaje y ayudar a los y las estudiantes a interiorizar conceptos básicos y a comprender mejor los principios fisicoquímicos que rigen la naturaleza.

Por ello, el aprendizaje basado en la indagación o por descubrimiento es esencial en la enseñanza de la ciencia (Kranz et al., 2023). Esta metodología sigue un proceso hipotético-deductivo que consiste en una serie de fases de indagación, que, mediante la participación del alumnado, promueven el pensamiento crítico y la resolución de problemas. Además, según este autor, puede facilitar la comprensión de los conceptos científicos y estimular la curiosidad, interés y la motivación, lo que influye en la disposición y el compromiso de los y las estudiantes en el proceso educativo (Kranz et al., 2023).

### **Planteamiento del problema y justificación**

Tanto la experiencia práctica como la investigación respaldan la idea de que las materias de ciencias son menos populares entre los estudiantes (Kmet' et al., 2023). Esto, probablemente, se debe a la ausencia de enfoques constructivistas y de motivación en el ámbito educativo. En este sentido, la integración de metodologías innovadoras en el proceso educativo se vuelve un aspecto crucial en la formación del profesorado, especialmente en el contexto de la enseñanza secundaria.

A pesar de que la aplicación de la cianotipia, como técnica de fotografía sin cámara, en entornos educativos de secundaria no ha sido ampliamente explorada ni aprovechada, sobre todo a nivel nacional, su uso como herramienta didáctica en las aulas de secundaria ofrece una oportunidad única para fomentar el aprendizaje activo y experiencial en el alumnado.

Por todo ello, este Trabajo de Final de Máster se ha dividido en tres partes: (1) fase de documentación, donde se explora e investiga la técnica de la cianotipia, (2) fase de experimentación, en la que se elabora un herbario para acercarse a esta técnica y (3) fase de innovación, donde se diseña e implementa su puesta en práctica en un aula de secundaria. En las siguientes secciones se muestran los objetivos a lograr, así como la metodología llevada a cabo, junto con la exposición y análisis los resultados obtenidos, finalizando con la discusión y conclusiones.

Además, se considera una perspectiva feminista destacando el papel histórico y contemporáneo de las mujeres en la ciencia y el arte. Por ejemplo, Anna Atkins, pionera en la fotografía botánica, fue una de las primeras personas en utilizar la técnica de la cianotipia en la creación de libros ilustrados sobre plantas marinas en el siglo XIX. Su trabajo no solo contribuyó al avance de la ciencia botánica, sino que también desafió las

expectativas de género de su época al convertirse en una figura destacada en un campo dominado por hombres.

## Objetivos

Son varios los objetivos generales que se pretenden lograr con este trabajo:

- I. Explorar nuevas metodologías, estrategias y recursos diversos para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física y Química en el aula de secundaria.
- II. Fomentar un vínculo entre la ciencia y el arte que sirva para ampliar la visión del alumnado sobre la ciencia, de modo que fomente su creatividad y motivación.
- III. Rescatar e investigar algunas de las figuras femeninas relacionadas con la ciencia y el arte.
- IV. Trabajar en la dirección marcada por algunos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos en la Agenda 2030 (Naciones Unidas, 2015).

Los objetivos específicos en los que se basa esta investigación son los siguientes:

- I. Conocer procesos alternativos de fotografía a lo largo de la historia.
- II. Elaborar un herbario de plantas, a poder ser autóctonas, utilizando la técnica de la cianotipia, simulando así la obra de la botánica Anna Atkins.
- III. Diseñar e implementar una propuesta didáctica empleando la cianotipia como base de la experimentación práctica, de forma que contribuya a potenciar la creatividad y la curiosidad científica del alumnado.

## Marco teórico

La Real Academia Española (RAE) define la fotografía como «1. f. Procedimiento o técnica que permite obtener imágenes fijas de la realidad mediante la acción de la luz sobre una superficie sensible o sobre un sensor». Si hablamos de fotografía con cámara, el uso de lentes está estrictamente ligado al tema de óptica en Física, sin embargo, los procedimientos de revelado no son más que procedimientos químicos, en los que se engloban reacciones redox, química inorgánica (de coordinación) y la cinética de reacciones químicas (Kmet' et al., 2023). Una evolución que va desde la alquimia hasta convertirse en una ciencia constatable, reproducible y repetible.

Los procesos físicos y químicos han estado íntimamente ligados a disciplinas como medicina, geología, astronomía o incluso ramas más alejadas del ámbito científico como puede ser la historia y la arqueología, en cuanto a la conservación de los alimentos

percederos en sal por parte de nuestros antepasados (Asimov et al., 1999) y/o el análisis de biomarcadores para reconstruir el pasado (Herrera-Herrera et al., 2020). Pero también encontramos a la física y a la química presente en el campo de las artes: dibujos, pinturas, esculturas y concretamente en fotografía (García, 2020; James, 2016).

### **La fotografía en el arte y en la ciencia**

Walter Benjamin hace una interesante comparación entre la fotografía y la pintura (Walter, 1994). En ocasiones, en la pintura surgía la pregunta sobre la identidad de los retratados, sin embargo, pasados los años, el verdadero interés de esa obra era quién la había realizado: el autor o autora. En cambio, en la fotografía, el protagonismo recae en el objeto, paisaje o cuerpo fotografiado, de forma que inmortaliza ese fugaz momento y une el pasado con el presente y el futuro.

El nacimiento de la fotografía en la década de 1830 coincidió con una época de descubrimientos científicos revolucionarios. En ese momento, aparece un nuevo movimiento artístico: el naturalismo (Latorre, 2012). Esta tendencia se presentaba como una extensión del realismo que buscaba representar la realidad de manera objetiva y fiel, centrándose en la observación minuciosa y detallada de la naturaleza y la sociedad.

Los primeros métodos fotográficos que se desarrollaron en el siglo XIX fueron empleados como herramientas de documentación, pero rápidamente se convirtieron en testigos visuales de la anatomía, la botánica y la astronomía, capturando detalles que escapaban a la representación artística convencional, lo que implicó un conflicto constante específicamente con la pintura (Latorre, 2012). La raíz del problema yace en la percepción errónea de que la fotografía es simplemente una extensión de la pintura. Aunque comparten similitudes, es crucial reconocer que son lenguajes distintos. Una diferencia esencial entre ambas radica en que, mientras la pintura imita la naturaleza, la fotografía la reproduce fielmente (Latorre, 2012).

Desde los inicios de la fotografía hasta la actualidad, ha habido una enorme evolución en cuanto a las técnicas empleadas, los tipos de revelado utilizados y las corrientes artísticas por las que se ha visto influenciada. En la figura 1, se muestra un cronograma con algunos de los eventos más importantes en la historia de la fotografía. Numerosos son los fotógrafos y fotógrafas destacables por sus trabajos. La mayoría no sólo se dedicaban a la fotografía, sino que también eran periodistas, pintores y pintoras, escultores y

escultoras, directoras de cine incluso científicos relacionados con la botánica, física, química, matemáticas y astronomía, entre otras.

De hecho, hay que destacar que Joseph Nicéphore Niepce (1765-1833), a quién se le atribuye las primeras fotografías (Argerich, 2023), era físico. John Herschel (1792-1871), quién descubre la cianotipia como método de obtención de imágenes sin cámara, también era científico (Kmet' et al., 2023). En este aspecto, resulta más obvio aún la relación existente entre la ciencia y la fotografía, o bien, si consideramos la fotografía como un lenguaje del arte, entre la ciencia y el arte.

Ahora bien, esta vinculación va más allá de la profesión o dedicación de las primeras personas que descubrieron o utilizaron alguno de los procesos fotográficos, sino que también la ciencia ha necesitado del avance de las técnicas fotográficas para su divulgación (García-Roa, 2023). En 1827, cuando Nicéphore Niepce desarrolló el método de reproducción fotomecánica por el que se le reconoce, el mundo científico vio en esta herramienta fotográfica una oportunidad de realizar clasificaciones de todos sus estudios a partir de fotografías de detalle extremadamente fidedignas (García, 2020).





**Figura 1.** Cronograma mostrando algunos momentos clave de la evolución de la fotografía a lo largo de la historia.

## Técnicas fotográficas sin cámara

Cuando pensamos en fotografía, lo primero que se nos viene a la cabeza es una realizada con una cámara, digital o analógica; o bien, hecha con los dispositivos móviles. Sin embargo, la fotografía sin cámara es una alternativa inherente, se trata de una expresión artística que desafía los límites convencionales. Desde los fotogramas pioneros hasta las prácticas contemporáneas, la ausencia de una cámara tradicional permite una libertad innovadora. Procesos como la fotografía química sin cámara, o las exposiciones con luz solar directa revelan la capacidad de capturar imágenes de maneras inusuales.

Entre las técnicas más destacables, la cianotipia es el claro ejemplo de una técnica química empleada para la obtención de copias de documentos (Gil-Segovia, 2022). Se trata del proceso fotográfico más antiguo que no utiliza sales de plata sensibles a la luz, sino que utiliza compuestos de hierro (Kmet' et al., 2023) produciendo imágenes de tonalidades azules únicas. De ahí, su nombre.

Desde su origen en la documentación científica hasta su resurgimiento contemporáneo en la fotografía artística, la cianotipia ha perdurado a lo largo del tiempo como un medio artístico distintivo.

Como habíamos mencionado anteriormente, J. Herschel descubrió este proceso químico en la década de 1840 (Sattar, 2017), sin embargo, Anna Atkins, pionera visionaria del siglo XIX, destacó por su contribución única a la fotografía con la cianotipia (Franchi, 2023). Utilizando este innovador proceso químico, Atkins creó *Photographs of British Algae*, considerada la primera obra ilustrada fotográficamente en la historia (Franchi, 2023; Gil-Segovia, 2022; Kmet' et al., 2023). Su obra consta de un catálogo de algas marinas, aplicando la cianotipia como una herramienta científica y artística. A través de sus imágenes detalladas y delicadas, Atkins no solo dejó un impacto duradero en la fotografía, sino también un legado como precursora de la exploración femenina en el arte y la ciencia fotográfica.

La colaboración de Anna Atkins con mujeres como Anne Dixon, Bertha Evelyn Jaques y Susan Weil marcó un hito en la historia de la cianotipia (Gil-Segovia, 2022). Según este autor, juntas expandieron el alcance de esta técnica fotográfica en proyectos innovadores. Anne Dixon y Atkins colaboraron en la obra *Cyanotypes of British and Foreign Ferns*, mientras que Bertha Evelyn Jaques, también utilizó la cianotipia como herramienta de captura fotográfica de diversas plantas. Años después, en el siglo XX, Susan Weil rescató

la técnica de la cianotipia. Esta red de colaboración femenina no solo contribuyó a la evolución de la fotografía botánica sino también subrayó el papel esencial de las mujeres en la exploración artística y científica.

La fotógrafa sueca Malin Fabbri realizó su tesis centrada en la *fotografía alternativa* en la que se encuentran numerosos trabajos con cianotipos (Fabbri & Fabbri, 2006). Posteriormente, fundó *Cyanotypes.com* con el objetivo de que algunos de los y las artistas que la habían ayudado publicaran sus fotografías en ese espacio. En él se recogen todos los procesos fotográficos alternativos que utilizan los y las artistas hasta 2006. Actualmente, el sitio web se llama *AlternativePhotography.com* y aún mantiene sus orígenes como fuente de información e investigación para procesos fotográficos alternativos (Fabbri & Fabbri, 2006; Gil-Segovia, 2022).

Entre las diferentes artistas contemporáneas que han labrado el camino de la fotografía y las técnicas fotográficas alternativas destaca Elena Zabalza Blanco, autora del fotolibro *Reserva* que aparece en la figura 2. En él, la artista, inspirada en el trabajo de Anna Atkins, no solo aborda la transformación del paisaje, sino que también critica la visión idealizada del paraíso (E. Zabalza, comunicación personal, 20 de febrero 2024):

Cada una de las 28 imágenes aparece en el libro con las coordenadas de dónde realicé la fotografía, invitando al lector a realizar un nuevo recorrido en esta isla tan turística y a reflexionar sobre nuestra propia especie, sobre la impronta que dejamos a nuestro paso, sobre la explotación hotelera, el turismo sin control, la contaminación y como el paraíso se degrada cada vez más rápido. Lanzarote es un lugar que cumplió ese año 25 años de la declaración de la UNESCO como Reserva de la Biosfera.

En relación con la didáctica de las ciencias en el entorno escolar, Elena considera estas técnicas «muy relevantes para comprender cómo funciona una cámara, qué es un sensor, tipos de lentes, cómo retocar una imagen y entender conceptos básicos de química y ciencia, y su relación con el arte a lo largo de la historia» (E. Zabalza, comunicación personal, 20 de febrero 2024).



**Figura 2.** Fotolibro *Reserva* realizado por Zabalza (2018). Imágenes cortesía de la autora.

Los cianotipos también se llaman *blueprints*, *sun prints*, impresiones de Ferroprusiato e impresiones de Hierro (Fabbri & Fabbri, 2006). Los cianotipos utilizan sales a base de hierro (ferricianuro de potasio y citrato férrico de amonio) para crear imágenes azules (Anderson, 2019; Fabbri & Fabbri, 2006; Gil-Segovia, 2022; Kmet' et al., 2023). El color azul natural de las impresiones se conoce como azul de Prusia.

Las técnicas de fotografía alternativa van más allá de la cianotipia, entre los que se incluyen métodos como la *platinotipia* (Ware, 2021), una técnica que utiliza sales de platino, la *goma bicromatada* (Cuevas, 2009) y el *bromóleo*, en el que se fusionan los procesos de bromuro de plata y goma bicromatada, entre otras (Causapé, 2005; Post,

2023). Estas técnicas no solo rescatan la tradición artesanal de la fotografía, sino que también inspiran a explorar la intersección entre química y expresión visual.

#### *Métodos caseros de fotografía sin cámara*

Entre los procesos fotográficos alternativos que han sido utilizados a lo largo de la historia, debemos destacar y tener en cuenta, aquellos que se han llevado a cabo con reactivos, materiales e instrumentos caseros, en lugar de los productos químicos propios de un laboratorio (ver tabla 1). De esta forma, la educación científica se vuelve más accesible para un amplio rango de estudiantes y contribuye a la comprensión de la aplicabilidad de la ciencia en su entorno. Por ello, la relevancia de que el alumnado de secundaria acerque la ciencia a su vida cotidiana y fomente la curiosidad e interés científico.

**Tabla 1.** Algunas técnicas alternativas caseras de fotografía sin cámara.

<b>Técnica</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Soporte</b>	<b>Referencia</b>
Caffenol	Agua, café instantáneo, sal yodada, vitamina C y bicarbonato de sodio	Se revela un carrete expuesto	(Reinhold et al., 2012)
Antotipia	Extracto de plantas con alcohol y agua	Papel fotosensible	(Fabbri & Fabbri, 2006; James, 2016)
Fotografía con té	Solución de té fuerte	Papel o tela	(James, 2016)

### **La cianotipia en didáctica de las ciencias: aspectos pedagógicos, metodológicos y curriculares**

La cianotipia, al ser un proceso de fotografía alternativo, puede ser una herramienta muy útil en educación por varios motivos. Se trata de un procedimiento sencillo y no se necesita ningún equipo o instrumentación específica, exceptuando las sales de hierro, que en general, se encuentran las disoluciones ya preparadas en cualquier tienda de arte. Ninguno de los reactivos que se emplean son tóxicos y además son fáciles de disolver. También se puede modificar el resultado final haciendo un viraje de la cianotipia con productos cotidianos como el café, el té o el mate, por ejemplo.

Se puede entender como una experiencia multidisciplinar (arte, ciencia, tecnología, historia y sociedad) en la que favorece las inteligencias múltiples y se fomenta la creatividad individual. También es bastante versátil, porque el soporte puede variar

(papel, tela o incluso piedras). A su vez, la química que hay detrás del procedimiento se puede aprovechar para explicar las reacciones redox, la fotoquímica, la solubilidad de las sales, disoluciones, incluido también la clasificación del material de laboratorio.

Otro aspecto interesante ligado a la historia de la ciencia desde una perspectiva feminista es su impulsora, Anna Atkins, así como sus sucesivas. Utilizando sus trabajos como referencia, se puede experimentar con la cianotipia botánica empleando una gran variedad de elementos botánicos, como hojas, flores y ramas.

Las actividades con cianotipia se alinean con una variedad de estándares educativos y objetivos curriculares (ver tabla 2), tanto en las materias de Física y Química y Biología en Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y Bachillerato, como en el Ámbito Científico-Tecnológico de los ciclos de Formación Profesional.

- Reacciones químicas y fotoquímicas. En el proceso de la cianotipia coexisten varios tipos de reacciones en función de la forma en la que se clasifiquen. Las reacciones químicas constituyen un saber básico en todo el currículo de Física y Química de la ESO y Bachillerato, por lo que dependiendo del curso donde se quiera desarrollar la actividad, se podrán trabajar unos conceptos u otros, al igual que el nivel de profundidad y exigencia del tema.

- Análisis cualitativo. Los experimentos de análisis cualitativo suelen resultar muy llamativos y visuales. En este caso, se podría emplear para identificar la presencia de iones de hierro en una muestra desconocida.

- Formulación inorgánica. Este proceso puede ser una gran oportunidad para trabajar o repasar la formulación inorgánica e incluso, los diferentes estados de oxidación del hierro, aprovechando la diferencia de color entre las sales de  $\text{Fe}^{2+}$  y de  $\text{Fe}^{3+}$ .

- Botánica. Las experiencias con cianotipias son interdisciplinarias, por lo que también pueden tener una estrecha relación con algunas ramas de la Biología como puede ser la Botánica. Se pueden hacer impresiones utilizando objetos naturales como hojas, semillas, flores, tallos, etc. De esta manera, el alumnado puede aprender sobre la identificación y clasificación de las plantas, la morfología, datos sobre el hábitat y ecosistemas, así como la conservación de recursos naturales, por ejemplo.

No sólo hay que tener en cuenta los saberes básicos relacionados sino también las habilidades que se pretenden desarrollar poniendo en práctica esta actividad.

**Tabla 2.** Relación de contenidos y habilidades que se pueden desarrollar a través de la técnica de la cianotipia en materias de ciencias en educación secundaria.

<b>Identificación de contenidos curriculares</b>	<b>Desarrollo de habilidades</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reacciones químicas (reacciones de precipitación, reacciones redox, reacciones irreversibles)</li> <li>▪ Formulación y nomenclatura inorgánica</li> <li>▪ Cinética química</li> <li>▪ Disoluciones</li> <li>▪ Análisis cualitativo</li> <li>▪ Material de laboratorio. Normas y uso del laboratorio</li> <li>▪ Estructura atómica (radiación electromagnética)</li> <li>▪ Botánica y ecología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pensamiento crítico</li> <li>▪ Aplicación del método científico</li> <li>▪ Valoración de la cultura científica y del papel de científicos y científicas en los principales hitos históricos</li> <li>▪ Contextualización de los avances de la Física y la Química y su contribución a la mejora de la sociedad</li> </ul>

Pese a ser una técnica atemporal, empleada desde el siglo XIX, se han encontrado muy pocos estudios o publicaciones sobre innovación y/o investigación, relacionados con la educación secundaria, que empleen esta técnica en la práctica educativa. La mayoría de estos artículos suelen ser de la rama de arte y cultura (Moreno-Saez, 2016).

No obstante, en el ámbito universitario sí se han publicado varios trabajos en español sobre el uso de la cianotipia (Liprandi et al., 2016) en cursos previos a la universidad, incluyéndola en el tema de reacciones redox (Díaz & León, 2016). Por otro lado, Sattar (2017) propone un curso de laboratorio de química para alumnado de estudios de ramas del conocimiento distintas a las de ciencias. Los principales temas del curso incluyen compuestos iónicos y covalentes, reacciones de oxidación-reducción, reacciones de precipitación y la formación de iones complejos. Además, se abordan aspectos importantes como la luz, el color y la creación de tonalidades en imágenes fotográficas.

Recientemente, en 2023 se publicó un artículo en que se introducían una serie de talleres de cianotipia en aulas de primaria y secundaria en escuelas de Eslovenia (Kmet' et al., 2023). Por todo ello, el presente trabajo sería de las pocas propuestas sobre el empleo de esta técnica en el ámbito científico para reforzar y apoyar los conceptos de Física y Química, cuya fundamentación curricular aparece en la tabla 3.

**Tabla 3.** Fundamentación curricular de la actividad propuesta en 3º ESO<sup>1</sup>

<b>Fundamentación curricular</b>		
<b>Competencias específicas</b>	<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Descriptorios operativos de las competencias clave. Perfil de salida</b>
C1	CE 1.2	STEM1, STEM2, STEM4, CPSAA4
C2	CE 2.1	CCL1, CCL3, STEM1, STEM2, CD1
C4	CE 4.1	CCL2, STEM4, CD3, CPSAA3
C6	CE 6.1	STEM2, CD4, CPSAA4, CCEC1

### **La química detrás de la cianotipia**

Decir que todo lo que nos rodea es química, no es ninguna hipérbole. Absolutamente todo nuestro entorno está constituido por sustancias químicas que, en ocasiones, pasan desapercibidas. A menudo, estas sustancias químicas reaccionan (de diferentes maneras) para dar lugar a otras sustancias o compuestos. Esto es lo que conocemos, generalmente como *reacciones químicas*. Lo podemos comparar con hacer un bizcochón, por ejemplo. Para ello, se necesitan, principalmente, harina, levadura y huevos. Estos ingredientes no desaparecen como tal, sino que, al mezclarse entre ellos, se forma una masa que, después de horneada, se transforma finalmente en el bizcochón. Esto mismo ocurre en las reacciones químicas: a los ingredientes los llamamos *reactivos* y al bizcochón lo llamamos *producto*. Los reactivos interaccionan entre ellos transformándose, por último, en el o los productos. Las reacciones químicas, por tanto, son transformaciones de la materia donde se forman nuevos enlaces y dan como resultado moléculas más estables.

<sup>1</sup> Decreto 30/2023, de 16 de marzo, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Canarias, pp 15357- 15359. <https://www.gobiernodecanarias.org/boc/2023/058/>



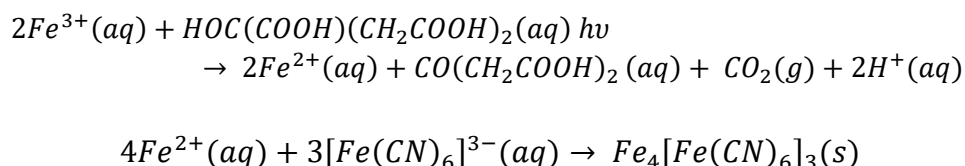
Entre los diferentes tipos de reacciones, encontramos las reacciones de óxido-reducción, conocidas también como reacciones redox (del inglés *reduction* and *oxidation*). Estas reacciones se fundamentan en el intercambio de electrones, donde una de las sustancias gana electrones y la otra los cede (Castillo, 2023), por lo que estas reacciones son simultáneas.

Aquí aparece también el término de estado de oxidación, que históricamente hacía referencia al aumento en múltiplos enteros de átomos de oxígeno unidos a otros elementos (Karen et al., 2014). Hoy en día se han discutido diferentes definiciones que describan al estado de oxidación. Una de las más simples considera que el estado de oxidación de un átomo en un compuesto es la carga que tendría ese átomo al romper los enlaces con el resto de los iones del compuesto (Loock, 2011). Teniendo esto en cuenta, podemos aceptar que en una reacción redox habrá un cambio en el número de oxidación de los elementos que intervienen: aquel que se reduzca, disminuirá su número de oxidación (gana electrones) mientras que el elemento que se oxide, lo aumentará (pierde electrones).

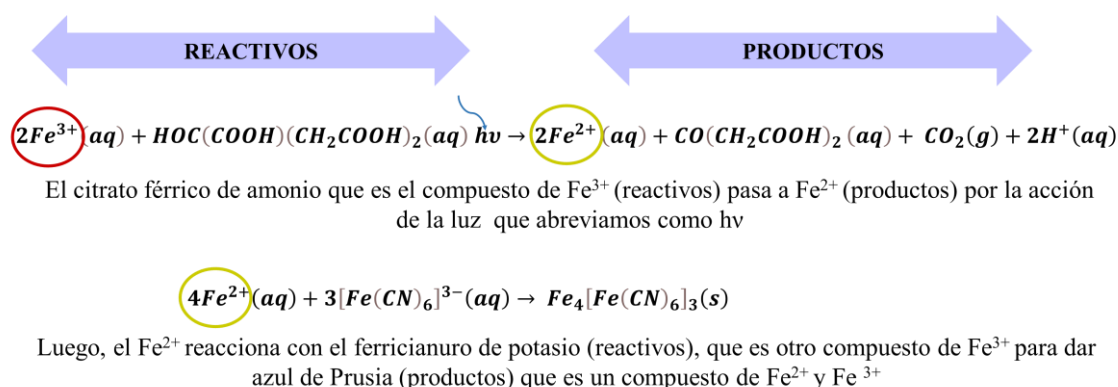
También es importante conocer que el elemento que se reduce se le denomina oxidante y el que se oxida, reductor. Algunas sustancias que se pueden considerar como oxidantes son el oxígeno ( $O_2$ ), cloro ( $Cl_2$ ), el permanganato de potasio ( $KMnO_4$ ), dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) (conocido comúnmente como agua oxigenada) y el ácido nítrico ( $HNO_3$ ). Sin embargo, los metales y el hidrógeno son los reductores por excelencia.

El elemento clave de este procedimiento, es, sin duda, la utilización de sales sensibles a la luz solar. Un ejemplo de estas sales o compuestos son las de hierro (III), como el citrato férrico de amonio que pasa a hierro (II) tras la exposición a la luz ultravioleta (Abrahamson et al., 1994; Kmet' et al., 2023). Esto se conoce como reacción fotoquímica redox, mediante la cual el hierro se reduce y el citrato se oxida a ácido dicarboxílico de acetona (Ware, 2008). Luego, el hierro (II) es capaz de reaccionar con el ferricianuro de potasio formando el compuesto insoluble (ferrocianuro férrico) conocido como azul de Prusia (Fiorito & Polo, 2015), que también tiene una interesante historia detrás y que incluso podríamos aprovechar como *storytelling* durante la realización en el aula. Los productos químicos que no han reaccionado, simplemente se eliminan lavándolos con agua, dejando, finalmente una impresión en azul de Prusia en negativo puesto que los objetos opacos solo dan como resultado siluetas de sus contornos, llamados fotogramas (Ware, 2008).

El tiempo de exposición depende de la luz de la que dispongamos, puede variar desde unos pocos segundos con luz solar directa intensa hasta 10 ó 20 minutos en un día sin luz. Otra de las ventajas que supone este proceso es que el fijador que se utiliza no es más que agua. Las imágenes se sumergen en agua corriente fría un par de minutos para que las sales de hierro (III) solubles, se eliminen. Por último, se dejan secar al aire las impresiones de forma que se puede observar como a medida que se secan, el color azul se oscurece. Las reacciones químicas serían las siguientes:



En la figura 3 se explican con un poco más de detalle estas reacciones dentro del proceso de la cianotipia.



**Figura 3.** Breve explicación sobre la reacción que tiene lugar en el proceso de cianotipia<sup>2,3</sup>

## Marco investigador

### Metodología

Este trabajo se estructuró en tres fases principales: documentación, experimentación y puesta en práctica en el aula de enseñanza de secundaria, utilizando la técnica de la cianotipia como herramienta didáctica.

<sup>2</sup> El grupo ciano (CN) de la sal de  $3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ , tiene carga -1, pero como se trata de 6 grupos CN, la carga total sería -6 que se compensa con la carga +3 del Fe más 3 átomos de potasio (K) que tiene carga +1 y que no aparecen en la ecuación, para simplificar la reacción.

<sup>3</sup> Se utiliza (aq) como abreviación de acuoso, que quiere decir que está en disolución y (s) es la abreviación de sólido.

I. Documentación. Esta fase inicial involucró una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre técnicas fotográficas sin cámara, figuras femeninas relacionadas con el arte y la ciencia, el uso de la cianotipia en la enseñanza de las ciencias, así como sobre metodologías de enseñanza.

II. Experimentación (creación de un herbario). En esta fase, se llevó a cabo la experimentación práctica con la técnica de la cianotipia para la creación de un herbario. Se recolectaron muestras de plantas locales y se prepararon para su uso en la cianotipia.

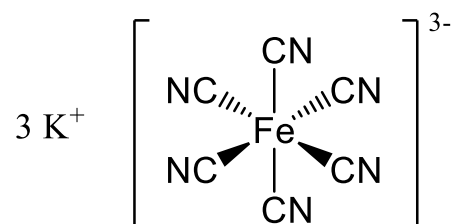
III. Puesta en práctica en el aula. En esta fase final, se diseñó una intervención didáctica integrando la cianotipia en la enseñanza de las ciencias. La implementación de la experiencia tuvo lugar en el aula de 3°ESO, guiando a los estudiantes durante todo el procedimiento. Se evaluaron los resultados del proceso de enseñanza-aprendizaje, recopilando datos cualitativos y cuantitativos sobre el impacto del proceso en el logro de los objetivos de aprendizaje, además del interés y participación mostrados por parte del alumnado.

### Técnica de la cianotipia

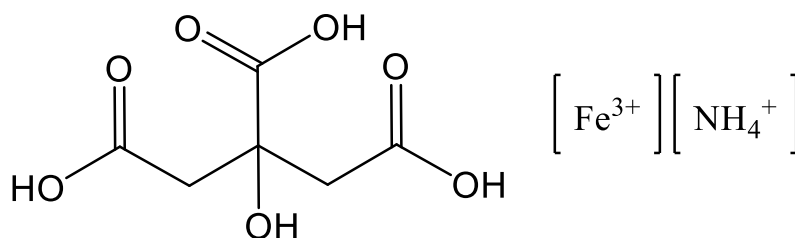
#### *Reactivos, disolventes y disoluciones*

Como se indicaba con anterioridad, el procedimiento de la cianotipia implica la preparación de una solución fotosensible a base de sales de hierro, generalmente ferricianuro de potasio y citrato de hierro amoniacal. A continuación, se detallan los reactivos y materiales necesarios para llevar a cabo este procedimiento.

I. Ferricianuro potásico -marca Jacquard- (para impresiones con cianotipia). Molécula:



II. Citrato férrico de amonio -marca Jacquard- (para impresiones con cianotipia). Molécula:



### III. Agua potable.

#### *Materiales y muestras para las copias*

- Balanza granataria
- Cuencos o vasos de vidrio
- Cucharillas
- Guantes
- Brochas
- Pinzas para la ropa o similar
- Papel de acuarela
- Vidrio de un marco
- Cubeta
- Papel de cocina
- Papel de periódico
- Pinzas
- Hojas, pétalos de flores y tallos de plantas terrestres y acuáticas (algas)

#### *Procedimiento experimental*

Tras la investigación realizada y la búsqueda bibliográfica correspondiente, a la hora de elaborar el herbario se decidió seguir el procedimiento descrito en Fabbri & Fabbri (2006).

En el caso de las plantas terrestres, se recopilaron hojas y tallos de plantas locales frescas y en buen estado para el prensado. Antes de prensarlas, es importante eliminar cualquier exceso de humedad de las hojas para evitar la formación de moho durante el proceso. Para ello, se colocaron las muestras entre papel de periódico y papel de cocina.

Antes de prensarlas, se distribuyeron de manera uniforme para evitar que se superpusieran. Por último, con ayuda de varios libros, se hizo presión y se dejaron durante al menos una semana para permitir que se secan y prensaran por completo.

Para las algas, el procedimiento fue similar, pero con algunas consideraciones específicas debido a la naturaleza delicada y la estructura única de las algas marinas. Antes de comenzar el proceso de prensado, se hizo un proceso de limpieza y desalinización para eliminar cualquier residuo de arena y/o sal, sumergiendo el alga en agua corriente. Con ayuda de un vidrio, se saca el alga del agua lo más estirada posible. Luego, se coloca el alga sobre una superficie plana y absorbente, como papel de cocina. También se puede utilizar un trapo o un trozo de sábana. Una vez se haya eliminado el exceso de humedad, el procedimiento continúa de igual manera que el de las plantas terrestres.

En primer lugar, se recortó la lámina de papel y se apoyó sobre una superficie de corcho sujeta por pinzas. Luego, se pesaron 25 gramos de citrato férrico de amonio y, por otro lado, 10 gramos de ferricianuro potásico. Ambas sales, se disolvieron en 100 mL de agua destilada y posteriormente se mezclaron en el mismo recipiente. Esta disolución resultante será la que se utilice para sensibilizar el papel sobre el que se va a trabajar.

Con ayuda de una brocha, se extendió una capa de la disolución de hierro sobre el papel y luego se dejó secar durante unos 5 minutos. Este paso es importante que se haga en ausencia de luz solar. Una vez esté la superficie seca, se coloca el material que se pretende imprimir, en este caso, fue el material vegetal (hojas, pétalos y ramas de plantas terrestres y algas).

Después de colocar el material sobre el papel sensibilizado, se coloca un vidrio o metacrilato sujetado con pinzas y se sitúa en un lugar plano donde incida directamente la luz solar. Inmediatamente el color verde del papel comienza a oscurecerse y aparece un tono gris. Después de 10-15 min, se mete la lámina en una cubeta con agua corriente fría para lavar y eliminar los restos de producto sin reaccionar. Una vez lavada, ya aparece el color azul característico de este proceso. Por último, se deja secar al aire. En la figura 4 se resumen los pasos principales seguidos.



**Figura 4.** Esquema del procedimiento experimental llevado a cabo en el laboratorio.

### Planificación del taller de cianotipia en secundaria

El diseño y puesta en práctica del taller de cianotipia, relacionado con las reacciones químicas, en el tercer curso de ESO, siguió la misma metodología experimental descrita con anterioridad. Esta intervención se fundamentó en los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) (Pastor, 2016). Con anterioridad al taller, la primera parte de la sesión fue dedicada a una breve explicación expositiva sobre qué era la cianotipia, por qué lo relacionamos con las reacciones químicas y quién fue su impulsora haciendo especial énfasis en las figuras femeninas dentro del mundo científico y la importancia de conocer la biodiversidad local para poder protegerla de forma consciente. En el puesto de trabajo, el alumnado tuvo a su disposición, junto al material necesario para el taller, un guion de prácticas<sup>4</sup>, con el fin de conseguir diversificar los métodos empleados de acuerdo con el DUA. Las soluciones que se iban a emplear fueron preparadas con anterioridad por parte de la profesora para repartirlas con el alumnado justo antes de comenzar con la práctica y así evitar que pudieran degradarse. En cuanto a la distribución del alumnado, se optó por una agrupación en parejas o tríos, fomentando el aprendizaje cooperativo y colaborativo. A posteriori, se realizaron dos cuestionarios: uno sobre los conceptos básicos que se engloban en el tema de reacciones químicas, relacionados a su vez con la

<sup>4</sup> Acceso al guion de prácticas empleado: [https://drive.google.com/file/d/18\\_d7GH005aL50IBN2SEdHni-3TJoVuj/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/18_d7GH005aL50IBN2SEdHni-3TJoVuj/view?usp=drive_link)

cianotipia y un segundo cuestionario de calidad en el que se muestran las preferencias y motivaciones del alumnado de 3ºESO.

## Resultados

Son dos los resultados principales que se han generado en la realización de este trabajo. Por un lado, la creación de un herbario utilizando plantas de la zona (algunas de ellas autóctonas) mediante la técnica de la cianotipia, con el fin de recrear el trabajo de Anna Atkins. Por otro lado, la implementación de una experiencia didáctica basada en esta técnica entre el alumnado de secundaria.

### *Creación de un herbario*

En la figura 5 se observa el resultado final del herbario (portada y muestra). En él aparece descrito la familia de la planta, la especie a la que pertenece, el nombre o nombres comunes y en qué islas predomina su existencia. Se trata de una recopilación de cuatro plantas endémicas de la isla de Tenerife (margarita de monte, flor de mayo, matorrisco tinerfeño y malvarrisco encarnada), dos de la región macaronésica (gibalbera y algaritofe), una planta común (helecho batatilla) y un alga invasora (sargazo) característica de las zonas tropicales.



**Figura 5.** Portada (izq.) y cianotipia de *Davallia canariensis* -Helecho batatilla- (dcha.) del herbario elaborado durante la fase experimental de este trabajo. Fuente: elaboración propia (2024).

En la figura 6 se muestran todas las cianotipias elaboradas durante la fase de experimentación, cada una de ellas tal y como se exponen en el herbario.



*Argyanthemum broussonetti*  
Margarita de monte



*Pericallis lanata*  
Palomera, flor de mayo



*Semele androgyna*  
Gibalbera, alicacán



*Davallia canariensis*  
Helecho batatilla, rabo de cochino





**Figura 6.** Muestra completa de las cianotipias realizadas para la creación del herbario.

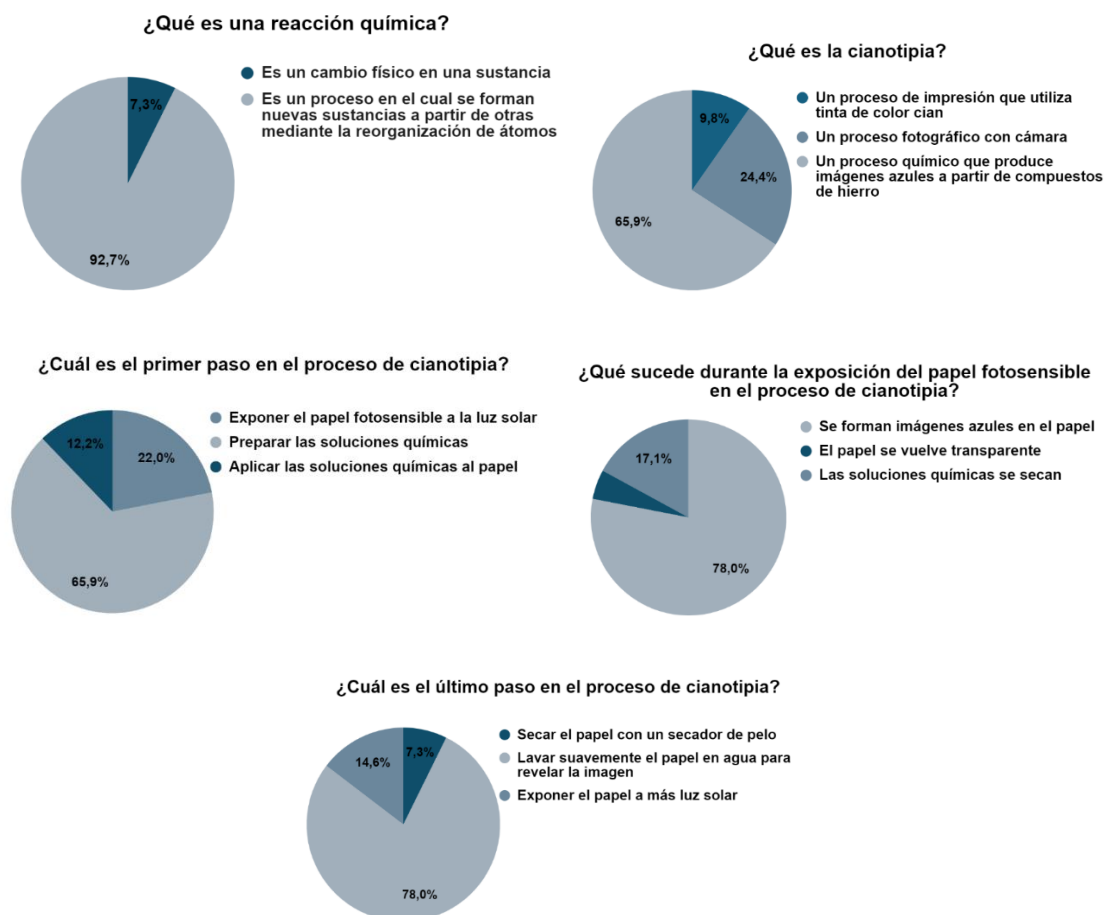
*Taller de cianotipia con alumnado de secundaria*

Por otro lado, se desarrolló un taller de cianotipia con alumnado de 3ºESO en el laboratorio de Física y Química del centro, empleando hojas y tallos de plantas comunes de la zona como la hoja del helecho, la hiedra o la paniculata. En la figura 7 se muestran algunos detalles del proceso, así como varias de las cianotipias realizadas por dicho alumnado.



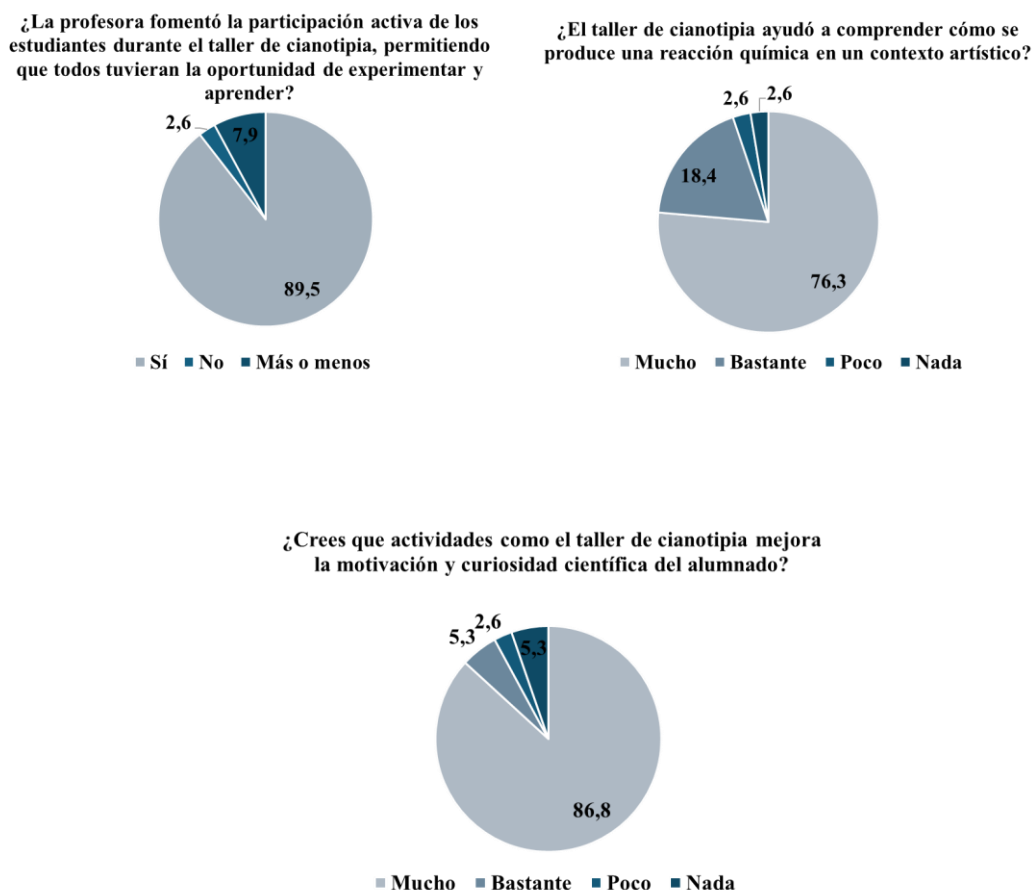
**Figura 7.** Algunos momentos recogidos durante el taller de cianotipia, implementado en el aula de 3ºESO, junto con varias de las cianotipias obtenidas.

Posteriormente, después de desarrollar la experiencia en el aula, se pasaron dos cuestionarios: un primer cuestionario sobre conceptos básicos de reacciones químicas y del proceso de la cianotipia (ver figura 8), y un segundo cuestionario de calidad y evaluación de la experiencia. En la figura 9 se pueden visualizar algunas de las preguntas realizadas en este segundo cuestionario.



**Figura 8.** Preguntas del cuestionario realizado en Formularios de Google sobre las reacciones químicas y la cianotipia.

El primer cuestionario fue respondido por un total de 41 alumnos y alumnas. De esos 41, lo superaron 35, es decir, un 85,4%. Los resultados demuestran que efectivamente, la experiencia planteada en la que se emplea la cianotipia como actividad experimental, ha servido para que adquieran los conceptos básicos de la química que hay detrás de la técnica de la cianotipia.



**Figura 9.** Valoración del taller por parte del alumnado mediante un segundo cuestionario.

El segundo cuestionario que se facilitó fue diseñado para comprender la percepción de los estudiantes hacia las prácticas experimentales en general, así como hacia la técnica de la cianotipia en particular. Este cuestionario proporcionó información valiosa sobre la actitud y la opinión del alumnado sobre las actividades prácticas en el aula, al igual que sobre su experiencia específica con la cianotipia.

El cuestionario se pasó a un total de 38 alumnos y alumnas de 3ºESO. El 89.5% del alumnado consideró que la profesora había fomentado su participación para que se integrasen en la actividad. El 94.7% de los chicos y chicas estuvo de acuerdo en que el taller de la cianotipia les ayudó a entender la química en un contexto creativo y artístico. Por último, el 92.1% coincidió en este tipo de actividades experimentales fomentan su motivación y curiosidad científica.

Durante el taller se destacó la figura de Anna Atkins como la impulsora de la técnica de la cianotipia y sobre su labor científica en una época en la que el acceso de la mujer a la ciencia no era reconocido. De esta forma se introdujo una perspectiva de género mediante la reconstrucción histórica.

## Discusión y conclusiones

Tras el trabajo realizado, se entiende que la cianotipia es una herramienta eficaz y versátil en la enseñanza de las ciencias, ya que permite una combinación única de experimentación práctica y expresión artística. Esta técnica ofrece una forma innovadora, tal y como se perseguía en el objetivo general I, de explorar y comprender conceptos científicos, fomentando el pensamiento crítico y la creatividad en el alumnado.

A pesar de que no todos los y las estudiantes con los que se trabajó tuvieron afinidad por la materia, prácticamente la totalidad del alumnado coincidió en que estos talleres experienciales promueven su motivación y actitud positiva, tal y como se pudo comprobar tras los resultados del cuestionario de calidad. Además, destacan la importancia de integrar enfoques interdisciplinarios en la educación para enriquecer la experiencia de aprendizaje. Todo ello contribuye a una educación de calidad, en línea con los ODS planteada como objetivo general IV.

Así mismo, el enfoque interdisciplinario apoya el tratamiento de elementos transversales y la educación en valores como el respeto del patrimonio, la igualdad de género, la ayuda entre iguales, el lenguaje respetuoso, la autonomía y responsabilidad, también incluidos en los ODS. Con ello, se demuestra la importancia de abordar la educación desde una perspectiva holística.

Con respecto a la metodología empleada, centrada en el alumnado, se puede concluir que la cianotipia puede adaptarse para satisfacer sus necesidades individuales y estilos de aprendizaje. Los proyectos pueden ser diseñados con diferentes niveles de complejidad y flexibilidad, lo que permite la participación de todos los y las estudiantes, independientemente de su nivel de habilidad o interés. Este enfoque inclusivo apoya la diversidad según el DUA. Dentro de la pluralidad que puede presentar un aula, la investigación docente juega un papel fundamental, ya que puede promover el fomento de estos tipos de inteligencia al diversificar los métodos de enseñanza, adaptarse a los estilos y tiempos de aprendizaje del alumnado. También favorece desarrollar materiales educativos diversos y fomentar la autoeficacia, ayudar a construir su autoconcepto y desarrollar su autoestima (Martín et al., 2009). Al hacerlo, el cuerpo docente puede crear un ambiente de aprendizaje más inclusivo y efectivo que reconozca y valore la diversidad de habilidades y talentos de sus estudiantes.

La integración de la cianotipia en el currículo de ciencias, en sintonía con el objetivo general II -fomento de un vínculo entre ciencia y arte- y el objetivo específico III -rescatar figuras femeninas en el campo del arte y la ciencia-, propicia algunos aspectos pedagógicos como el aprendizaje experiencial y la interdisciplinariedad, ya que esta técnica tiende un puente entre disciplinas aparentemente dispares como la química, la física, la botánica, el arte y la historia. La nueva cultura *arte y ciencia* tiene como objetivo promover la comprensión, la reflexividad, la mejora de la empatía y la apertura a la diversidad. «Una cultura de pensadores creativos de las artes y las ciencias que se unen para combinar sus conocimientos y habilidades para idear innovaciones, colaboraciones y, sobre todo, nuevas formas de ayudar a sanar este planeta» (Vesna citada en Stocker & Hirsch, 2017, p. 59).

Los resultados de la investigación sobre las técnicas fotográficas sin cámara se ven reflejados no solo en el marco teórico que fundamenta este trabajo, sino también en la contextualización durante el desarrollo del taller. Con el estudio y conocimiento de la variedad de técnicas fotográficas alternativas y su evolución, se alcanzó la consecución del objetivo específico I.

La creación de un herbario durante la fase de experimentación y, en consonancia con el objetivo específico II planteado, ha servido para conocer y familiarizarse con la técnica antes de implementarla en el aula. Además, utilizar distintas plantas locales (endémicas, comunes e invasoras) para la elaboración del herbario mediante la cianotipia ha proporcionado una oportunidad única para conectar los conceptos científicos con el entorno local, logrando así un aprendizaje contextualizado, recogido entre los principios psicoeducativos en la enseñanza eficaz. Así mismo, esta actividad promueve una comprensión más profunda de la biodiversidad regional y fomenta el aprecio por el medio ambiente, otro de los objetivos específicos propuestos respecto a los ODS (objetivo IV). Conocer, contextualizar y valorar la ciencia como una construcción colectiva, sin género que requiere de una interacción con el resto de la sociedad. Este aspecto, que coincide con una de las competencias del currículo de la ESO y Bachillerato, es primordial en la educación científica, debido a que la ciencia a menudo se percibe como un campo distante y ajeno a la vida cotidiana de muchas personas. Por ende, vencer las visiones simplistas que frecuentemente se tiene sobre la ciencia también es una labor importante que el y la docente debe desempeñar dentro de su tarea de divulgar ciencia.

Al destacar el trabajo y los logros de las mujeres científicas, acorde al objetivo III, la investigación docente puede inspirar a las niñas y mujeres jóvenes a seguir carreras en campos STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), y erradicar estereotipos de género arraigados (Barrancos, 2021; Donoso-Vázquez & Carvalho, 2016; García, 2012).

Por otro lado, Elena Zabalza, inspirada en el trabajo de Anna Atkins, utiliza la técnica como un instrumento de reflexión y crítica sobre nuestra propia especie y sobre la contaminación y el agotamiento de recursos que genera la industria hotelera y el turismo masivo. Un tema de total actualidad y que repercute de forma grave y directa en el desarrollo sostenible de las Islas Canarias.

## Bibliografía

- Abrahamson, H. B., Rezvani, A. B., & Brushmiller, J. G. (1994). Photochemical and spectroscopic studies of complexes of iron(III) with citric acid and other carboxylic acids. *Inorganica Chimica Acta*, 226, 117–127.
- Anderson, C. (2019). *Cyanotype: The Blueprint in Contemporary Practice*. Routledge.
- Argerich, I. (2023). *Fotografía de obras de arte en museos y colecciones: la fototeca del ipce*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Asimov, I., Cruz, Alfredo., & Villena, M. Isabel. (1999). *Breve historia de la química: introducción a las ideas y conceptos de la química*. Alianza Editorial.
- Barrancos, D. (2021). Notas sobre la indispensable formación docente con perspectiva de género. *Revista Argentina de Investigación Educativa*, 1(1), 31–41. <https://portalrevistas.unipe.edu.ar/index.php/raie/article/view/6/2>
- Castillo, O. V. (2023). Didactic considerations on the adjustment of redox reactions. Description of a hybrid adjustment method. *Educacion Quimica*, 34(3), 16–31. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.3.84161>
- Causapé, J. F. (2005). Del daguerrotipo al colodión: la imagen de España a través de la fotografía del siglo XIX. *Berceo*, 149, 9–34. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2229422>
- Cuevas, J. (2009). *Fotografía y conocimiento. La imagen científica en la era electrónica (Desde los inicios hasta 1975)*. Editorial Complutense.
- Davis, K., Christodoulou, J., Seider, S., & Gardner, H. (2011). The Theory of Multiple Intelligences. In RJ Sternberg & SB Kaufman (Eds.), *Handbook of Intelligence* (pp. 485–503). New York: Cambridge University Press.
- Díaz, C. D., & Leon, N. S. (2016). Cianotipia y óxido-reducción: secuencia didáctica fundamentada en la enseñanza para la comprensión. *Revista Del Sistema de Práctica Pedagógica y Didáctica*, (55). <https://doi.org/10.17227/PPDQ.2016.num55.6486>
- Donoso-Vázquez, T., & Carvalho, M. E. P. de. (2016). La perspectiva de género en la investigación educativa. *Cadernos de Pesquisa*, 23(3), 78-87. <https://doi.org/10.18764/2178-2229.v23n3p78-87>
- Fabbri, M., & Fabbri, G. (2006). *Blueprint to cyanotypes: exploring a historical alternative photographic process*. <https://www.alternativephotography.com/>
- Fiorito, P. A., & Polo, A. S. (2015). A New Approach toward Cyanotype Photography Using Tris-(oxalato)ferrate(III): An Integrated Experiment. *Journal of Chemical Education*, 92(10), 1721–1724. <https://doi.org/10.1021/ed500809n>
- Franchi, S. (2023). Crafting and collecting cyanotypes: Anna Atkins's Photographs of British Algae: Cyanotype Impressions. *Literature Compass*. <https://doi.org/10.1111/lic3.12708>



- García, E. (2020). Photography an instrument of power: A historical approach. *Segle XX, 13*, 190–212. <https://doi.org/10.1344/segleXX2020.13.9>
- García Perales, R. (2012). La educación desde la perspectiva de género. *Revista de La Facultad de Educación de Albacete, 27*, 1-18.
- García-Roa, R. (2023). A picture and a thousand words: The pairing of photography and science. *Metode Science Studies Journal, 13*, 5–9. <https://doi.org/10.7203/metode.14.25534>
- Gil-Segovia, J. A. (2022). La cianotipia como recurso en el arte contemporáneo: una luz azul que no se apaga. *Arte, Individuo y Sociedad, 34*(1), 167–186. <https://doi.org/10.5209/aris.73063>
- Herrera-Herrera, A. V., Mohamed-Rodríguez, N., Socas-Rodríguez, B., & Mallo, C. (2020). Development of a QuEChERS-based method combined with gas chromatography-mass spectrometry for the analysis of alkanes in sediments. *Microchemical Journal, 155*. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104774>
- James, C. (2016). *Alternative Photographic Processes (3rd ed.)*. Cengage Learning.
- Karen, P., McArdle, P., & Takats, J. (2014). Toward a comprehensive definition of oxidation state (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry, 86*(6), 1017–1081. <https://doi.org/10.1515/pac-2013-0505>
- Kmet', A., Drozdíková, A., Nagyová, S., & Ikhardt, P. (2023). The Cyanotype Process and Its Potential in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education, 100*(6), 2367–2372. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01089>
- Kranz, J., Baur, A., & Möller, A. (2023). Learners' challenges in understanding and performing experiments: a systematic review of the literature. *Studies in Science Education, 59*(2), 321–367. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2138151>
- Latorre, J. (2012). Fotografía y Arte: Encuentros y Desencuentros. *Revista de Comunicación, 11*, 24–47.
- Liprandi, D., Quiroga, M., Paredes, J., Lederhos, C., & Betti, C. (2016). *Taller para Estudiantes Cianotipia. Reacción fotoquímica irreversible*. <https://www.fiq.unl.edu.ar/culturacientifica/wp-content/uploads/2016/09/Cianotipia.-Domingo-Liprandi-y-Jose-Paredes.pdf>
- Loock, H. P. (2011). Expanded definition of the oxidation state. *Journal of Chemical Education, 88*(3), 282–283. <https://doi.org/10.1021/ed1005213>
- Martín Bravo, C., Calleja González, M. A. I., & Navarro Guzmán, J. I. (2009). Adolescencia. In *Psicología del desarrollo para docentes* (pp. 191–206). Ediciones pirámide.
- Martínez, R. (2007). *La investigación en la práctica educativa: Guía metodológica de investigación para el diagnóstico y evaluación en los centros docentes*. Ministerio de Educación y Ciencia, Subdirección General de Información y Publicaciones.

- Moreno-Saez, M. C. (2016). Aplicaciones didácticas de la cianotipia en la educación artística. Un proceso compatible con el medio ambiente. *ArDIn. Arte, Diseño e Ingeniería*, 5, 31–46.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Resolución A/RES/70/1.
- Pastor, C. A. (2016). *Diseño Universal para el Aprendizaje: Educación para todos y prácticas de enseñanza inclusivas*. Morata.
- Post, M. (2023). *Alternative Process Photography for the Contemporary Photographer*. Routledge.
- Real Academia Española (2019). Diccionario de la lengua española. <https://www.rae.es/>
- Reinhold, G., Overs, M., Russell, E., Nanian, J., Caradies, J., Figal, G., Woll, M., Essl, D., & Sibbern-Larsen, B. (2012). *The caffanol cookbook*. [http://dickkoolish.com/rmk\\_page/misc/The%20Caffenol%20Cookbook%20&%20Bible%20-%20Recipes%20and%20Tutorials.pdf](http://dickkoolish.com/rmk_page/misc/The%20Caffenol%20Cookbook%20&%20Bible%20-%20Recipes%20and%20Tutorials.pdf)
- Roig-Vila, R. (2018). *El compromiso académico y social a través de la investigación e innovación educativas en la Enseñanza Superior* (1ª ed.). Octaedro.
- Sáez, J. M. (2018). *Estilos de aprendizaje y métodos de enseñanza*. Universidad Nacional de Educación a Distancia Editorial.
- Sattar, S. (2017). The Chemistry of Photography: Still a Terrific Laboratory Course for Nonscience Majors. *Journal of Chemical Education*, 94(2), 183–189. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00400>
- Stocker, G. and Hirsch, A. (2017). *The Practice of Art and Science*. Hatje Cantz.
- Tomé, M., & Manzano, B. (2016). *Investigación en la práctica docente*. Fundación Universitaria Antonio Gargallo
- Walter, B. (1994). Pequeña historia de la fotografía. *Discursos interrumpidos I*, 61-83. Taurus.
- Ware, M. (2008). Chemical Education Today Prussian Blue: Artists' Pigment and Chemists' Sponge. *Journal of Chemical Education*, 85(5)
- Ware, M. (2021). *Platinotype: making photographs in platinum and palladium with the contemporary printing-out process*. Routledge.