

## El diagnóstico de pintura moderna un aliado en la enseñanza de química

Annette S. Ortiz Miranda

**Resumen:** Antiguamente era muy común que los artistas hicieran labores de química para preparar pigmentos, barnices disolventes, e incluso sus herramientas. Aunque hoy en día es muy poco probable que el artista prepare sus propios materiales, la relación entre arte y química sigue siendo obvia. Durante las últimas décadas, la química se ha abierto paso en el arte a través de ramas como la conservación y fue precisamente a través de esta, que encontró su aliado como herramienta de diagnóstico, ya que, la industria química es en gran medida responsable de la evolución en el uso de materiales artísticos en la actualidad. Sin embargo, la contribución de esta al arte no es conocida de la misma manera a nivel mundial, como, por ejemplo, en regiones del Caribe. La evolución científica internacional y la tecnología han dado lugar a nuevos campos en las ciencias que han generado mayor interés y han dejado de lado las ciencias puras es por esto por lo que maestros/profesores buscan métodos de enseñanza motivadores. La preocupación por una mejor educación e interés en química es un asunto internacional. Uno de los objetivos es hacer que los cursos de ciencias sean más interesantes para los alumnos. En algunos casos, se ha recurrido a utilizar la relación entre la química y el arte como un campo de estudio interdisciplinar resaltando el uso de esta carrera científica como herramienta de diagnóstico. Este artículo muestra cómo el análisis científico de obras de grandes artistas como: Georgia O'Keeffe, Francisco Oller, Ramón Frade, entre otros, fue la carta de presentación en programas de difusión, educación y mentoría. Poniendo en evidencia que la relación de entre ambas ramas, especialmente con la pintura moderna, puede ser un método de método eficiente y motivador para la enseñanza de carreras científicas.

**Palabras clave:** Química, análisis científico de obras de arte, pintura moderna, educación, carreras STEM

### The diagnosis of modern paintings an ally for teaching chemistry

**Abstract:** In ancient times, it was common for artists to do chemistry tasks to prepare pigments, solvents, varnishes, and even their tools. Nowadays, it is very unlikely for an artist to prepare his materials, although the relationship between art and chemistry remains evident. During the last decades, chemistry has made its way into art through fields such as conservation. It was precisely through this that it found its ally as a diagnostic tool since the chemical industry is mainly responsible for the evolution of artistic materials used today. However, the contribution of chemistry to art is not known in the same way worldwide, for example, in regions of the Caribbean. The international scientific and technological evolution has given rise to new fields in the sciences that have generated greater interest and have left the pure sciences aside, which is why teachers and professors look for more motivating teaching methods. The concern for better education and interest in chemistry is an international issue. One of the goals is to make science courses more interesting for students. In some cases, the relationship between chemistry and art has been used as an interdisciplinary field, highlighting the use of this scientific career as a diagnostic tool. This paper shows how the scientific analysis of artworks by great artists such as Georgia O'Keeffe, Francisco Oller, Ramón Frade, among others, was used as a headline in dissemination, education and mentoring programs. Proving that the relationship between these two fields, especially with modern painting, can be an efficient and motivational teaching method for scientific careers.

**Keywords:** Chemistry, analysis of artworks, modern paintings, education, STEM careers

#### Química y arte moderno

Antiguamente era muy común que los artistas hicieran labores de química para preparar pigmentos, barnices, disolventes, e incluso sus herramientas. Por ejemplo, Plinio el viejo (23

#### Chemistry and modern art

In ancient times, it was very common for artists to do chemistry tasks to prepare pigments, varnishes, solvents, and even their tools. For example, Pliny the

- 79 C.E.) en su escrito *Sobre la Pintura Griega* (Pliny 1896), incluye testimonios del pasado sobre el conocimiento de la pintura desde el punto de vista técnico. Así mismo se pueden encontrar textos pertenecientes a la Edad Media llenos de recetas químicas en los que se hacía referencia a la preparación de pigmentos. Cennino Cennini en su libro "IL Libro dell' Arte", describe la preparación de materiales artísticos que van desde barnices hasta un sinnúmero de pigmentos entre ellos el negro carbón, la tierra verde, el azul ultramar y algunos más. También se pueden encontrar referencias a la química del color y la preparación de pigmentos en manuscritos de las escuelas Bizantinas e italianas como menciona en su libro *Dionysiou* (1981). Muchos de estos informes y más se incluyen en el libro *Artist's Pigments 1600 - 1835* (Harley 1982) en el que se hace una revisión sobre la importancia de tener un conocimiento básico de química en el arte. Sin embargo, es con la llegada de la Revolución Industrial a partir del siglo XIX, cuando ocurrió una transición en el proceso de manufactura de materiales artísticos tanto en Europa como en Estados Unidos. Esta transición tuvo como resultado una explosión en la producción de nuevos materiales que fueron aplicados al campo del arte, así como un cambio en la manera cómo se conocía la química hasta ese momento (Plenderleith 1950; Ihde 1984; Oxtoby 2015). Por ejemplo, la Revolución Industrial ha sido en gran medida responsable de los cambios observados en la gama de colores y los materiales artísticos durante la época moderna. De hecho, algunos de los materiales utilizados por los artistas actualmente, serían inimaginables para los grandes maestros del pasado ya que muchos de ellos no hubieran sido posibles sin la Revolución Industrial.

Hoy en día es innumerable la cantidad de productos que ha generado la industria química y que han sido utilizados por los artistas como: pinturas, disolventes, adhesivos, soportes, papeles, barnices y utensilios artísticos. Además de la producción de materiales artísticos, la química ha desarrollado una relación muy estrecha con la conservación de obras de arte que ha derivado en el uso de métodos físico-químicos para el estudio, análisis y conservación de obras de arte actualmente considerados de gran importancia (Groen 2014). Esto ha dado como resultado el desarrollo de métodos de conservación, y de análisis de obras de arte de un modo menos invasivo, tanto para las obras, respetando su integridad física, como para la salud de los conservadores, alcanzando cotas de baja toxicidad en los disolventes y materiales utilizados.

A pesar de ello, la contribución de la química al arte no es conocida de la misma manera a nivel global. En algunos países donde esta relación es un tanto obvia para los artistas, no lo es para las nuevas generaciones de químicos. Aun así, las sinergias entre química, arte y conservación también han evolucionado a lo largo de la historia con la llegada de la Revolución Industrial. Por ello no podemos perder de vista que los nuevos materiales artísticos requieren nuevos métodos de conservación y nuevas herramientas de diagnóstico. Sin duda, una de las contribuciones más relevantes de la Revolución Industrial a la historia del arte fue la salida al mercado de nuevos pigmentos y formatos de pintura, como los tubos de pintura de aluminio inventados

Elder (23 - 79 C.E.), in his writing *On Greek Painting* (Pliny 1896), includes testimonies from the past about the mastery of painting from a technical point of view. Likewise, you can find texts from the Middle Ages full of chemical recipes used to prepare pigments. Cennino Cennini, in his book "IL Libro dell' Arte ", describes the preparation of artistic materials from varnishes to countless pigments, including carbon black, earth green, ultramarine blue and more. References to the chemistry of colour and pigments' preparation can also be found in manuscripts of the Byzantine and Italian schools, as Dionysiou (1981) mentioned in his book. Many of these reports and more are included in the book *Artist's Pigments 1600-1835* (Harley 1982), in which the author reviewed the importance of having a basic understanding of chemistry in art. However, with the arrival of the Industrial Revolution in the 19th century, a transition occurred in the manufacturing process of artistic materials both in Europe and the United States. This transition resulted in an explosion in the production of new materials that ended up being applied to the arts and a change in the way chemistry was known until then (Plenderleith 1950; Ihde 1984; Oxtoby 2015). For example, the Industrial Revolution has been primarily responsible for the changes observed in the range of colours and art materials during the Modern Era. In fact, some of the materials used by artists today would be unimaginable to the great masters of the past since many of them would not have been possible without the Industrial Revolution.

Nowadays, the number of products that the chemical industry has generated and used by artists is innumerable, including paints, solvents, adhesives, supports, papers, varnishes, and artistic tools. In addition to the production of artistic materials, chemistry has developed a very close relationship with the conservation of cultural heritage that has led to the use of physico-chemical methods for the study, analysis and conservation of artworks currently considered of great importance (Groen 2014). Resulting in the development of conservation methods and analysis of artworks in a less invasive way for the artworks, respecting their physical integrity and the conservators' health, reaching levels of low toxicity in the materials used.

Despite this, the contribution of chemistry to art is not known in the same manner globally. In some countries where this close relationship is somewhat apparent for the artists, it is not so for the new generations of chemists. Even when the synergies between chemistry, art and conservation evolved throughout history with the advent of the Industrial Revolution, for this reason, it is essential to highlight that new artistic materials require new conservation methods and new diagnostic tools. Without question, one of the most relevant contributions of the Industrial Revolution to the history of art was the introduction to the market of new pigments and paint formats, such as the aluminium

por John G. Rand en 1841 y la pintura en aerosol. Estas nuevas formas de almacenamiento permitieron a los artistas salir del taller y pintar al aire libre, ya que podían transportar los colores de modo cómodo y práctico. Mientras que los botes de pintura en aerosol han permitido una pintura rápida y furtiva a través del grafiti. Con estas nuevas formas de almacenamiento de pinturas los fabricantes especializados en pinturas artísticas comienzan a experimentar con químicos y otros materiales, apareciendo así toda una serie de aditivos que con el tiempo han acabado evolucionando en infinidad de patrones de degradación y deterioro (Crook y Learner 2000). Esto hace que la pintura moderna y contemporánea sea compleja, a la vez que extraordinaria. Sin embargo, todo ello puede suponer grandes retos para la comunidad científica de conservadores y químicos especialistas en el estudio de obras de arte. Algunas de las líneas actuales de investigación en química, dedicadas al estudio y análisis de la pintura moderna, van desde el desarrollo de técnicas no invasivas, el estudio de los procesos de degradación, la preparación de muestras, métodos más conscientes con la salud de los conservadores y el ambiente, etc. (Brunetti *et al.* 2016; Narayan 2003; van der Weerd *et al.* 2004; Izzo *et al.* 2014; Rosi *et al.* 2010). Actualmente, la química ha pasado, de ser la inspiración en la fabricación de materiales artísticos, a ser la herramienta de diagnóstico en el estudio de la pintura moderna.

Este vínculo entre la química y el arte moderno provee un abanico de oportunidades para la enseñanza de las Ciencias Químicas con un enfoque interdisciplinar y a su vez es un campo de investigación atractivo para las nuevas generaciones de científicos, creándose a su vez, espacio para la innovación.

### **Crecimiento tecnológico vs interés en carreras en ciencias**

En las últimas décadas la evolución científica internacional y la tecnología han dado lugar a nuevos campos en las ciencias que han generado mayor interés y han dejado de lado las ciencias puras. A raíz de esto la demanda por estudiar carreras en ciencias puras, en particular química, ha disminuido mucho en los últimos años y continúa disminuyendo a nivel internacional [Figura 1]. Este desinterés se traduce en una escasez continua de químicos y personal científicamente cualificado. En los últimos años organizaciones científicas han reclamado que se debe reforzar la educación en carreras STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) a nivel mundial, con particular énfasis en grupos poco representados como minorías<sup>[2]</sup> y mujeres. Del mismo modo, muchos investigadores resaltan que las Ciencias Químicas no son una carrera académica popularmente atractiva y que hay una deficiencia en el campo a todos los niveles: educativo, académico e industrial. Por ejemplo, existe un pensamiento prejuicioso al respecto y tanto en las escuelas como en la universidad es muy común escuchar comentarios como: “la química es aburrida”, “la mayoría de las personas no entienden la química”, “el hecho de estudiar química me aterra”, “no soy capaz de aprender química”, “para qué me sirve la química”, etc.

paint tubes invented by John G. Rand in 1841 and the painting in aerosol. These new forms of storage allowed artists to leave the workshop and paint in the open air since they could transport the colours comfortably and practically. At the same time, spray paint cans have allowed for quick and sneaky painting through graffiti. With these new ways of storing paints, artists' colourmen begin to experiment with chemicals and other materials, thus emerging a series of additives that have ended up evolving in countless patterns of degradation and deterioration (Crook and Learner 2000)—making modern and contemporary painting complex as well as extraordinary. However, all this can constitute significant challenges for the scientific community of conservators and chemists specializing in artwork study. Some of the current chemistry research lines dedicated to the study of modern painting range from the development of non-invasive techniques, the study of degradation processes, the preparation of samples, methods that are more aware of the health of the conservators and the environment, etc. (Brunetti *et al.* 2016; Narayan 2003; van der Weerd *et al.* 2004; Izzo *et al.* 2014; Rosi *et al.* 2010). Currently, chemistry has gone from being the inspiration in the manufacture of artistic materials to being the diagnostic tool in the study of modern painting.

This bond between chemistry and modern art provides a range of opportunities for Chemical Sciences teaching with an interdisciplinary approach. In turn, it is an attractive research field for new generations of scientists, with room for innovation.

### **Technological progress vs the interest in science careers**

In the last decades, the international scientific and technological evolution has given rise to new fields in the sciences that have generated greater interest and have left the pure sciences aside. Due to this, the choice to study a career in pure sciences, particularly chemistry, has decreased dramatically and continues to decline internationally [Figure 1]. This disinterest translates into a continuing shortage of chemists and scientifically qualified personnel. In recent years, scientific organizations have claimed that STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) career education should be strengthened worldwide, emphasizing underrepresented groups such as minorities<sup>[2]</sup> and women. Similarly, many researchers emphasize that Chemical Sciences are not a popular career choice and that the field is deficient on all levels: education, academia, and industry. For example, there is prejudiced thinking about this field. Both in schools and the university, it is prevalent to hear comments such as: “chemistry is boring”, “most people do not understand chemistry”, “the fact of studying chemistry terrifies me”, “I am not able to learn chemistry”, “what is chemistry good for”, and so on.

Estudios indican que son varios los factores que influyen en la elección de una carrera profesional, entre ellos se encuentran: los factores relacionados con la personalidad del individuo y; los factores relacionados al ambiente y al contexto en el que el individuo se desarrolla e interactúa (Lent *et al.* 2002; 2008; Avargil *et al.* 2020). Entre los primeros, se incluyen las habilidades, las expectativas y los objetivos personales. Mientras que los segundos hacen referencia a la relación con la familia y amigos, así como a las experiencias de aprendizaje (Lent *et al.* 2002). En este artículo nos centraremos en uno de los factores ambientales citados, las experiencias de aprendizaje.

Las carreras en STEM, como la química, son esenciales para el desarrollo de la ciencia y la tecnología a nivel internacional. Para combatir esta falta de interés por las ciencias químicas en las aulas, hace falta un equipo docente comprometido e inspirador. Es importante mencionar que se desconoce con exactitud a qué edad hay que dirigir los esfuerzos para producir un impacto o cambio sustancial con respecto a la elección de una carrera profesional. Sin embargo, sí que se conocen varios puntos de transición en los que es muy probable tener cierta influencia en la elección. Uno de ellos es la transición entre la escuela secundaria y la universidad, aun así, la influencia de maestros y profesores tiene un efecto en todos.

Es importante que, tanto científicos, investigadores como educadores, unan fuerzas para crear eventos de "intervención" enfocados a impactar las actitudes y percepciones de las carreras científicas. Algunos ejemplos de estos eventos de "intervención" enfocados a hacer la química más atractiva incluyen campamentos con experiencias educativas, charlas de profesionales activos y nuevos métodos de enseñanza.

Algunos estudios confirman que las percepciones positivas en el ambiente de aprendizaje se asocian con actitudes favorables hacia el aprendizaje, la ciencia, el rendimiento académico y la autoeficacia académica (Fraser 1998; 2014; Tsai 2000; Wild 2015). Algunas formas de crear estas percepciones positivas de cara a la química en el ambiente de aprendizaje pueden ser charlas y presentaciones por químicos(as), e instruir a los alumnos sobre carreras científicas. Poder exponer a los alumnos a profesionales activos en el campo de la química, puede cambiar la percepción que tienen de que las ciencias químicas del ámbito formativo están desconectadas de la sociedad y que al contrario está conectada con su día a día (Espinosa *et al.* 2013). Este tipo de actividades a la vez promueven el desarrollo de otras habilidades útiles como el pensamiento crítico.

Debido a esto muchos maestros y profesores se han dado a la tarea de buscar métodos educativos más motivadores y han pedido a los desarrolladores de módulos educativos de ciencia que estos sean más atractivos para los alumnos (Willis 1993; Nivens *et al.* 2010; van Bramer 2010; Turkka *et al.* 2017). Es dentro de esa búsqueda que muchos educadores descubrieron que podían despertar ese interés en los alumnos utilizando el arte y relacionándolo con la química de forma interdisciplinaria e individualizada.

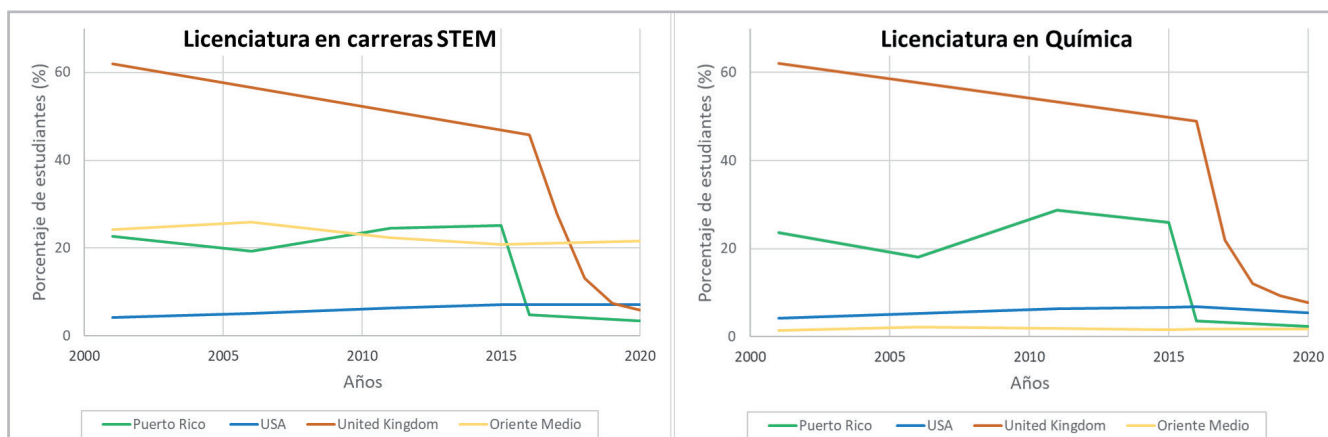
Career development studies have identified that several factors can influence the professional career choice, among them are (i) factors related to the individual's personality and; (ii) factors related to the environment and the context in which the individual develops and interacts (Lent *et al.* 2002; 2008; Avargil *et al.* 2020). The former include personal aspects, one's abilities, expectations, and personal goals. While the latter refers to the relationship with family and friends and learning experiences (Lent *et al.* 2002). In the article, we will focus on one of the environmental factors cited, the learning experiences.

STEM careers, like chemistry, are essential to the development of science and technology internationally. An inspiring and engaging teaching team is needed to fight this lack of interest in chemical science in the classroom. It is important to mention that it is still unclear at what age efforts must be directed to produce a substantial impact concerning the choice of a professional career. However, there are several known transition points where it is very likely to influence the election. One of them is the transition between high school and college, yet the impact of teachers and professors affects everyone.

Scientists, researchers, and educators must join forces to create "intervention" events to influence attitudes and perceptions of scientific careers. Some examples of these "intervention" events to make chemistry more attractive include out-of-school science activities with educational experiences, talks from active scientists, and new teaching methods.

Some studies confirm that positive perceptions of the learning environment are associated with favourable attitudes towards learning, science, academic achievement, and academic self-efficacy (Fraser 1998; 2014; Tsai 2000; Wild 2015). Some ways to create these positive perceptions of chemistry in the learning environment can be talks and presentations by chemists and science careers-oriented activities. Exposing students to active chemistry professionals can change their perception that chemical sciences in the educational field are disconnected from society. That, on the contrary, is connected with their day-to-day life (Espinosa *et al.* 2013). These types of activities, in turn, promote the development of other vital skills such as critical thinking.

Due to this, many teachers and professors have found more motivating teaching methods and have asked the module reformers to make science courses more attractive and relevant to the students (Willis 1993; Nivens *et al.* 2010; van Bramer 2010; Turkka *et al.* 2017). Within this search, many educators discovered that they could awaken the students' interest by relating art to chemistry interdisciplinary and individualized.



**Figura/Figure 1.-** Porcentaje de alumnos que recibieron una licenciatura en carreras STEM (izquierda) y una licenciatura en química (derecha) en los últimos 20 años en Puerto Rico, USA, United Kingdom y Oriente Medio. Los datos mostrados son representativos de los datos reportados en compendios estadísticos de educación / Percentage of students who received a bachelor's degree in STEM careers (left) and a bachelor's degree in chemistry (right) in the last 20 years in Puerto Rico, USA, United Kingdom and the Middle East. The data shown are representative of the data reported in educational statistical compendia

### Relación entre la química y el arte, aliados de la educación

La relación entre la química y las obras de arte ha sido muy estrecha a través de la historia del arte. Albert Einstein una figura universal y un científico extraordinario dijo: "Las artes y las ciencias son ramas de un mismo árbol" (Caglioti 2017: 49).

En las últimas décadas los químicos que trabajan en el desarrollo de las ciencias químicas aplicadas al ámbito museístico, en colaboración con los trabajos de conservación han desarrollado nuevos métodos para la conservación de obras de arte y objetos arqueológicos con gran éxito. Hoy en día la contribución de la química al análisis de obras de arte se puede clasificar de forma muy general en cinco categorías: datación, conservación, composición, degradación y desarrollo de nuevos métodos de análisis.

La química como interfaz de la historia, el arte y la arqueología da como resultado una mezcla interesante de disciplinas capaz de resolver antiguas interrogantes sobre los objetos artísticos. Sin embargo, en la actualidad la química, sufre un problema de desprestigio. Desafortunadamente, en la última década, el término "químico" ha adquirido una connotación negativa, relacionándolo con hechos como la contaminación atmosférica, producto de la industria o del uso incorrecto o inapropiado de químicos en diferentes ámbitos comerciales. Un resultado inesperado de esto es la quimiofobia una aversión un tanto absurda e irracional contra sustancias químicas o a la química en general (Duffus 2007; Ropeik 2015). Una posible solución para reducir este miedo ha sido la elaboración de proyectos en los que se utiliza la química como herramienta para el estudio de objetos "atractivos" al público en general. Esto a su vez sirve para demostrar su utilidad y beneficios en las escuelas y universidades, como por ejemplo hablar sobre el uso de materiales de producción industrial que son utilizados en obras de arte o las reacciones químicas involucradas en el proceso de preparación de pinturas. Podemos aseverar en

### Relationship between chemistry and art, allies of teaching

The relationship of chemistry with art has been very close throughout the history of art. Albert Einstein, a universal figure and an extraordinary scientist, said, "The arts and sciences are branches of the same tree" (Caglioti 2017: 49).

In recent decades, chemists specialized the study of cultural heritage fields, working in collaboration with conservators and have developed new methods for the conservation of artworks and archaeological objects. Today the contribution of chemistry to the analysis of cultural heritage can be classified very broadly into five categories: dating, conservation, composition, degradation and development of new methods of analysis.

As the interface of history, art and archaeology, chemistry results in an exciting mix of disciplines capable of solving ancient questions about artistic objects; however, today, chemistry suffers from a problem of discredit. Unfortunately, the term "chemical" has acquired a negative connotation, relating it to events such as atmospheric pollution, a product of industry or the incorrect or inappropriate use of chemicals in different commercial settings. An unexpected result is chemophobia, a somewhat absurd and irrational aversion to chemicals or chemistry in general (Duffus 2007; Ropeik 2015). A possible solution to reduce this fear has been developing projects in which chemistry studies objects "attractive" to the public. For example, talks about the use of industrial production materials in artworks or the chemical reactions involved in the paint production process; this, in turn, demonstrates its usefulness and benefits in schools and universities. We can assert in this sense that the approach to an

este sentido, que el acercamiento a una obra de arte desde el punto de vista químico es de interés científico y educativo. Así lo han confirmado asociaciones científicas como la American Chemical Society (ACS) con el tema *Química y arte* durante de la Semana de Química en 2001 donde se hacía énfasis en las conexiones interdisciplinarias. También se puede encontrar un gran número de artículos en revistas científicas en los que se hace referencia a la relación entre la química y las prácticas en las artes desde una perspectiva educativa (Kafetzopoulos *et al.* 2006; Greenberg 1988).

Si nos cuestionamos qué se debería incluir en la enseñanza en el ámbito de la química general, deberíamos en primer lugar preguntarnos, ¿qué es esencial para la química moderna? En este sentido, una forma de encontrar la inspiración para ello puede ser acercarse a la pintura y al arte moderno, que son un reflejo fehaciente de la complejidad de la industria química moderna. Por ejemplo, las reacciones químicas, fundamentales en ésta, como metodología de enseñanza podría ser hablar sobre las reacciones químicas responsables de los cambios químicos que ocurren en las obras de arte como parte de su envejecimiento. Otra alternativa, es la química vista como una herramienta de diagnóstico en el estudio de pintura moderna (y su degradación) y el desarrollo de nuevas metodologías de análisis. Incluir este tipo de ejemplos en las asignaturas formativas, para romper con los clásicos tópicos, como el típico volcán de las ferias científicas.

### Ejemplos de diagnóstico y Casos prácticos

#### —Ejemplos de diagnóstico

A lo largo del artículo se utilizará el término “ejemplos de diagnóstico” para hacer referencia a los casos de estudio de análisis de pintura moderna utilizados como herramienta educativa. Es importante mencionar que estos ejemplos, son estudios de investigación llevados a cabo por el autor en colaboración con varias instituciones. Aun así, el objetivo principal de esta sección no es mostrar los resultados obtenidos, sino mostrar el impacto que estos pueden tener al ser utilizados como herramienta educativa fuera del campo de la conservación del patrimonio. Para ello se propone un modelo de referencia inspirado en el modelo para la integración de las artes en las ciencias diseñado por Turkka *et al.* (2017) [Figura 2].

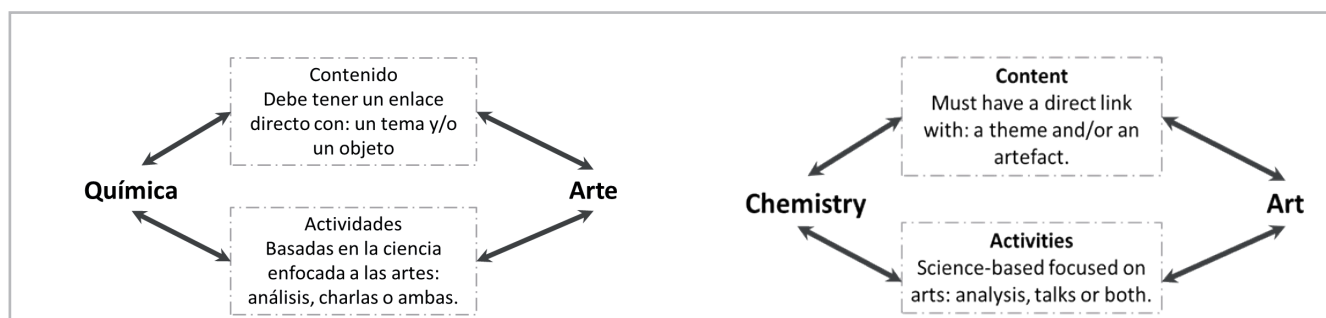
artwork from the chemical point of view is of scientific and educational interest. Scientific associations such as the American Chemical Society (ACS) that used the topic *Chemistry and Art* during the Chemistry Week in 2001 to emphasize interdisciplinary connections have confirmed this. Articles about the relationship between chemistry and practices in the arts from an educational perspective can be found in scientific-oriented journals (Kafetzopoulos *et al.*, 2006; Greenberg 1988).

If we ask ourselves what should be included in general chemistry, we should first ask what is essential for modern chemistry? In this sense, one way to find inspiration for it might be to approach modern art and painting, which are a reliable reflection of the complexity of the modern chemical industry. For example, the basis of chemical reactions could be taught through the chemical reactions responsible for the chemical changes in the artwork product of ageing. Another alternative could be the chemistry seen as a diagnostic tool in studying modern painting (and its degradation). The development of new analytical methodologies, including examples in the teaching subjects, breaks with the classic topics, such as the typical volcano of science fairs.

### Diagnostic Examples and Case Studies

#### — Diagnostic examples

The term “diagnostic examples” will refer to the case studies of modern painting analysis used as an educational tool throughout the article. It is essential to mention that these examples are research studies carried out by the author collaborating with various institutions. The main objective of this section is not to show the results obtained but to show the impact that these can have when used as an educational tool outside the cultural heritage conservation field. For this, a reference model inspired by the framework for integrating the arts in the sciences designed by Turkka *et al.* (2017) is proposed [Figure 2].



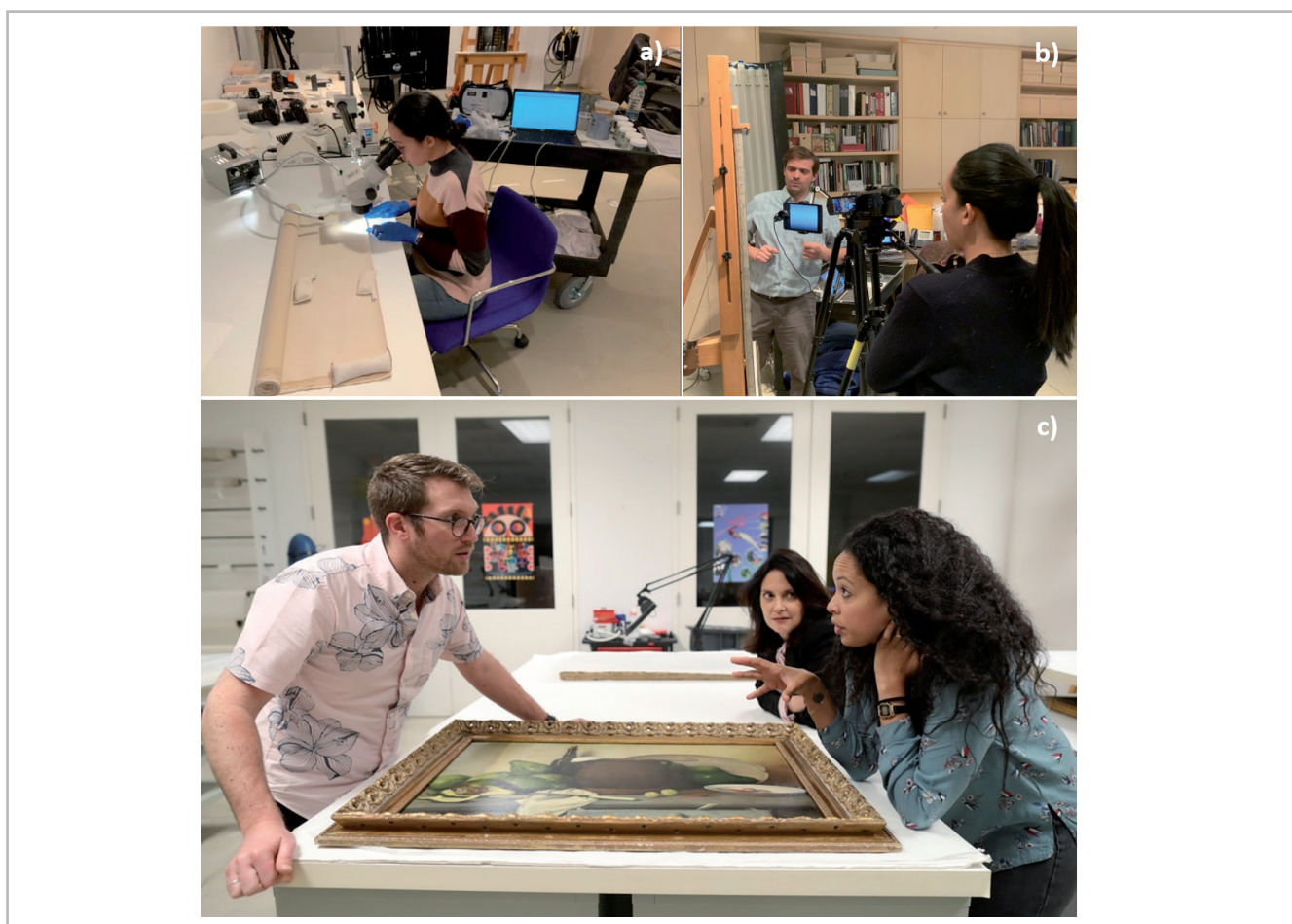
**Figura/Figure 2.**— Modelo para la integración del arte en la enseñanza de la química y/o ciencias. / Model for art integration in chemistry and / or science teaching

A continuación, se describen los ejemplos de diagnóstico utilizados como herramienta educativa en los casos prácticos:

**Georgia O'Keeffe Museum.** Estudio de la presencia de grandes cantidades de jabones metálicos en las obras de Georgia O'Keeffe. Este proyecto fue producto de una colaboración entre el Center for Scientific Studies in the Arts en Northwestern University (NU-ACCESS) y el Georgia O'Keeffe Museum en Santa Fe, Nuevo México. Uno de los objetivos de este estudio era entender cómo los materiales utilizados por O'Keeffe en un periodo específico de su carrera, entre 1920 y 1950, podía haber afectado a la estabilidad de algunas de sus pinturas al óleo (Ortiz Miranda *et al.* 2020). Con este ejemplo de diagnóstico se buscaba mostrar la importancia de la interdisciplinariedad en la investigación y el impacto que tienen los conceptos de química fundamental en obras de arte. Para ello se describió la química que existe detrás de la formación de jabones metálicos en las pinturas al óleo, así como la instrumentación utilizada durante el estudio, haciendo énfasis en la importancia de habilidades como la solución de problemas en el estudio de pintura moderna [Figura 3a y b].

The diagnostic examples used as an educational tool in the case studies are described below:

**Georgia O'Keeffe Museum.** Study of the presence of large amounts of soaps protrusions in the oil paintings of Georgia O'Keeffe. This project was a collaboration between the Center for Scientific Studies in the Arts at Northwestern University (NU-ACCESS) and the Georgia O'Keeffe Museum in Santa Fe, New Mexico. One of the objectives of this study was to understand how the materials used by O'Keeffe in a specific period of her career, between 1920 and 1950, could have affected the stability of some of her oil paintings (Ortiz Miranda *et al.* 2020). This diagnostic example aimed to show the importance of interdisciplinary research and the impact that fundamental chemistry concepts have on artworks. For this, the chemistry behind the formation of metal soaps in oil paintings was described and the instrumentation used during the study, emphasizing the importance of skills such as problem-solving in the analysis of modern painting [Figure 3a and b].



**Figura/Figure 3.-** Los investigadores Annette S. Ortiz Miranda, PhD y Ollie Cossairt, PhD examinando algunos de los materiales de la artista (a) y documentando una de las obras (b) en el Georgia O'Keeffe Museum en Santa Fe, New Mexico. Imágenes cortesía de Dale Kronkright conservador del Georgia O'Keeffe Museum (a y b). Los químicos Marc Vermeulen, PhD y Annette S. Ortiz, PhD, junto a la directora del museo Marta Mabel Pérez durante la investigación llevada a cabo en el MAPR (c). Imagen cortesía de el periódico El Nuevo Día (c). / Researchers Annette S. Ortiz Miranda, PhD and Ollie Cossairt, PhD examining some of the artist's materials (a) and documenting one of the works (b) at the Georgia O'Keeffe Museum in Santa Fe, New Mexico. Images courtesy of Dale Kronkright Curator of the Georgia O'Keeffe Museum (a and b). Chemists Marc Vermeulen, PhD and Annette S. Ortiz, PhD, together with museum director Marta Mabel Pérez during the research carried out at MAPR (c). Image courtesy of the newspaper El Nuevo Día (c).

**Museo de Arte de Puerto Rico (MAPR).** Este ejemplo de diagnóstico tenía como objetivo la caracterización de la paleta artística de una serie de artistas puertorriqueños. El estudio incluía 11 obras pertenecientes a la colección permanente del MAPR de 8 artistas puertorriqueños entre los siglos XVIII al XX. Los artistas seleccionados formaron parte de la transición sociopolítica y cultural que se vivió en Puerto Rico (PR) cuando pasó de ser una colonia española a un territorio invadido por EEUU. Es en esta época cuando artistas y ciudadanos puertorriqueños comenzaron una búsqueda de identidad intentando definirse, cabe señalar que, en esta batalla, la pintura fue una de las armas más utilizadas. Es por ello que, uno de los objetivos del proyecto fue identificar el origen de los materiales usados por los artistas para a posteriori compartir esta información con artistas emergentes puertorriqueños (Barceló Jiménez 2020). Este ejemplo de diagnóstico es considerado de gran relevancia, ya que la mayoría de los individuos impactados en los casos de estudio estaban familiarizados con las obras y esto generaba percepciones positivas en el ambiente de aprendizaje. Además, estaba permitida la visita de alumnos mientras se llevaba a cabo el análisis a las obras. A esto hay que sumar el hecho de que este ejemplo sirvió como herramienta de aprendizaje para explicar conceptos básicos de química que tienen lugar en el proceso de producción de materiales artísticos y la tecnología utilizada durante el análisis. En las discusiones se plantearon temas sobre la química moderna y la interdisciplinariedad [Figura 3c].

Los ejemplos de diagnóstico descritos anteriormente fueron acompañados de otros encontrados en la literatura.

#### —Casos prácticos

A continuación, se presentarán una serie de casos prácticos en los que se utilizaron los ejemplos de diagnóstico descritos anteriormente, como herramienta educativa. Todos tienen como objetivo crear impacto en instituciones, escuelas y universidades de PR. Es de conocimiento del autor la carencia de información con respecto a las carreras STEM en el sistema de educación de ese país, por su desempeño como recurso de instituciones educativas y programas de mentoría enfocados a la formación y educación de las nuevas generaciones de puertorriqueños. Para cada uno de los casos se describirá la edad estimada del grupo, el enfoque de la discusión y el impacto que tuvo en los individuos. Como se mencionó anteriormente se desconoce con exactitud la edad precisa en la que se genera un mayor impacto por el interés en carreras científicas. Por esta razón los casos prácticos incluyen: alumnos de escuela superior (*on site* y *online*), alumnos universitarios, así como maestros/ profesores.

**Maestros/ profesores.** El Cultural Heritage Innovation Program del Puerto Rico Science Technology & Research Trust, es un programa que apoya proyectos relacionados con el patrimonio cultural y los sectores creativos. Dentro de ese marco se organizó un evento de intercambio de conocimiento, entre científicos de PR y EEUU donde se exponían proyectos de investigación enfocados al estudio

**Museo de Arte de Puerto Rico (MAPR).** This diagnostic example aimed to characterize the artistic palette of a series of Puerto Rican artists. The study included 11 works belonging to the museum permanent collection of 8 Puerto Rican artists from the 18th to the 20th centuries. The selected artists were part of the socio-political and cultural transition in Puerto Rico (PR) when it went from being a Spanish colony to a territory invaded by the United States. During this time, the Puerto Rican artists and citizens began a search for identity to define themselves, and it should be noted that, in this battle, the painting was one of the primary weapons. That is why one of the project's objectives was to identify the origin of the materials used by the artists to share this information with emerging Puerto Rican artists (Barceló Jiménez 2020). This diagnostic example is highly relevant since most of the individuals impacted in the case studies were familiar with the works, which positively affected the learning environment. In addition, students' visits were allowed while the analysis of the artworks was carried out. It must be added that this example served as a teaching tool to explain basic chemistry concepts that occur in the production of artistic materials and the technology used during the analysis. In the discussions, issues about modern chemistry and interdisciplinarity were raised [Figure 3c].

Other cases found in the literature accompanied the diagnostic examples described above.

#### —Case studies

Next, a series of case studies will be presented in which the diagnostic examples described above were used as an educational tool. They all aim to create an impact in institutions, schools and universities in PR. The author is aware of the lack of information regarding STEM careers in the country's education system due to its performance as a resource for educational institutions and mentoring programs focused on training and educating the new generations of Puerto Ricans. For each case, the estimated age of the group, the focus of the discussion and the impact it had on the individuals will be described. As previously mentioned, the exact age at which the most significant impact is generated in the scientific career choice is unknown. For this reason, the case studies include high school students (*on-site* and *online*), university students, and teachers/professors.

**Teachers/ professors.** The Cultural Heritage Innovation Program of the Puerto Rico Science Technology & Research Trust is a program that supports projects related to cultural heritage and the creative sectors. Within this framework, a knowledge exchange event was organized between PR and US scientists where research projects focused on the study of cultural



del patrimonio. Este encuentro estaba dirigido a maestros de artes y ciencias de escuela superior y profesores de universidad de los departamentos de Artes y Ciencias. De hecho, el evento tenía tres objetivos principales, el primero era que los profesionales asistentes tomaran consciencia de los recursos disponibles en el Puerto Rico Science Technology & Research Trust. El segundo objetivo, era, que los asistentes salieran de allí con nuevas perspectivas de enseñanza que les permitieran desarrollar las asignaturas, en particular las de ciencia, de un modo más atractivo y, por último, promover el *networking*. Durante los descansos se promovió la interacción entre los presentadores y los asistentes, favoreciendo el intercambio de contactos personales.

**Alumnos de escuela superior on site y online.** Los alumnos de escuela superior se clasificaron en dos grupos representativos de dos metodologías de alcance diferentes *on site* y *online*, en ambos casos se utilizó el mismo ejemplo de diagnóstico. El primer grupo fueron los alumnos de la Escuela Central de Artes Visuales de San Juan, PR y el segundo grupo fueron alumnos de la Escuela Superior de la Universidad de Puerto Rico (UHS), una institución que sirve como modelo, por su naturaleza de escuela laboratorio para la Facultad de Educación de la Universidad de Puerto Rico (UPR) Recinto de Río Piedras.

— *On site*

El primer grupo fue llevado al laboratorio de conservación del MAPR donde parte del equipo de trabajo NU-ACCESS realizaba una serie de análisis in situ con técnicas no-invasivas que incluían Imagen hiperespectral en la región visible e infrarrojo cercano (HSI) y rastreo con un espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X (MA-XRF). El proyecto, que era una colaboración entre NU-ACCESS y el MAPR, gracias al apoyo económico de la Andrew Mellon Foundation, tenía como objetivo la caracterización de la paleta pictórica de ocho artistas puertorriqueños con la intención de conocer más sobre la evolución y técnica artística de los mismos en medio de la transición sociopolítica-cultural que vivió PR. Es interesante señalar que el MAPR cuenta con un departamento de educación dedicado a crear herramientas de enseñanza inspiradas en la colección del museo. Por esta razón, el proyecto no solo era de gran interés para el departamento de conservación del museo, sino que además debía tener un componente educativo. Así que se planteó la oportunidad de recibir alumnos durante el estudio a las obras. Las visitas estaban dirigidas a alumnos de escuela superior interesados en las artes y en las ciencias, para poder profundizar y tener la oportunidad de conocer más sobre los artistas y desarrollar así las líneas de investigación paralelas al arte. También se les daba la oportunidad a los maestros a preguntar y documentar el proceso para que luego utilizaran esta información como herramienta educativa en las aulas. Durante la visita, los alumnos mostraron estar familiarizados con las obras y esto permitió que se dedicara más tiempo a hablar sobre la instrumentación, lo que se buscaba con el estudio y la importancia de las colaboraciones interdisciplinarias. Al final de la charla se animó a los alumnos a hacer preguntas e interactuar individualmente

heritage were presented. This meeting was aimed to impact high school teachers and university professors from the Arts and Sciences departments. The event had three main objectives; the first was for the attending professionals to become aware of the Puerto Rico Science Technology & Research Trust resources. The second objective was for the attendees to leave with new teaching perspectives that would allow them to develop the subjects, particularly science, in a more attractive way and, finally, promote networking. During the breaks, the interaction between the presenters and the attendees was encouraged, favouring the exchange of personal contacts.

**High school students on site and online.** High school students were classified into two representative groups with two different outreach methodologies on-site and online; the same diagnostic example was used in both cases. The first group were students from the Escuela Central de Artes Visuales of San Juan, PR, and the second group were students from the University of Puerto Rico High School (UHS). This institution serves as a model due to its nature as a laboratory school for the Faculty of Education of the University of Puerto Rico (UPR) Río Piedras Campus.

— *On-site*

The first group went to the conservation department of MAPR, where part of the NU-ACCESS team carried out a series of in situ analyzes with non-invasive techniques that included hyperspectral imaging in the visible and near-infrared region (HSI) and mapping with a macro X-Ray Fluorescence Spectrometer (MA-XRF). The project, which was a collaboration between NU-ACCESS and MAPR, thanks to the financial support of the Andrew Mellon Foundation, aimed to characterize the pictorial palette of 8 Puerto Rican artists to learn more about the evolution and artistic technique of these in the middle of the sociopolitical-cultural transition that PR experienced. Interestingly, MAPR has an education department dedicated to creating teaching tools inspired by the museum's collection. For this reason, the project was not only of great interest to the museum's conservation department but also had to have an educational component. So the opportunity to receive students while analyzing the artworks was raised. The visits were aimed at high school students interested in the arts and sciences to deepen and have the opportunity to learn more about the artists and thus develop lines of research parallel to art. Teachers were also given a chance to ask questions, document the process, and then use this information as an educational tool in the classroom. During the visit, the students showed that they were familiar with the artworks, which allowed more time to be spent talking about the instrumentation, the findings and the importance of interdisciplinary collaborations. At the end of the talk, the students were encouraged to ask questions and interact individually with the researchers. This activity

con los investigadores. Esta actividad impactó a un total de 25 alumnos y 5 de maestros [Figura 4].

impacted a total of 25 students and five teachers [Figure 4].



**Figura/Figure 4.-** Alumnos de la Escuela Central de Artes Visuales de San Juan, PR durante su visita al MAPR. / Students from the Escuela Central de Artes Visuales of San Juan, PR during their visit to MAPR

— *Online*

El segundo grupo de impacto estaba representado por los alumnos de la escuela UHS. En este caso se presentó una charla como parte de las actividades de la Semana de la Ciencia organizada por esta misma escuela. La actividad tuvo lugar *online* debido a las restricciones de encuentros físicos producto de la crisis sanitaria producida por la pandemia de Covid-19. Es importante mencionar que la organizadora del evento era una maestra de física que asistió a la actividad organizada por el Cultural Heritage Innovation Program del Puerto Rico Science Technology & Research Trust, orientada a maestros y profesores, por lo que ya podemos hablar de un patrón de impacto en el sistema educativo.

Al igual que en el grupo anterior, la herramienta educativa utilizada fue el ejemplo de diagnóstico del estudio realizado en el MAPR. Además, se incluyeron otros ejemplos de aplicabilidad de otras carreras en STEM al estudio e investigación de pintura moderna entre ellas, biología, ingeniería, física, ciencias de computación, y química. La actividad estaba dirigida a toda la escuela incluidos alumnos y maestros. Durante el tiempo que duró la charla el número de asistentes alcanzó los 50 y se realizó una grabación que sería compartida con todos los miembros de la escuela.

En ambos casos, tanto *on site* como *online*, en la sesión de preguntas y discusión realizadas al final del encuentro la mayoría de las interrogantes estaban dirigidas a qué era necesario estudiar, dónde y cómo hay que hacer para dedicarse a trabajar en este campo de la ciencia. Esto pone en evidencia que es un campo de investigación y/o disciplina de trabajo desconocido en gran parte de la región del Caribe, y particularmente en Puerto Rico.

Alumnos universitarios. Este caso práctico está representado por los alumnos del Departamento de Física de la Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez (UPR-

— *Online*

UHS students represented the second group. In this case, a talk was presented as part of the Science Week activities organized by the school. The activity took place online due to restrictions on physical encounters because of the health crisis caused by the Covid-19 pandemic. It is important to mention that the organizer of the event was a physics teacher who attended the activity organized by the Cultural Heritage Innovation Program of the Puerto Rico Science Technology & Research Trust, aimed at teachers and professors, which means that there is already a pattern of impact on the educational system.

As in the previous group, the educational tool used was the diagnostic example of the MAPR. In addition, other examples of the applicability of different STEM careers to the study and research of modern painting were included, such as biology, engineering, physics, computer science, and chemistry. The activity was aimed at the whole school, including students and teachers. They recorded the event and shared the recording with all members of the school. During the time that the talk lasted actively online, the number of attendees reached 50.

In both cases, on-site and online, in the question and discussion session held at the end, most of the questions were directed at what was necessary to study, where and how to do to dedicate oneself to work in this field of science. This shows that it is an unknown field of research and professional career in much of the Caribbean region, and particularly in Puerto Rico.

University students. The students of the Physics Department of the University of Puerto Rico Mayagüez Campus (UPR-RUM) represent this practical case. The

RUM). La actividad estaba organizada por la Sociedad de Estudiante de Física (SPS) de la UPR- RUM y dirigida a todos los miembros SPS a nivel nacional e incluía invitados internacionales. Al igual que con el grupo anterior se observó un patrón de impacto en el sistema educativo, ya que la persona encargada había sido uno de los ponentes en el evento organizado por la UHS como parte de la Semana de la Ciencia. Durante la charla se discutió la convergencia entre la física y la química, utilizando una serie de ejemplos de diagnóstico en los que se puso en evidencia la relevancia de la interacción de estas dos ciencias puras para beneficio de la conservación de la pintura moderna y contemporánea. Al igual que sucedió con los alumnos de la escuela superior en la sesión de preguntas y discusión, la mayoría de las estas estaban dirigidas a saber más sobre el proceso a seguir para desarrollar una carrera profesional en este campo de investigación. Solo uno de los asistentes mencionó haber escuchado anteriormente sobre la posibilidad de desarrollar líneas y proyectos de investigación en la universidad enfocados al estudio del patrimonio. Además de una pregunta referente a los resultados presentados y las capacidades de la instrumentación. Esto confirma que la falta de conocimiento sobre otros campos de investigación, a parte de la industria farmacéutica y manufactura, va más allá de las aulas de escuela superior.

## Conclusiones

Los maestros, profesores, universitarios y alumnos de la escuela secundaria fueron introducidos en el análisis científico de la pintura moderna, dentro del marco de sus actividades educativas. El objetivo principal era concienciar a los alumnos sobre otras líneas de trabajo dentro de las carreras STEM, y en particular mostrar cómo la química es una herramienta útil en el diagnóstico de la pintura moderna.

Otra parte importante de este estudio fue el impacto que tuvo en los maestros y profesores, ya que el desconocimiento a su vez dio lugar a nuevos descubrimientos y oportunidades de estudio, investigación y desarrollo de nuevas perspectivas y metodologías de enseñanza.

Al final, todos los participantes de los casos prácticos, incluidos en este artículo, tuvieron una reacción positiva con respecto al material presentado y disfrutaron aprendiendo sobre este campo de investigación. En general en todos los casos se observó una apreciación de la química diferente a la concebida previa a las actividades. Los participantes se familiarizaron con los componentes y problemas del arte moderno, así como con la instrumentación requerida para su completa caracterización. Este método de aprendizaje interdisciplinar crea un excelente entorno de aprendizaje, que conduce a una actitud positiva hacia las ciencias químicas y refuerza las percepciones positivas respecto a los factores que influyen en la elección de una carrera profesional.

## Agradecimientos

La autora agradece a todos los maestros, profesores y

activity was organized by the Physics Student Society (SPS) of the UPR-RUM and directed to all the SPS members at the national level and some international guests. As with the previous group, a pattern of impact on the educational system was observed since the person in contact was one of the speakers at the event organized by UHS as part of the Science Week event. During the talk, the convergence between physics and chemistry was discussed, using several diagnostic examples in which the relevance of the interaction of these two science fields for the benefit of the conservation of modern and contemporary painting was highlighted. As happened with the high school students in the question and discussion session, most of the questions were aimed at learning more about the process to follow to become a scientific professional in this field of research. Only one of the attendees mentioned having heard (previously) about the possibility of developing research projects at the university focused on studying cultural heritage. In addition, one question regarding the results presented and the capabilities of the instrumentation. This confirms that the lack of knowledge about other research fields, apart from the pharmaceutical industry and manufacturing, goes beyond the high school classrooms.

## Conclusions

Teachers, professors, university students, and high school students were introduced to the scientific analysis of modern painting within their educational activities. The main objective was to make students aware of other topics of work within STEM careers, mainly to show how chemistry is a valuable tool in the diagnosis of modern painting.

Another essential part of this study was the impact it had on teachers, since ignorance, in turn, led to discoveries and opportunities for study, research and development of new perspectives and teaching methodologies.

Ultimately, all participants in the case studies included in this article positively reacted to the material presented and enjoyed learning about this field of research. In all cases, a change in the appreciation of chemistry was observed after the activities. The participants became familiar with the components and problems of modern art and the instrumentation required for its complete characterization. This interdisciplinary learning method creates an excellent learning environment, leading to a positive attitude towards the chemical sciences and reinforcing positive perceptions regarding the factors that influence a professional career.

## Acknowledgements

The author would like to thank all the teachers, professors,

alumnos incluidos en esta publicación, así como a Dale Kronkright y Sol Rivera Delgado conservadores del Georgia O'Keeffe Museum, y el MAPR, respectivamente. Finalmente, a todos los miembros del equipo de NU-ACCESS por la gran labor de investigación que desempeñan.

and students included in this publication and Dale Kronkright and Sol Rivera Delgado, conservators of the Georgia O'Keeffe Museum and the MAPR, respectively. Finally, to all the members of the NU-ACCESS team for the excellent research work they do.

## Notas

[1] FFT Education datalab. <https://results.ffteducationdatalab.org.uk/as-level/all-subjects.php?v=20200923>. [consulta: 10/1/2021]. NATIONAL CENTER FOR EDUCATION STATISTICS, "Digest of Education Statistics". <https://nces.ed.gov/ipeds/use-the-data>. [consulta: 10/4/2021]. RIVERA ORTIZ, Y. Compendio Estadístico de la Universidad de Puerto Rico, en Estadísticas PR. <https://estadisticas.pr/en/inventario-de-estadisticas/compendio-estadistico>. [consulta: 10/4/2021]

[2] En el contexto de este artículo, las minorías hacen referencia a individuos que pertenecen a grupos étnicos minoritarios o que difieren en origen religioso y cultural de la población mayoritaria de un país.

## Notes

[1] FFT Education datalab. <https://results.ffteducationdatalab.org.uk/as-level/all-subjects.php?v=20200923>. [consulted: 10/1/2021]. NATIONAL CENTER FOR EDUCATION STATISTICS, "Digest of Education Statistics". <https://nces.ed.gov/ipeds/use-the-data>. [consulted: 10/4/2021]. RIVERA ORTIZ, Y. Statistical Compendium of the University of Puerto Rico, in PR Statistics. <https://estadisticas.pr/en/inventario-de-estadisticas/compendio-estadistico>. [consulted: 10/4/2021]

[2] In the context of this article, minorities refer to individuals who belong to minority ethnic groups or who differ in religious and cultural origin from the majority population of a country.

## Referencias/references

- AVARGIL S., KOHEN Z., DORI Y.J. (2020). "Trends and perceptions of choosing chemistry as a major and a career." *Chem. Educ. Res. Pract.*, 21: 668-684. <https://doi.org/10.1039/C9RP00158A>
- BARCELÓ JIMÉNEZ, J. (2020). "El Museo de Arte de Puerto Rico estudia colores y técnicas de 11 pinturas de la colección patrimonial", en *El Nuevo Día de Puerto Rico*. <https://www.pressreader.com/puerto-rico/el-nuevo-dia/20200218/281487868366462>. [consulta: 9/5/2021].
- BRUNETTI, B., MILIANI, C., ROSI, F., DOHERTY, B., MONICO, L., ROMANI, A., SGAMELLOTTI, A. (2016). "Non-invasive investigations of paintings by portable instrumentation: The MOLAB Experience". *Analytical Chemistry for Cultural Heritage*, 41-75. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-52804-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-52804-5_2).
- CAGLIOTI, G. (2017). "Art according to Albert Einstein". *Lettera Matematica* 5(1): 49-53. <https://doi.org/10.1007/s40329-017-0155-7>
- CENNINI, C. (1933). *Il libro dell' arte*, traducción por Thompson D.V. como *The Craftman's Handbook*. Yale University Press.
- CROOK, J., LEARNER, T. (2000). *The impact of Modern Paints*. Tate Gallery Publishing, London.
- DIONYSIOU (1981). *Explanation of Paintings, Mount Athos 1458*, Kalamata.
- DUFFUS, J.H., NORDBERG, M., TEMPLETON, D.M. (2007). "IUPAC glossary of terms used in toxicology", 2nd ed. I IUPAC, *Pure and Applied Chemistry* 79: 1153-1344. <http://media.iupac.org/publications/pac/2007/pdf/7907x1153.pdf>
- ESPINOSA A.A., MONTEROLA, S.L.C., PUNZALAN, A.E. (2013). "Career-oriented performance tasks in chemistry: effects on students' critical thinking skills". *Education Research International*, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2013/834584>
- FRASER, B.J. (1998). "Classroom environment instruments: Development, validity and applications". *Learning Environments Research* 1, 7-34. <https://doi.org/10.1023/A:1009932514731>
- FRASER, B. J. (2014). *Classroom learning environments*. Handbook of research on science education. New York, Routledge. 104 - 119
- GREENBERG, B. (1988). Art in Chemistry. An interdisciplinary approach to teaching art and chemistry. *Journal of Chemical Education*, 65 (2): 148 -150. <https://doi.org/10.1021/ed065p148>
- GROEN, K. (2014). *Paintings in the laboratory. Scientific examination for art history and conservation*. Archetype Publications, London.

- HARLEY, R.D. (1982). *Artists' Pigments, c. 1600-1835: A Study in English Documentary Sources*, 2nd ed.; Butterworth- Heinemann: Oxford.
- IHDE, A.J. (1984). *The development of modern chemistry*, Dover Publications, Inc. New York.
- IZZO, F.C., VAN DEN BERG, K.J., KEULEN, H., FERRIANI, B., ZENDRI, E. (2014) Modern Oil Paints – Formulations, Organic Additives and Degradation: Some Case Studies. In: van den Berg K. et al. (eds) *Issues in Contemporary Oil Paint*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10100-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10100-2_5)
- KAFETZOPOULOS, C., SPYRELLIS, N., LYMPEROPOULOU-KARALIOTA A. (2006) The chemistry of art and the art of chemistry. *Journal of Chemical Education*, 83, 1484 – 1488. <https://doi.org/10.1021/ed083p1484>
- LENT, R.W., BROWN, S.D., HACKETT, G. (2002) *Career Choice and Development – 4th ed.*, Jossey- Bass.
- LENT, R.W., LOPEZ, A.M., LOPEZ, F.G., SHEU, H.B.B. (2008) Social cognitive career theory and the prediction of interest and choice goals in the computing disciplines. *Journal Vocat Behav*, 73 (1), 52 – 62. <https://doi.org/10.1016/j.jvb.2008.01.002>
- NARAYAN, K. (2003) Preparation of cross- sections from easel paintings. *Studies in Conservation*, 48, 52 – 64. <https://doi.org/10.1179/sic.2003.48.Supplement-1.52>
- NATIONAL CENTER FOR EDUCATION STATISTICS, "Digest of Education Statistics". <https://nces.ed.gov/ipeds/use-the-data>. [consulta: 10/4/2021]
- NIVENS, D.A., PADGETT, C.W., CHASE, J.M., VERGES, K.J. (2010) Art, Meet Chemistry; Chemistry, Meet Art: Case Studies, Current Literature, and Instrumental Methods Combined to Create a Hands-on Experience for Nonmajors and Instrumental Analysis Students, *J. Chem. Educ* 87, 1089 – 1093. <https://doi.org/10.1021/ed100352f>
- ORTIZ MIRANDA, A.S., KRONKRIGHT, D., WALTON, M. (2020) The influence of commercial primed canvases in the manifestation of metal soaps protrusions in Georgia O'Keeffe's oil paintings. *Heritage Science*, 8 (107). <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00451-7>
- OXTOBY, D.W., GILLIS, H.P., BUTLER, L.J. (2015) *Principles of Modern Chemistry*, 8th ed.: Cengage Learning. Chapter 1.
- PLENDERLEITH H.J. (1950) The history of artists' pigments. *Science Progress*, 38 (150), 246 – 256. <http://www.jstor.org/stable/43422835>.
- PLINY, The Elder. *The Elder Pliny's Chapters on the History of Art*; Reprint Service Corp.: MacMillan and CO., New York, 1896; translated by K. Jex-Blake, commentary and historical introduction by E. Sellers.
- RIVERA ORTIZ, Y. *Compendio Estadístico de la Universidad de Puerto Rico*, en Estadísticas PR. <https://estadisticas.pr/en/inventario-de-estadisticas/compendio-estadistico>. [consulta: 10/4/2021]
- ROPEIK, D. (2015) On the roots of, and solutions to, the persistent battle between "chemonoia" and rationalist denialism of the subjective nature of human cognition. *Human & Experimental Toxicology*, 34 (12), 1272 – 1278. <https://doi.org/10.1177/0960327115603592>
- ROSI, F., MILIANI, C., CLEMENTI, C., KAHRIM, K., PRESCIUTTI, F., VAGNINI, M., MANUALI, V., DAVERI, A., CARTECHINI, L., BRUNETTI, B.G., SGAMELLOTTI, A. (2010) An integrated spectroscopic approach for the non-invasive study of modern art materials and techniques. *Applied Physics A* 100(3):613-624. <https://doi.org/10.1007/s00339-010-5744-7>
- TSAI, C.C. (2000) Relationships between student scientific epistemological beliefs and perceptions of constructivist learning environments. *Educational Research*, 42 (2), 193 – 205. <https://doi.org/10.1080/001318800363836>
- TURKKA, J., HAATAINEN O., AKSELA, M. (2017) Integrating art into science education: a survey of science teachers' practices, *International Journal of Science Education*, 39:10, 1403-1419. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1333656>
- VAN BRAMER, S. (2010) Teaching Chemistry in the New Century. *Journal of Chemical Education*, 78 (9), 1167 – 1174. <https://doi.org/10.1021/ed078p1173>
- VAN DER WEERD, J., HEEREN R.M.A., BOON, J.J. (2004) Preparation methods and accessories for the Infrared Spectroscopic Analysis of Multi-Layer paint films. *Studies in Conservation*, 49 (3), 193 – 210. <https://doi.org/10.1179/sic.2004.49.3.193>
- WILD, A. (2015) Relationships between High School Chemistry Student's Perceptions of a Constrictivist Learning Environment and their

STEM Career Expectations. *International Journal of Science Education*, 37:14, 2282 – 2305. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1076951>

WILLIS, S. (1993) *Curriculum Integration: The Chemistry of Art*. Education Update

---

### Autor/es



**Annette S. Ortiz Miranda**

[asom@smk.dk](mailto:asom@smk.dk)

Statens Museum for Kunst, København K,  
Denmark

<http://orcid.org/0000-0001-9223-8099>

Annette es química con un doctorado en Ciencias y Conservación del Patrimonio Cultural. Se unió al equipo de investigación de la Galería Nacional de Dinamarca (SMK - CATS) como investigadora / científica de la conservación en 2021. Su trabajo se enfoca en la identificación y caracterización de los materiales y técnicas artísticas, así como en la comprensión de sus patrones de degradación. Obtuvo un doctorado en 2017 después de completar un proyecto sobre el desarrollo de métodos analíticos para la caracterización de pinturas al temple y sus procesos de deterioro en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València, España y el Institute of Biochemistry, Analytical, and Environmental Chemistry en la Universität Greifswald en Alemania. También tiene un Máster en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural de la Universitat Politècnica de València, España. Antes de unirse al equipo de trabajo de SMK- CATS, trabajó como investigadora postdoctoral en el Center for Scientific Studies in the Arts en Northwestern University en Chicago, donde centró su investigación en el estudio de los jabones metálicos en pintura moderna y ganó experiencia en el uso de métodos de análisis no invasivos y métodos actuales de procesamiento de datos para el análisis de obra pictórica. Más allá de su trabajo en SMK, Annette ejerce como consultora científica de museos e instituciones culturales en el Caribe, está comprometida con programas de mentoría en carreras STEM y es parte de la colección virtual más grande del mundo de perfiles de científicas latinas de la organización "If Then She Can"

---

Artículo enviado el 08/11/2021  
Artículo aceptado el 28/11/2021



<https://doi.org/10.37558/gec.v20i.1073>