

**Estudio Histórico-Crítico y Experimental de la Transformación de Sustancias como el
Agua y el Dióxido de Carbono durante la Fotosíntesis en las Plantas**

PABLO ENRIQUE GIL MORA

**Trabajo de Grado para optar por el título de Magister en Docencia de las Ciencias
Naturales**

Asesores

JUAN ALBERTO ALDANA GONZÁLEZ

ANDREA ROCÍO TOLEDO ARANDA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES

BOGOTÁ, D. C.

2023

“Para todos los efectos, declaramos que el presente trabajo es original y de nuestra total autoría: en aquellos casos en los cuales hemos requerido del trabajo de otros autores o investigadores, hemos dado los respectivos créditos”

Tabla de contenido

Introducción	5
Contexto Problemático	8
La Transformación de las Sustancias en la Fotosíntesis como Fenómeno de Estudio	8
Reflexiones Sobre la Enseñanza de la Fotosíntesis.....	13
Tensiones y Discusiones en el Contexto de las Políticas Públicas de Educación.....	16
Aportes desde la Formación como Docente de Ciencias Naturales	24
Objetivos	26
Entre Teorías y Experimentos: Diálogos alrededor de la Transformación del Dióxido de Carbono y el Agua en la Fotosíntesis	27
Agua, Aire y el Primer Acercamiento a las Estructuras: Diálogo con Van Helmont, Grew y Hales.....	29
Sustancias, Condiciones y Estructuras que Convergen: Diálogo con Priestley e Ingenhousz..	34
La Transformación de las Sustancias ¿Agua o Dióxido Carbono?: Diálogo con Berthollet, Senebier, De Saussure y Van Niel	48
Algunos Comentarios Alrededor de los Diálogos Establecidos.....	56
Fotosíntesis: Transformación de las Sustancias como el Dióxido de Carbono y el Agua Condicionada por la Luz en las Estructuras de la Planta	60
Las Estructuras que Intervienen en la Transformación del Agua y el Dióxido de Carbono en la Fotosíntesis.....	60
La luz y su Interacción con los Pigmentos	64
La Fotosíntesis: del Agua y el Dióxido de Carbono a el Oxígeno y la Glucosa	67
Consideraciones Sobre la Transformación del Agua y el Dióxido de Carbono.....	70
Estudio Experimental de la Transformación del Agua y el Dióxido de carbono en la Fotosíntesis.....	73
Sobre los Efectos de la Variación del Dióxido de Carbono en Características Observables en las Hojas de las Plantas	74

Sobre la Generación de Nuevas Hojas en la Planta Favorecida por el Dióxido de Carbono y la Influencia de la Luz en este Fenómeno	78
Sobre la Relación de los Tallos y las Hojas con la Transformación del Dióxido de Carbono y el Agua en la Planta por la Influencia de la Luz	83
Sobre la Influencia de Distintas Longitudes de Onda en la Transformación del Agua y el Dióxido de Carbono en las Hojas.....	88
Explicaciones Derivadas del Trabajo Experimental	93
Sobre la Transformación de las Sustancias en la Fotosíntesis desde lo Experimental	96
Propuesta para la Enseñanza de la Transformación del Agua y el Dióxido de Carbono Durante la Fotosíntesis en las Plantas.....	99
Descripción de la Propuesta	99
Fases Constituyentes de la Propuesta de Aula	103
Reflexiones Alrededor de la Enseñanza de la Transformación de las Sustancias Durante la Fotosíntesis en las Plantas	113
Los Estudios Histórico-Críticos y la Transformación de las Sustancias en la Planta	113
La Experimentación y la Construcción de Explicaciones en torno a la Transformación del Agua y el Dióxido de Carbono durante la Fotosíntesis.....	116
Proyecciones y Recomendaciones para la Enseñanza de la Fotosíntesis.....	118
Referencias.....	121

Introducción

Este trabajo de grado aborda un estudio alrededor del fenómeno de la transformación de sustancias como el agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis en las plantas, el cual emerge fundamentalmente desde las dificultades a las cuales se ha visto expuesto el autor a la hora de formular estrategias para la enseñanza de la fotosíntesis. Como consecuencia de lo anterior, se parte tanto del interés por profundizar en las relaciones entre las sustancias y los organismos vegetales, como por hacer una constante reflexión de carácter disciplinar, histórico, epistemológico y pedagógico promovida por los distintos seminarios de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales.

En este sentido, se desarrolla un estudio histórico-crítico centrado en el análisis de fuentes primarias, el diseño y análisis de actividades experimentales que permitieron la organización del fenómeno aquí abordado, la construcción de explicaciones por parte del docente, así como la consolidación de una propuesta de aula para la enseñanza del mismo.

De esta forma, se propuso un estudio fenomenológico de la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis, en la que las actividades experimentales fueron un eje articulador para analizar y comprender el fenómeno desde sus relaciones con las estructuras de la planta y las condiciones necesarias para que el proceso se lleve a cabo.

Este documento se estructura en siete capítulos titulados: a) Contexto problemático, b) Objetivos, c) Entre teorías y experimentos: diálogos alrededor de la transformación del dióxido de carbono y el agua durante la fotosíntesis, d) Fotosíntesis: transformación del dióxido de carbono y el agua condicionada por la luz en las estructuras de la planta, e) Estudio experimental de la transformación del agua y el dióxido de carbono durante fotosíntesis, f) Propuesta para la enseñanza de la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis y g)

reflexiones alrededor de la enseñanza de la transformación de las sustancias durante la fotosíntesis.

El primero de ellos, aborda una serie de reflexiones que hacen de la transformación de las sustancias durante la fotosíntesis un fenómeno de interés para el autor, a partir del cual se problematiza su enseñanza alrededor de algunas prácticas reduccionistas y descontextualizadas, así como algunas tensiones derivadas del análisis de las políticas públicas que regulan los currículos de ciencias en Colombia. A partir de esto, se proponen los objetivos del trabajo descritos en el segundo capítulo centrados en desarrollar un análisis histórico crítico y experimental de la transformación del dióxido de carbono y el agua desde una perspectiva fenomenológica que favorezca la comprensión de la transformación de las sustancias en la fotosíntesis.

En el tercer capítulo, se desarrolla un análisis histórico-crítico a partir del diálogo con distintas fuentes primarias de científicos que abordan, desde distintas intenciones y formas de proceder, relaciones entre sustancias, estructuras y condiciones en el proceso de la fotosíntesis. Los textos abordados son trabajados en su idioma original con una traducción libre del autor. Es así que se seleccionan autores como Van Helmont, Grew y Hales que describen un primer vínculo entre agua o aire con las estructuras y posteriormente con Priestley e Ingenhousz quienes logran en sus textos describir relaciones entre la materia verde, la luz y la sustancias.

En el cuarto capítulo se profundiza en aspectos que favorecen la comprensión del fenómeno, los cuales son la organización macroscópica y microscópica de la hoja, así como la influencia de la luz, con el fin de analizarlos desde la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis.

Las actividades experimentales diseñadas, desarrolladas y analizadas para el estudio de la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis son descritos en el capítulo cinco del documento, de los cuales se derivan las explicaciones construidas por el autor y que son base fundamental para la propuesta de aula presentada en el capítulo seis.

Con respecto a esta propuesta de aula, es un sitio web titulado “TransPlanTar” que tiene como objetivo relacionar a los estudiantes con el estudio de la transformación de las sustancias en la fotosíntesis a partir de la construcción de explicaciones derivadas del trabajo experimental con plantas, el cual surge de las reflexiones construidas en cada una de las dimensiones que configuran este trabajo de grado. Se diseña para ser implementada con estudiantes de media académica, donde se destaque el trabajo experimental, el diálogo con científicos que han abordado el fenómeno, la socialización con sus compañeros, así como la construcción de textos y otros materiales que den cuenta de sus explicaciones sobre el fenómeno abordado.

Por último, se presentan una serie de reflexiones derivadas de la investigación donde se configuraron los criterios fundamentales para las distintas fases de la propuesta de aula, a partir de los cuales se describen algunas proyecciones y recomendaciones sobre el trabajo desarrollado.

Contexto Problemático

El estudio de fenómenos desde lo histórico-crítico y lo experimental por parte de los docentes de ciencias naturales emerge de las necesidades que surgen en distintos espacios académicos a nivel de formación inicial, continuada y la reflexión constante sobre su práctica educativa, alrededor del qué y cómo enseñar. Ligado a esto se encuentra una serie de dificultades que el autor ha presentado en torno a sus estrategias de aula que lo lleva a cuestionarse por las formas cómo entiende y se acerca a el fenómeno de la transformación de las sustancias en la fotosíntesis.

Estas situaciones guían el trabajo de tal forma que no solo cuestiona sus prácticas, sino también las de otros, así como las exigencias de las políticas públicas con el fin de analizar el cómo se ha comprendido el fenómeno y las posibilidades que trae consigo este trabajo para modificar su proceder en el aula, en este sentido, este capítulo se centra en las discusiones derivadas de los distintos aspectos mencionados.

La Transformación de las Sustancias en la Fotosíntesis como Fenómeno de Estudio

Estudiar la transformación de las sustancias como el agua y el dióxido de carbono y su relación con los organismos en procesos como la fotosíntesis, lleva consigo al diálogo y cuestionamiento alrededor de las estructuras y funciones, así como los recorridos y transformaciones que estas sustancias sufren en los procesos de los seres vivos, como lo menciona Jacob (1984) “El análisis y la comparación no se ejercen ya solamente sobre los elementos que componen los objetos, sino sobre las relaciones internas que se establecen entre dichos elementos” (p. 85), es decir que, para comprender la fotosíntesis, no solo se puede hablar de unas sustancias reactantes y unas sustancias producidas durante una reacción química o la conversión de energía solar a energía química, como suele afirmarse en diferentes trabajos,

textos escolares o publicaciones; en este sentido, el proceso definido como fotosíntesis que es primordial para la vida en la tierra no puede ser atribuido a una molécula específica o reducido solo a una ecuación química, sino que se encuentra ligado a comprender las sustancias, sus transformaciones, estructuras y condiciones que lo posibilitan.

Estas afirmaciones que Jacob hace para abordar la organización de lo viviente, permiten trascender de la clasificación de los seres al conocimiento de lo vivo, se considera que llevan a replantear lo que se piensa y dice alrededor de los diferentes fenómenos que se vinculan con los organismos. En el caso de este trabajo, se considera que exige un análisis por parte de los docentes de ciencias naturales frente a lo que han venido enseñando y cómo lo han enseñado, esto implica una profundización en las comprensiones que tienen de la fotosíntesis que no puede ser reducida a la suma de las sustancias, estructuras y condiciones que en ocasiones parecen desconectadas.

Las situaciones descritas, llevan a reflexiones críticas y acciones sobre la forma en que se relaciona el autor con este fenómeno, que van desde el análisis de sus comprensiones de la fotosíntesis, pasando por el interés por comprender la transformación de las sustancias en los organismos, hasta realizar una crítica a las estrategias que ha venido utilizando para su enseñanza. Por estas razones, emergen una serie de interrogantes sobre la transformación de las sustancias en la fotosíntesis que son expresadas y discutidas a continuación:

- ¿Qué condiciones históricas y experimentales permitieron el desarrollo del concepto de fotosíntesis?

Para abordar esta pregunta se establece un diálogo con las fuentes primarias de otros autores debido a que los conocimientos y cuestionamientos construidos durante la formación como

docente conllevan a querer enriquecer la mirada sobre el fenómeno y la forma en que se relaciona con este, como lo mencionan Sandoval, et al. (2018):

Cuando abordamos el estudio de un fenómeno de interés para la enseñanza de las ciencias encontramos que este ha sido tratado por otros antes de nosotros, quienes han aportado a la mirada que hoy tenemos. Con esto no estamos afirmando que lo que hoy pensamos sea el resultado de un acumulado en el tiempo, sino más bien que coincidimos con otros en el planteamiento de algunas preocupaciones o preguntas. Estudiar con ellos es acudir a esa conversación desde lo que somos y hacemos. (p. 24)

Es de resaltar ese “*desde lo que somos y hacemos*”, puesto que permite ubicar el lugar desde el que se hace el análisis histórico-crítico, el cual radica en las intenciones e intereses de quién lo realiza, no es solo un ejercicio de mirar un cúmulo de hechos, sino un análisis de hechos que convergen junto con los propósitos y preguntas de quien lo realiza, como menciona Ayala (2006) “un diálogo y una construcción intencionada que intenta, además, establecer nexos con el “conocimiento común”, dada la perspectiva pedagógica que lo anima.” (p. 29), de esta forma, se evidencia que el diálogo se plantea por un interés que emerge de las vivencias de los docentes en su práctica.

Además, se considera que el diálogo también se ejerce desde el contraste de la experiencia derivada de la relación con el fenómeno estudiado. Desde esta perspectiva, el desarrollo de actividades experimentales se vuelve un eje fundamental para el autor, hecho que transforma la comprensión del docente sobre la fotosíntesis y las prácticas desarrolladas para su enseñanza.

En consecuencia, ese ejercicio constante de experimentación y diálogo será el eje central desde el cual se desarrolla el trabajo aquí presentado, siendo las demás preguntas y afirmaciones de este capítulo construidas o transformadas a partir de estas acciones.

- ¿Cómo es la transformación del dióxido de carbono y el agua en la fotosíntesis?

La pregunta planteada se construye a partir de los intereses propios que dieron origen al trabajo, estos radican en lo disciplinar y lo pedagógico de la práctica educativa del autor. ¿Cómo favorecer la comprensión del fenómeno para los estudiantes? ¿Cómo se pueda explicar y demostrar que las sustancias se transforman en la fotosíntesis?, Es a partir de la discusión en torno a estos interrogantes que se llega a pensar la transformación de las sustancias como un fenómeno relacionado con unas funciones determinadas de los organismos y estas a su vez involucradas con unas estructuras y condiciones definidas.

El estudio histórico crítico se enfoca en el agua y el dióxido de carbono y sus transformaciones durante la fotosíntesis, hecho que llevó a establecer diálogos con diferentes científicos que directa o indirectamente estudiaron las relaciones de estas sustancias con la planta, dentro de los cuales se destacan Priestley e Ingenhousz.

- ¿Cómo las condiciones y estructuras involucradas en la fotosíntesis intervienen en la transformación de las sustancias en la fotosíntesis?

A partir de las discusiones suscitadas durante el desarrollo del trabajo, se hace evidente aquello que menciona Jacob (1984) en cuanto a eso que se le atribuye de vitalidad a los organismos no es dado solo por elementos aislados, sino por el conjunto, es una característica del todo; es así que aquellas transformaciones que tienen el agua y el dióxido de carbono se encuentran ligadas a unas estructuras y unas condiciones específicas, en consecuencia, el trabajo se enfoca también en las implicaciones que estas tienen en el fenómeno de estudio.

- ¿De qué manera el desarrollo de actividades experimentales, que involucren la transformación de las sustancias, favorece la comprensión de la fotosíntesis?

La pregunta emerge por el interés del autor de ampliar su comprensión alrededor del fenómeno de la transformación de las sustancias en los organismos, aspecto que repercutirá en las formas que tiene de proceder en el aula; junto con estas consideraciones y las reflexiones que de ellas se desprenden, los estudios histórico-críticos se hacen pertinentes para el docente de ciencias, compartiendo entonces la idea de Sandoval et al. (2018)

La recurrencia al estudio de la historia de la ciencia, al estudio de los textos originales, está en vínculo con la actividad de comprender los fenómenos que estudiamos y que luego convertimos en objetos de estudio para otros, lo cual marca nuestro compromiso con el conocimiento científico (p. 25)

En ese sentido, el trabajo de grado que se propone está caracterizado por un estudio histórico y experimental por parte del docente para favorecer la comprensión de la fotosíntesis desde el fenómeno de la transformación de las sustancias y a partir del cual se modifiquen las estrategias de enseñanza que inviten a los estudiantes a pensar este fenómeno; para esto se considera que la experimentación es ese eje que favorece dicho vínculo, donde la experiencia que trae consigo este tipo de acciones propicie la comprensión de fenómenos.

Las reflexiones mencionadas conllevan a que se proponga la actividad experimental como una forma para ampliar la experiencia de los estudiantes, no solo por vincularlos con el fenómeno desde el conocimiento científico, sino también porque se considera podría favorecer su comprensión sobre el mismo.

Los diferentes aspectos mencionados en este apartado son las razones que convierten a la transformación de las sustancias en la fotosíntesis en el fenómeno de estudio y de interés para este trabajo y a partir del cual se generaron diferentes espacios de discusión y análisis, así como las construcciones que serán expresadas a lo largo del trabajo.

Reflexiones Sobre la Enseñanza de la Fotosíntesis

La enseñanza de la ciencia depende de diversos factores que convergen en los espacios educativos, dentro de los cuales están, las imágenes de qué es ciencia y cómo se hace ciencia que tiene el docente derivadas de su formación inicial y continuada, las metodologías que estos usan para la construcción de conocimiento por parte de sus estudiantes, los conocimientos disciplinares que estos poseen, la comprensión que tienen de los fenómenos trabajados, entre muchos otros de corte personal e institucional.

En este sentido, desde la experiencia docente del autor se ha encontrado que en ocasiones ha desarrollado un concepto simplificado de la fotosíntesis, el cual ha fortalecido en el momento de su enseñanza; es así que se han generado una serie de experiencias y lenguajes en la escuela que permiten dar cuenta de diversas formas en que se ha abordado la fotosíntesis.

Es común para el autor encontrar en sus espacios de clase estudiantes, colegas y en algunas de sus primeras prácticas expresiones como “*las plantas transforman el dióxido de carbono en oxígeno*” o “*el dióxido de carbono y el agua se transforman en oxígeno y glucosa*”, en el primer caso, que es el más frecuente, encontramos un aspecto conceptual que ha sido objeto de debate en los estudios de fotosíntesis y que se abordará como parte de este trabajo, y en el segundo, se considera que es derivado de un proceso simplificado del fenómeno de fotosíntesis, lo cual enmarca dos posturas que existen en la actualidad frente a la enseñanza de este fenómeno.

En el primer caso, los docentes se han venido preocupando por el desarrollo de una serie de competencias establecidas por las políticas públicas, pero que han restado importancia a la profundización conceptual de los fenómenos científicos y si bien, es importante lo primero, no se puede optar por no dominar con experticia el área de conocimiento del docente, investigaciones como la realizada por Acosta et al (2017) y la de Uyaban et al (2017), que tienen como eje

articulador la fotosíntesis dan muestra de una preocupación por las formas que tiene el docente de pensar el fenómeno, sin embargo, no hacen énfasis en aquellos aspectos teóricos en los que están teniendo dificultades.

En el segundo caso, existen docentes que procuran ser profundos en los conceptos y lenguajes relacionados con los fenómenos científicos, pero dejan de lado los procesos experimentales que son fundamentales para la construcción de conocimiento científico, pues son las modificaciones de la experiencia las que permiten la configuración de nuevos lenguajes que den cuenta del conocimiento. Investigaciones como las realizadas por Garnica y Arteta (2010) dan muestra de la importancia de la experimentación para abordar la fotosíntesis, pero estos son centrados en la formación de docentes de ciencias y no en la primaria o el bachillerato que es el centro de interés del presente trabajo.

Este hecho es relevante para el autor porque precisamente en su práctica pedagógica, a la hora de enfrentarse a la enseñanza de fenómenos químicos relacionados con la fotosíntesis, ha encontrado dificultades frente a qué actividades experimentales pueden favorecer su abordaje durante las clases, cómo evitar reducirla a una serie de ecuaciones y cómo favorece la comprensión de este fenómeno para sí mismo y sus estudiantes, siendo pilares de discusión fundamentales para la formulación y ejecución de este trabajo.

Las investigaciones mencionadas y otras como la desarrollada por Afanador y Mosquera (2016), carecen de una profundización conceptual del fenómeno de la fotosíntesis centrando sus discusiones en las formas de pensar la ciencia por parte de los docentes y no deja entrever las construcciones conceptuales de los autores o de las poblaciones con que se desarrolló el trabajo. Además, se resalta el trabajo realizado por Garnica y Roa (2012), pues permite identificar que

algunos docentes consideran necesario contar con conocimientos biológicos, químicos y físicos para la enseñanza de la fotosíntesis.

Abordar y reflexionar alrededor de estas investigaciones, hacen que el trabajo no solo tenga una preocupación por lo experimental, sino también por la forma en que se relaciona con el fenómeno y la comprensión que se tiene de este; se considera entonces, la importancia de un estudio histórico-crítico y experimental sobre la fotosíntesis que no se centre en la replicación de información y experiencias, sino como aportes de otros con los cuales dialogar y a partir de los cuales se modifica la forma en que el autor diseña y desarrolla sus estrategias. Sumado a esto, se considera que el problema no radica en conocer “lo químico” o “lo biológico” del proceso, sino realmente convertirlo en un fenómeno de estudio para el docente y así realizar su profundización a partir de discusiones y reflexiones con otros, lo que posteriormente causará la modificación de estrategias para su enseñanza.

Por último, se destaca el trabajo de grado para optar por el título de especialista en docencia de las ciencias naturales de Martínez (2020) enfocado en la enseñanza de la fotosíntesis con estudiantes de grado tercero. En este caso se demuestra que es un proceso abordado constantemente en la primaria y el bachillerato, además, se destaca la importancia que tiene lo experimental¹ para su enseñanza siendo este un antecedente que evidencia lo fundamental de estas actividades en la enseñanza de las ciencias.

Las reflexiones realizadas en este apartado permiten consolidar la pertinencia de este trabajo, teniendo como base cuestiones sobre el cómo favorecer la comprensión y enseñanza de la transformación de las sustancias como el agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis,

¹ Se destaca como parte de las ideas alternativas de los estudiantes alrededor del fenómeno, así como de la contrastación de hipótesis formulados por ellos a partir de las actividades experimentales planteadas. Además, es interesante la importancia que le da a la observación en la experimentación como elemento conecta las actividades experimentales y la construcción de explicaciones.

dentro de los cuales se destaca que la enseñanza de las ciencias no sea un simple cumplimiento de políticas públicas, la relación con el fenómeno por parte del docente y los estudiantes, así como la importancia de una profundización que establezca diálogos con otros a través de los estudios histórico-críticos y el trabajo experimental.

Tensiones y Discusiones en el Contexto de las Políticas Públicas de Educación

Los currículos de Ciencias Naturales de la mayoría de las instituciones educativas de básica primaria, secundaria y media, se sustentan en tres documentos derivados como políticas públicas del Ministerio de Educación Nacional (MEN), estos son los lineamientos curriculares, los estándares básicos de competencias y los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA), los cuales han generado constantes tensiones y discusiones en los docentes de ciencias naturales que giran alrededor del por qué y cómo enseñar los temas, tópicos, saberes u otros nombres con que se definen los fenómenos a la hora de la formalización de las estrategias. Por esta razón, analizar la enseñanza de la fotosíntesis requiere identificar las formas en que las directrices educativas del país han entendido y planteado este fenómeno.

El MEN, en los lineamientos curriculares de ciencias naturales y educación ambiental, aborda la importancia que ha tenido la fotosíntesis en el desarrollo de la vida en la tierra:

Mil millones de años después, es decir, hace unos dos mil millones de años, el planeta se rodea de una capa de gases rica en oxígeno. En efecto, estos seres microscópicos que poblaron la tierra, precursores de las plantas verdes, mediante procesos de fotosíntesis, produjeron durante esos mil millones de años grandes cantidades de oxígeno lo cual cambió la composición química de la atmósfera. El cambio más importante, sin duda, es la formación de la capa de ozono (oxígeno en forma molecular triatómica); esta capa impedía

el paso de los rayos ultravioleta del sol lo cual posibilitaba la vida de organismos de mayor tamaño... (MEN, 2004, p. 9)

Esto lleva a vislumbrar que, dentro de las políticas públicas del país, la comprensión de la fotosíntesis se precisa para entender lo vivo y los cambios que el planeta ha tenido en el transcurso de su existencia, también se puede evidenciar que mencionan sustancias como el oxígeno, pero no abordan aspectos relacionados con la transformación de las sustancias.

Teniendo esto como punto de partida, a continuación, se realiza una revisión de los documentos mencionados y algunas reflexiones frente a la organización y comprensión de la fotosíntesis y la transformación de las sustancias en las políticas públicas.

Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales y Educación Ambiental

Desde los lineamientos curriculares, como se evidencia en la *Tabla 1*, explícitamente sobre la fotosíntesis se habla únicamente como un proceso vital a abordarse entre los grados séptimo a noveno, pero se debe tener en cuenta la importancia que tiene el proceso fotosintético en la comprensión de los fenómenos de flujo de materia y energía en los ecosistemas mencionados para los mismos grados.

En el caso de los procesos químicos, se abordan reacciones químicas “sencillas” en los mismos grados relacionadas con la fotosíntesis lo cual permitiría comprender algunos aspectos químicos alrededor de la transformación de las sustancias de la fotosíntesis, pero teniendo en cuenta la importancia que tiene, por ejemplo, la oxido-reducción o las biomoléculas en este fenómeno de estudio, se cuestiona la pertinencia en la que estos últimos conceptos sean abordados años después, demostrando una brecha entre el estudio de los fenómenos de la fotosíntesis y de la transformación de las sustancias entre los diferentes grados.

Estándares Básicos de Competencias

En los estándares, la enseñanza de la fotosíntesis en el currículo se presenta a una edad temprana de los estudiantes (*Tabla 2*), puesto que, conceptos como la cadena alimentaria de básica primaria o la obtención de energía en los seres vivos abordada en grados sexto y séptimo se encuentran estrechamente relacionados con este fenómeno de las plantas, mientras que los fenómenos químicos llegan a los currículos para el final de la básica secundaria y la media.

Precisamente es en la media donde se hace explícito el concepto de fotosíntesis, ya no es abordado solo como un proceso vital, sino como un proceso de conversión de energía de los organismos aerobios, ampliando las discusiones que se pueden realizar sobre la misma.

Los estándares, en primer lugar, se encuentran desvinculados de los lineamientos curriculares, demostrando que los criterios pedagógicos y científicos que los sustentan están desconectados entre sí, en segundo lugar, no se genera ningún tipo de relación con la transformación de las sustancias y a pesar de poder relacionar el agua en el último estándar planteado, solo menciona la sustancia y no se vincula tampoco con el proceso de la fotosíntesis.

Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA)

Los DBA son el documento orientador más reciente del MEN y en este sentido, el que se usa con mayor frecuencia para la construcción de mallas curriculares en las instituciones, pero también presentan una organización para el abordaje de la fotosíntesis que puede ser cuestionable, debido a que es estudiada desde ciclo I, es decir, desde las primeras edades y se hace mucho más énfasis en grado séptimo siendo conceptualizado como un proceso de construcción de materia orgánica *Tabla 3*; es precisamente en las evidencias de estos aprendizajes donde se puede encontrar por primera vez una relación de la fotosíntesis con la

transformación de las sustancias, sin embargo, los fenómenos o conceptos de reacciones químicas, paradójicamente, son abordados en los años posteriores.

Aunque los diferentes documentos orientadores para la enseñanza de la ciencia no deben ser tomados como limitantes del proceso educativo y no implica, intrínsecamente, las formas en cómo se enseña, si delimitan unas relaciones entre las edades de los estudiantes y los conocimientos propios de la ciencia, además, pueden constituir una generalización de la comprensión que se puede tener frente a los diferentes fenómenos científicos.

En este sentido, la fotosíntesis ha sido abordada por las políticas públicas como un proceso vital, una conversión de energía o un proceso de construcción de materia orgánica, que posiblemente puede responder a un desarrollo mismo del concepto, pero también da cuenta de la complejidad que subyace en este fenómeno. Por estas razones, el docente debe realizar un análisis crítico y constante a los diferentes documentos que constituyen la base fundamental de la enseñanza de la ciencia en Colombia, con el fin de diversificar su práctica pedagógica desde lo teórico y lo metodológico y no solo para dar cumplimiento a las directrices aquí mencionadas.

Tabla 1

Procesos químicos y biológicos de los lineamientos curriculares relacionados con el fenómeno de fotosíntesis y sus procesos químicos

GRADOS	PROCESOS QUÍMICOS	PROCESOS BIOLÓGICOS
7° - 8° - 9°	- <i>Cambios químicos:</i> Algunas reacciones químicas sencillas y sin peligro.	- <i>Procesos vitales y organización de los seres vivos:</i> Diversos niveles de organización de los seres vivos y la célula como el mínimo sistema vivo. Los procesos vitales: respiración, excreción, crecimiento, nutrición, reproducción, fotosíntesis. Los procesos de intercambio de materia y energía de un sistema con su entorno: homeóstasis y metabolismo. - <i>Intercambio de energía entre los ecosistemas:</i> El concepto de equilibrio ecológico. El papel de cada especie en el mantenimiento del equilibrio ecológico, en particular el de los microbios y bacterias. El flujo de energía en el intercambio que se da entre los diversos sistemas de un ecosistema. El principio de economía de energía en el intercambio entre los sistemas de un ecosistema.
10° - 11°	- <i>Estructura atómica y propiedades de la materia:</i> Oxidación-reducción. Moléculas biológicamente importantes: carbohidratos, proteínas, lípidos, DNA. - <i>Cambios químicos:</i> Óxido-reducción.	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2

Estándares básicos de competencia relacionados con el fenómeno de fotosíntesis y sus procesos químicos.

GRADO	ESTÁNDARES ENTORNO VIVO	ESTÁNDARES ENTORNO FÍSICO
4° - 5°	• Explico la dinámica de un ecosistema teniendo en cuenta las necesidades de energía y nutrientes de los seres vivos (cadena alimentaria).	
6° - 7°	• Comparo mecanismos de obtención de energía en los seres vivos. • Describo y relaciono los ciclos del agua, de algunos elementos y de la energía en los ecosistemas.	
8° - 9°		• Verifico las diferencias entre cambios químicos y mezclas
10° - 11°	• Explico las relaciones entre materia y energía en las cadenas alimentarias. • Argumento la importancia de la fotosíntesis como un proceso de conversión de energía necesaria para organismos aerobios. • Relaciono los ciclos del agua y de los elementos con la energía de los ecosistemas.	• Explico los cambios químicos desde diferentes modelos • Identifico cambios químicos en la vida cotidiana y en el ambiente. • Verifico el efecto de presión y temperatura en los cambios químicos.

Nota: Elaboración propia.

Tabla 3

DBA relacionados con el fenómeno de fotosíntesis y sus procesos químicos.

GRADO	DBA	EVIDENCIAS
3°	• Explica la influencia de los factores abióticos (luz, temperatura, suelo y aire) en el desarrollo de los factores bióticos (fauna y flora) de un ecosistema.	• Predice los efectos que ocurren en los organismos al alterarse un factor abiótico en un ecosistema
7°	• Comprende que en las cadenas y redes tróficas existen flujos de materia y energía, y los relaciona con procesos de nutrición, fotosíntesis y respiración celular.	• Explica tipos de nutrición (autótrofa y heterótrofa) en las cadenas y redes tróficas dentro de los ecosistemas. • Explica la fotosíntesis como un proceso de construcción de materia orgánica a partir del aprovechamiento de la energía solar y su combinación con el dióxido de carbono del aire y el agua, y predice qué efectos sobre la composición de la atmósfera terrestre podría tener su disminución a nivel global (por ejemplo, a partir de la tala masiva de bosques). • Compara el proceso de fotosíntesis con el de respiración celular, considerando sus reactivos y productos y su función en los organismos.
7°	• Comprende la relación entre los ciclos del carbono, el nitrógeno y del agua, explicando su importancia en el mantenimiento de los ecosistemas.	• Establece relaciones entre los ciclos del Carbono y Nitrógeno con el mantenimiento de los suelos en un ecosistema. • Explica a partir de casos los efectos de la intervención humana (erosión, contaminación, deforestación) en los ciclos biogeoquímicos del suelo (Carbono, Nitrógeno) y del agua y sus consecuencias ambientales y propone posibles acciones para mitigarlas o remediarlas. • Reconoce las principales funciones de los microorganismos, para identificar casos en los que se relacionen con los ciclos biogeoquímicos y su utilidad en la vida diaria.

GRADO	DBA	EVIDENCIAS
		Propone acciones de uso responsable del agua en su hogar, en la escuela y en sus contextos cercanos.
8°	Comprende que en una reacción química se recombinan los átomos de las moléculas de los reactivos para generar productos nuevos, y que dichos productos se forman a partir de fuerzas intramoleculares (enlaces iónicos y covalentes).	- Explica con esquemas, dada una reacción química, cómo se recombinan los átomos de cada molécula para generar moléculas nuevas. - Representa los tipos de enlaces (iónico y covalente) para explicar la formación de compuestos dados, a partir de criterios como la electronegatividad y las relaciones entre los electrones de valencia. - Justifica si un cambio en un material es físico o químico a partir de características observables que indiquen, para el caso de los cambios químicos, la formación de nuevas sustancias (cambio de color, desprendimiento de gas, entre otros). - Predice algunas de las propiedades (estado de agregación, solubilidad, temperatura de ebullición y de fusión) de los compuestos químicos a partir del tipo de enlace de sus átomos dentro de sus moléculas.
10°	Comprende que los diferentes mecanismos de reacción química (oxido-reducción, descomposición, neutralización y precipitación) posibilitan la formación de compuestos inorgánicos.	Explica a partir de relaciones cuantitativas y reacciones químicas (oxido-reducción, descomposición, neutralización y precipitación) la formación de nuevos compuestos, dando ejemplos de cada tipo de reacción.
11°	Comprende que los diferentes mecanismos de reacción química (oxido-reducción, homólisis, heterólisis y pericíclicas) posibilitan la formación de distintos tipos de compuestos orgánicos.	Clasifica compuestos orgánicos y moléculas de interés biológico (alcoholes, fenoles, cetonas, aldehídos, carbohidratos, lípidos, proteínas) a partir de la aplicación de pruebas químicas.

Nota: Elaboración propia.

Aportes desde la Formación como Docente de Ciencias Naturales

La formación como docente de ciencias naturales se abordará desde tres momentos diferentes, el primero, en un campo de acción social frente a lo ambiental, el segundo, las construcciones realizadas desde el programa de Licenciatura en Química en la Universidad Pedagógica Nacional y, por último, la derivada de las discusiones y reflexiones desarrolladas en el programa de Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales de la misma universidad.

El trabajo desde la educación ambiental ha permitido comprender que todos los organismos, en diferentes formas, se encuentran relacionados por una serie de dinámicas complejas, en ese sentido, comprender qué son, cuáles son y cómo son, así como sus interacciones, se han vuelto un eje de interés sobre el cual se puede hablar de implicaciones científicas y ambientales, así como del mutuo impacto con el humano. En este sentido, el trabajo desde el enfoque de la educación ambiental como parte de la formación docente, implica tanto el trabajo social como la construcción de conocimientos científicos sobre lo vivo en general y la fotosíntesis en particular, puesto que es un eje articulador entre lo científico y lo ambiental, desde acciones como la consolidación y mantenimiento de huertas o el trabajo en reservas naturales en las que implica mantener las condiciones óptimas para el desarrollo de los organismos allí presentes.

Por su parte, en el programa de Licenciatura en Química y la participación en semilleros de investigación, permitió ampliar las posturas frente a los alcances que tienen los docentes en su contexto y especialmente, hacía las formas de hacer y pensar la ciencia; es así que toda acción en los espacios educativos debe ser intencionada con el fin de tener en cuenta a las comunidades a través del diálogo para la construcción social del conocimiento. Así mismo, favoreció la construcción de conocimientos y la importancia de comprender la necesidad de un lenguaje

específico de la ciencia para consolidar dichos conocimientos como comunidad científica y educativa, a partir de lo cual se comprende que los fenómenos químicos responden, entre otros campos, a una serie de sistemas complejos entre los cuales se encuentran los organismos. Esto, sumado al énfasis en fisiología vegetal de este programa cursado por el autor, lo llevó a concluir que las plantas cuentan con macro y microestructuras especializadas relacionadas con distintos procesos, también la multiplicidad de sustancias involucradas en ellos y especialmente que el estudio de sus transformaciones favorece a su vez la comprensión de lo vivo.

Por último, la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales ha generado una serie de reflexiones y construcciones con colegas, docentes y referentes, desde cinco ejes fundamentales, lo disciplinar, lo pedagógico, lo histórico, lo epistemológico y lo investigativo. Es así que la transformación de las sustancias en un proceso como la fotosíntesis se convierte en un fenómeno de estudio que se enriquece al ser cuestionado, analizado y construido desde los ejes mencionados, a partir de los cuales en el programa se comprende que los conceptos derivados de los conocimientos científicos son una construcción histórica que responde a unas formas específicas de pensar el conocimiento y la ciencia, al igual que invita a la crítica y replanteamiento de las acciones en los espacios educativos a través de la reflexión sobre el conocimiento y el quehacer de los docentes de ciencia, para esto es necesario que el docente se asuma también como un investigador capaz de generar conocimientos en los ámbitos científico y pedagógico.

En consecuencia, con las diferentes discusiones y reflexiones planteadas en este capítulo, se construye la siguiente hipótesis que orienta este trabajo de grado y desde la cual se propone el análisis del mismo:

El estudio histórico crítico y experimental de sustancias como el dióxido de carbono y el agua, desde una perspectiva fenomenológica, favorece la comprensión de la transformación de las sustancias en el proceso de la fotosíntesis.

Para abordar esta hipótesis se plantean los siguientes objetivos.

Objetivos

General

Construir una fenomenología alrededor de la transformación de sustancias como el dióxido de carbono y el agua en el proceso de la fotosíntesis a través de estudios histórico críticos y actividades experimentales para la elaboración de una propuesta de aula.

Específicos

- Desarrollar un análisis histórico crítico de la transformación de las sustancias como el dióxido de carbono y el agua en la fotosíntesis a partir del análisis de fuentes primarias
- Diseñar, desarrollar y analizar actividades experimentales que favorezcan la construcción de explicaciones en torno a la transformación de sustancias como el dióxido de carbono y el agua durante la fotosíntesis, así como sus relaciones con las estructuras de la planta y las condiciones necesarias para este proceso.
- Elaborar una propuesta de aula centrada en la experimentación para la enseñanza de la fotosíntesis a partir de la transformación de sustancias como el agua y el dióxido de carbono en la planta.

Entre Teorías y Experimentos: Diálogos alrededor de la Transformación del Dióxido de Carbono y el Agua en la Fotosíntesis

Los estudios histórico críticos, en las últimas décadas, han venido siendo un interés para maestros e investigadores relacionados con la enseñanza de la ciencia, sin embargo, como lo plantean Malagón et al. (2013), este acercamiento a la historia de la ciencia ha sido de diversas maneras. En primer lugar, uno relacionado con versiones cronológicas y anecdóticas sobre los desarrollos en cierta temática científica, en segundo lugar, el centrado en reivindicar el carácter racional de las ciencias, el tercero, aquel que relaciona las dinámicas del conocimiento científico y las del conocimiento individual y por último, aquellos que han buscado transformar las imágenes que tienen los estudiantes y maestros en torno a la ciencia y el quehacer de la ciencia, situación que genera modificaciones en las prácticas pedagógicas en el aula, siendo la primera relación descrita la que se presenta con mayor frecuencia.

En este sentido se considera que los estudios histórico críticos son una actividad que debe ser realizada por el maestro a partir de los intereses que emergen de su práctica pedagógica, pues tiene sus propias preguntas y criterios para organizar la exploración histórica a partir de sus experiencias en el aula (Malagón et al. 2013).

En este sentido, el estudio histórico crítico realizado involucra el análisis de fuentes primarias, abordados en su idioma original y traducidas libremente por el autor, en el que se establece diálogo con los autores a partir de preguntas que se tienen alrededor del fenómeno de la transformación de las sustancias como el agua y el dióxido de carbono en la planta durante el proceso de la fotosíntesis, desde el cual se modifican las explicaciones que construye el maestro y que desembocarán en la generación o modificación de estrategias que puedan favorecer sus prácticas en el aula.

Con respecto a la forma en que se realiza el acercamiento a las fuentes primarias a partir de las preguntas e intenciones del maestro es importante resaltar lo afirmado por Sandoval et al. (2018):

...resaltamos la necesidad de relacionarnos con los autores de los textos originales desde nuestras propias preguntas, que no toman forma de manera inmediata y casi nunca anteceden a la lectura del texto original; estas se van modificando y la formulación de nuestras intenciones en la lectura se consolida en la medida que esto sucede. Nuestro diálogo con los originales está orientado por unas inquietudes iniciales que se ven modificadas en la medida en que son puestas a prueba y cuestionadas en ese diálogo. La primera pregunta que nos hacemos posiblemente sea resuelta en los primeros momentos del diálogo o posiblemente nos percatemos de que está mal formulada, y en este ejercicio surge una formulación enriquecedora de nuestra relación con el saber, con la comprensión que vamos logrando del fenómeno o campo fenomenológico en el que estemos interesados. (p. 25)

Como resultado del diálogo realizado, a continuación, se indican algunas de las preguntas que guían el estudio histórico crítico de este trabajo:

- ¿Cómo se transforman el dióxido de carbono y el agua durante la fotosíntesis?
- ¿Cuáles son las preguntas e intereses que orientaron las actividades experimentales de los científicos que abordaron aspectos relacionados a la transformación del dióxido de carbono y el agua durante la fotosíntesis?
- ¿Cómo las actividades experimentales vinculan la transformación del dióxido de carbono y el agua con las estructuras y las condiciones?
- ¿Qué otros fenómenos se encuentran vinculados a la fotosíntesis y afectan la transformación de las sustancias en la planta?

Estas preguntas generan que el diálogo realizado con los autores se desarrolle con la intención de inferir las sustancias involucradas en sus trabajos, así como las condiciones y estructuras relacionadas con estas, también las transformaciones que en estas sustancias ocurren y, por último, el análisis de las actividades experimentales que realizaron y el aporte de los mismos para este trabajo de grado.

Agua, Aire y el Primer Acercamiento a las Estructuras: Diálogo con Van Helmont, Grew y Hales

Los primeros registros concernientes al interés por comprender algunos fenómenos relacionados con las plantas surgen en la Antigua Grecia, específicamente aquellos relacionados con la nutrición y crecimiento de la planta. Es así como, Hipócrates y Aristóteles, proponen que las raíces se presentan como bocas que permiten el ingreso del alimento que se encuentra en el suelo (Sáenz, 2012); sin embargo, estas ideas no fueron profundizadas durante varios siglos. Pasarían casi dos milenios para que se retomaran a profundidad algunos aspectos relacionados con estos fenómenos de nutrición y crecimiento, guiados por diferentes intenciones y cuestionamientos de los científicos cuyos trabajos experimentales contribuirían a la formación de los estudios sobre fotosíntesis.

El agua y la Planta

Al indagar sobre las relaciones entre el agua y la planta, se encuentran los trabajos realizados por Jan Baptista Van Helmont a inicios del Siglo XVII descritos en su texto *Ortus Medicinae* (1648) en los que describe numerosos experimentos a partir de los cuales se identifica su intención de demostrar que toda materia se origina en el agua y es a partir de esta idea que desarrolla uno de sus experimentos más destacados, el cual se describe a continuación:

Tomó 90,7 Kg de tierra seca previamente, seguido a esto sembró un tallo de sauce que pesaba 2,30 Kg aislando la tierra de otros materiales, para luego regarlo con agua destilada o agua de lluvia por 5 años. Luego de este tiempo, se pesó nuevamente el sauce y la tierra, encontrado que faltaban 0,567 Kg de tierra y el árbol, sin contar las hojas pérdidas en los otoños, pesaba 76,74 Kg, Van Helmont concluye entonces que 74,5 Kg se formaron solo de agua. (Van Helmont, 1648)

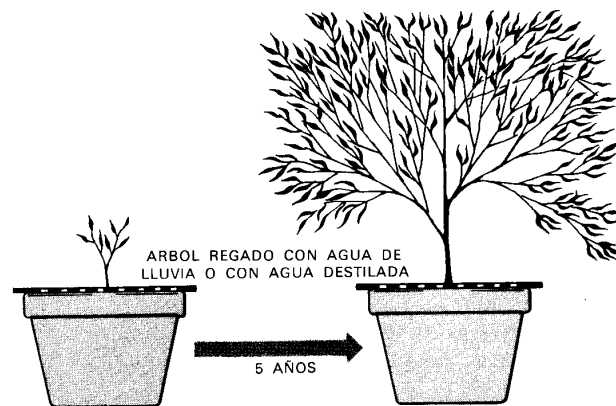


Imagen 1. Representación del experimento de Van Helmont, luego de 5 años se obtienen 74,5 Kg del árbol de sauce al regarlo con agua y aislar el recipiente que lo contiene. Tomado de Baker y Allen, 1970.

Este y otros experimentos demostraron a Van Helmont que el agua era la constituyente de toda la materia. Además, en el trabajo aquí desarrollado se hace identificable una relación entre el agua y la planta; donde la sustancia es a la vez estructura y condición. Es estructura debido a que las observaciones del autor le permiten concluir que la planta en su totalidad es conformada por agua, como lo consideraba en el caso de cualquier materia, además, es condición porque la producción de las diferentes estructuras solo es posible por esta sustancia.

A pesar de que el análisis de Van Helmont se centró en la trasmutación de las sustancias, una lectura crítica de estas experiencias en concordancia con el objeto de estudio de este trabajo de grado, posibilita repensar la relación implícita entre las cantidades de agua añadidas por Van Helmont y el aumento evidenciado en la masa de la planta. En lo experimental aporta

sustancialmente en las formas de interpretar las mediciones realizadas, estableciendo vínculos entre la cantidad de agua, como variable independiente y los cambios estructurales de la planta; estas ideas iniciales llevan a pensar al agua como una condición de transformación y no como una sustancia implicada en un proceso, aspectos que son discutidos en el capítulo 5 donde se describen actividades experimentales que son analizadas desde la generación de nuevas estructuras y su relación con la transformación del agua.

El trabajo analizado de Van Helmont, permite generar nuevos cuestionamientos algunos de ellos son ¿Cómo dar cuenta de la transformación del agua durante la fotosíntesis? ¿Es posible que las nuevas estructuras den cuenta de dicha transformación?, si bien este experimento no tiene como centro la transformación de las sustancias, permite establecer que el agua se integra de tal manera que origina a las distintas estructuras de la planta.

El Aire se Relaciona con la Planta

Durante el Siglo XVII el desarrollo del microscopio permite a los científicos acceder a nuevas observaciones de la naturaleza; en el caso de Nehemiah Grew, a través de sus trabajos en botánica, construyó diferentes conclusiones sobre las plantas a partir de la observación microscópica de sus estructuras, dentro de su trabajo se destaca el siguiente fragmento, tomado de su texto *The Anatomy of plantas* publicado en 1682:

Pero como las pieles de los animales, especialmente en algunas partes, se hacen con ciertos poros u orificios abiertos, sea para la recepción, sea para la eliminación de alguna cosa en beneficio del cuerpo; así también las pieles de por lo menos muchas plantas están formadas con varios orificios o pasajes, ya sea para la mejor avolación² de la savia superflua, o para la admisión del aire. (Grew, 1682, p. 153)

² Del inglés *Avolation* y hace referencia a la evaporación, sin embargo, es un término considerado obsoleto.

Esta analogía entre animal y planta lleva a identificar las primeras relaciones entre unas estructuras definidas en las plantas con unas funciones específicas con relación a una sustancia, el aire y aunque no lo pone en términos de una transmutación o transformación química Grew, se pregunta sobre la posibilidad de que estos “poros” permitieran el intercambio de sustancias entre la atmósfera y la planta.

Estas descripciones realizadas por Grew dejan diferentes interrogantes ¿Cuáles son las sustancias que entran y salen de la planta a través de las estructuras? ¿Cómo identificarlas y caracterizarlas? Para dar respuesta a las preguntas se indaga en otras publicaciones en las que otros científicos proponen y experimentan alrededor de los fenómenos mencionados, aspecto que también es abordado experimentalmente en capítulos más adelante del trabajo de grado.

Estos trabajos realizados a finales del Siglo XVII por Grew determinan que la estructura, a diferencia del trabajo de Van Helmont, no es algo que se conforma a partir del agua, sino que ahora las estructuras están relacionadas con procesos en los que se involucran ciertas sustancias, en este caso, sería el intercambio de aire con la atmósfera.

El Aire se Modifica por las Plantas

Mieli (1942), propone algunos cuestionamientos que eran centro de estudio para los científicos del Siglo XVIII:

¿Cómo se nutrían las plantas? ¿Por qué y cómo subía la savia desde las raíces hasta las extremidades de los vegetales? ¿Se trataba en este caso de una "circulación", análoga a la que Harvey había definitivamente reconocido para los animales, o, en cambio, el movimiento se producía en un solo sentido? ¿Transpiraban las plantas? ¿Y cuáles eran sus relaciones con el aire? (Mieli, 1942, p. 183)

Algunas de estas preguntas fueron abordadas por Stephen Hales (1727) quien, interesado en indagar por las relaciones de la planta y la producción de aire, realizó un experimento (*Imagen 2*) en el cual ubicó una planta de menta en un recipiente de vidrio funcional como cisterna (*Imagen 3*) y lo llenó de tierra, luego colocó toda el agua que pudo contener, posteriormente instaló un vaso invertido y mediante un sifón generó que el agua se elevará. El agua y el recipiente invertido fueron usados para aislar del exterior la planta y el aire contenido.

Hales replicó la actividad experimental, pero sin ubicar plantas dentro del vaso invertido, esto para analizar el aire en el interior de los recipientes. En la cisterna con la planta se evidenció crecimiento de tallos y generación de hojas; luego de unos meses cambió la planta por una nueva de menta, pero esta se marchitó en pocos días; mientras que, al colocar en la otra cisterna, la que no tenía planta, una de menta, esta creció durante casi un mes.

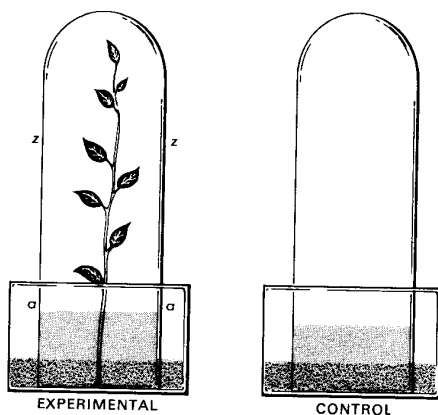


Imagen 2. Representación del trabajo de Hales, a la izquierda se presenta crecimiento de la planta y cambios en el aire, el cual se concluye al compararlo con el del recipiente de la derecha. Tomado de Baker y Allen 1970.

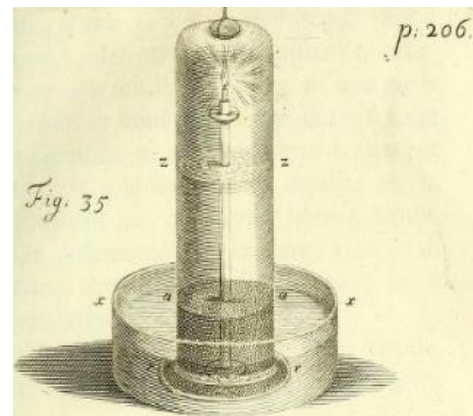


Imagen 3. Instrumento usado por Hales para varios de sus experimentos, el descrito en el texto hacía uso de los mismos elementos, pero sin el uso de una vela. Tomado de Hales 1727.

Hales identifica unos cambios en el aire a partir de los efectos que se evidencian en las plantas. Si una planta permanecía en una cisterna y crecía bajo esas condiciones, en un principio

se suponía que al ingresar una nueva planta en ese ambiente crecería del mismo modo, dado que las condiciones de tierra y agua eran las mismas; el que la segunda planta de menta se marchitara prematuramente lo hizo pensar en que la única variable que pudo haber cambiado era el aire dentro de la cisterna. Al ingresar una nueva planta en la cisterna vacía y observar que la planta crecía normalmente lo hizo cuestionarse sobre una posible transformación en el aire por efecto del crecimiento de las plantas.

El uso de un control le permitió a Hales un punto de comparación desde el cual concluyó que las plantas toman algo del aire y también demostró que cambiaban ligeramente su composición; por tanto, se acerca a comprender que el aire era una mezcla de varios gases que se verían alterados por estos organismos. Es interesante reconocer que, aunque es común escuchar que las plantas purifican el aire, no es sencillo comprender a qué se refieren con este proceso aparentemente simple. Pensar en estas ideas requirió identificar cuáles son las sustancias del aire que se transforman. Aspectos que generan más preguntas: ¿qué era ese “algo” que las plantas tomaban del aire? ¿qué modificaciones generaban en el aire las plantas? ¿Son el agua y el aire las sustancias que generan las hojas y tallos?

Los trabajos de Hales traen a una misma situación las sustancias que anteriormente Van Helmont, con el agua, y Grew, con el aire, habían relacionado con las plantas, vinculados por cada uno de los científicos mencionados desde procesos diferentes, conformación de la materia, intercambio, tomar algo del aire, cambios de composición, entre otros.

Sustancias, Condiciones y Estructuras que Convergen: Diálogo con Priestley e Ingenhousz

Las décadas finales del Siglo XVII y las iniciales del XVIII, traían consigo nuevas formas de entender la naturaleza, hasta el momento se consideraba que todo estaba formado con base en cuatro elementos, aire, agua, tierra y fuego, sin embargo, la quema de sustancias de tierra era

diferente, siendo más o menos rápida, esto llevó a pensar a los alquimistas de la época como Johan Becher y posteriormente a Georg Stahl, que existía un principio inflamable cuya cantidad variaba de una sustancia de tierra a otra (González, 1986 y Woodcock, 2005).

Stahl atribuyó a este principio de inflamabilidad el nombre de flogisto, frente a sus ideas Lavoisier (1948) describe:

Partiendo de que algunos cuerpos se inflaman y se queman, dedujo que en ellos existía un principio inflamable: el fuego fijo; pero, como era difícil conciliar esa fijeza que se observa en los cuerpos combustibles con la movilidad y sutilidad que parece caracterizar al elemento del fuego, supuso que un principio terroso servía de intermediario en la unión del fuego con los cuerpos combustibles y llamó principio inflamable o flogisto al resultado de esta combinación (p. 123)

Además, Lavoisier controvierte aspectos que consideraba relevantes relacionados con la teoría del flogisto, resaltando que el alemán descubrió que los metales son cuerpos combustibles y que la calcinación es una combustión, lo que lo llevó a pensar que existía un principio inflamable que se desprendía luego de estar fijo en los cuerpos, además, que esta propiedad puede transmitirse de un cuerpo a otro. Por ejemplo, “el carbón, que es combustible, con ácido vitriólico, que no lo es, el ácido vitriólico se convierte en azufre y adquiere la propiedad de quemarse, mientras que el carbón la pierde” (Lavoisier, 1948. p. 123).

Se evidencia entonces que el flogisto era fundamental para explicar la combustión, además, se hace relevante también con aquellos fenómenos que involucraban el aire, como lo eran los relacionados con las plantas. Siguiendo esta teoría Joseph Priestley y Jan Ingenhousz sustentarían sus explicaciones alrededor de sus experimentos con plantas.

Priestley y el Proceso Inverso a la Respiración

Priestley, fue defensor de la teoría del flogisto y quien atribuyó el concepto de aire flogistizado³ como aquel aire que había absorbido el flogisto que se desprendía durante una combustión, situación que impedía que este proceso continuara. Además, propuso el término de aire desflogistizado⁴ para el aire que se producía por la pérdida de flogisto del aire flogistizado el cual quedaba con una capacidad mayor a la del aire común para unirse al principio inflamable y así mantenía durante más tiempo la combustión y por ende unirse a más flogisto, situaciones que fueron determinadas durante los experimentos que se describen a continuación.

Este científico en 1772 se encontraba interesado en determinar aspectos como aquellos que ocurrían cuando algo se quemaba, de esta forma encontró relaciones entre el aire atmosférico y las plantas. Para analizar los trabajos de Priestley se llevará a cabo una descripción de sus experimentos en cuatro momentos a partir de los cuales surgen reflexiones en torno a los postulados que de ellos construyó.

Los Animales y su Influencia en la Atmósfera. El interés de Priestley por la combustión y los aires relacionados con este proceso, el aire común y el aire flogistizado, lo llevó a realizar diversos experimentos para ampliar su comprensión de los fenómenos relacionados a la quema de algunas sustancias. Uno de los experimentos se centró en ubicar en diferentes ocasiones, una vela en un recipiente cerrado y posteriormente un ratón en un recipiente cerrado (*Imagen 4*). En el primer caso, encontró que la vela solo duraba un breve periodo de tiempo encendida, mientras que, en el segundo caso, el ratón se sofocaba.

³ Luego de la refutación de la teoría del flogisto y la aceptación del principio oxígeno se conocería como Dióxido de Carbono

⁴ Luego de la refutación de la teoría del flogisto y la aceptación del principio oxígeno se conocería como Oxígeno

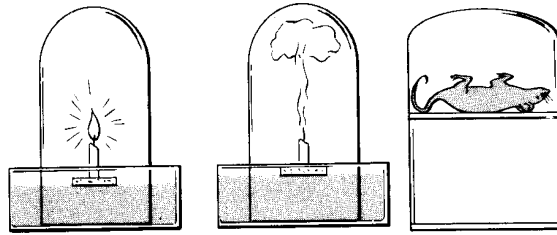


Imagen 4. Experimentos de Priestley, a la izquierda la vela se apaga en un recipiente cerrado, de igual forma, a la derecha el ratón se sofoca por la modificación que el mismo ejerce en el aire. Modificada de Baker y Allen, 1970.

Este experimento lleva a concluir que la respiración de los animales o la quema de una vela cargaban de flogisto al aire atmosférico, lo que lo hace inviable para esos mismos procesos, es decir lo vicia o ensucia; se puede determinar entonces que la respiración, al igual que la quema, es una combustión y como tal libera flogisto que es absorbido por el aire común hasta volverlo aire flogistizado. Aunque en esta situación Priestley, en términos del flogisto, habla de cargar el aire de flogisto y no de una transformación se tiene una aproximación a modificaciones que el aire común tiene por acción de un organismo animal, demostrando que los gases en la atmósfera y los organismos se encuentran estrechamente relacionados.

Lo observado y analizado durante este experimento alrededor de los efectos del aire flogistizado en los animales amplía las comprensiones sobre las sustancias gaseosas, especialmente el aire común el cual se asume como una mezcla en la que se presenta el aire flogistizado, también el reconocer las modificaciones en estas sustancias gaseosas a partir de los procesos de combustión como la quema de velas o la respiración animal. Estos aspectos se encuentran ligados con lo planteado en el capítulo 5 donde las relaciones entre gases y organismos son fundamentales para los experimentos realizados, desde los cuales se encontrará que, así como el gas flogistizado tiene unos efectos en los animales, los tendrá también en las plantas.

Las Plantas y su Acción Purificadora del Aire Atmosférico. A partir de lo analizado con el experimento anterior, Priestley se cuestiona acerca de este proceso en la naturaleza, puesto que debe existir algo que sea capaz de convertir ese aire flogistizado en apropiado para la vida, de no ser así la totalidad de la atmósfera estaría viciada por la respiración y los animales no podrían vivir. La respuesta a esta pregunta la encontraría en el análisis de su siguiente experimento, en el cual tomó una planta en el recipiente cerrado y observó que esta crecía durante varios meses, después ubicó en un mismo recipiente una vela con una planta, asimismo, en un recipiente cerrado, una planta con un ratón. Encuentra que la vela se mantenía durante mucho más tiempo encendida, mientras que el ratón no se sofocaba rápidamente.

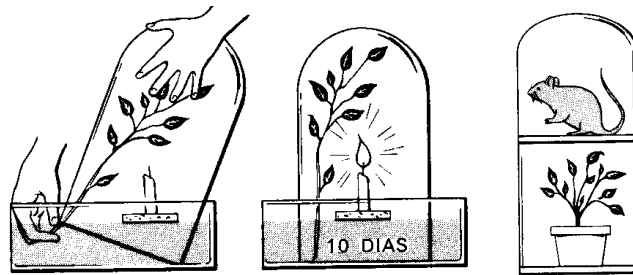


Imagen 5. Experimentos de Priestley, La permanencia de la llama y la vida del ratón se mantienen por los efectos de las plantas en el aire. Modificada de Baker y Allen, 1970.

El trabajo realizado guía las conclusiones del británico quien determina que las plantas son capaces de revertir los efectos de la respiración animal en la atmósfera, planteándolo de la siguiente forma:

Esta observación me llevó a concluir que las plantas, en lugar de afectar el aire de la misma manera que la respiración animal, invierten los efectos de la respiración y tienden a mantener la atmósfera dulce y saludable cuando se vuelve nociva como consecuencia de animales que viven y respiran, o mueren y se pudren en él. (Priestley, 1772, p. 193)

Priestley encuentra que las plantas, así como los animales, afectan el aire con el que interactúan, pero lo hace de forma inversa. En este sentido, los animales hacen irrespirable el aire común al cargarlo con flogisto generando aire flogistizado, pero la planta retira este principio inflamable causando que este aire sin flogisto sea nuevamente respirable para los animales; de esta forma, se hacen complementarios los procesos relacionados con los gases de la atmósfera, es decir la planta revierte la respiración animal. Un análisis de esta experiencia permite identificar que los organismos alteran su entorno causando que el aire presente en la atmósfera esté conformado por distintos aires, no solo el común y el flogistizado, sino uno diferente que no se había identificado antes, el aire desflogistizado.

Se puede explicar entonces que los cambios en ciertas sustancias, en este caso el aire, eran derivados de los procesos que los organismos tienen, además, estos gases también generan efectos en los organismos y así como los ratones morían en presencia del aire flogistizado que ellos generaban a través de la respiración, las plantas, en términos de Priestley, prosperan. En consecuencia, la purificación que realizaban los organismos vegetales generaba el aire desflogistizado que es respirable nuevamente para los animales.

Este hecho se hace fundamental para el planteamiento de las actividades experimentales en el trabajo de grado, ya que al plantear los criterios de observación y análisis se pensó en aquellos aspectos que dieran cuenta del desarrollo de la planta con relación a los gases que la rodean, decidiendo que la generación de nuevas hojas y el mantenimiento de su color podría dar cuenta de ello.

Un Aire Nuevo y su Influencia en los Animales. Luego de los análisis realizados, Priestley se propuso caracterizar a este nuevo aire que denominó *aire desflogistizado*, para esto volvió a colocar en recipientes cerrados una vela y un ratón, pero variando el aire al que eran sometidos,

es así como por un lado tenía un recipiente cerrado con un ratón y aire común, mientras que, por otro lado, tenía otro recipiente cerrado con el ratón dentro, pero con aire desflogistizado.

En las primeras pruebas encontró que el ratón en aire común se sofocaba aproximadamente en $\frac{1}{4}$ de hora y el que estaba en aire desflogistizado lo hacía por $\frac{1}{2}$ hora, de forma paralela realizó los mismos ensayos con una vela, encontrando que este aire era capaz de hacer más vigorosa la llama de esta. Luego de varios ensayos, Priestley determina que este aire nuevo era mejor para la respiración que el aire común y propuso que era entre 4 y 5 veces más efectivo.

Al pensar como eje fundamental en los trabajos de Priestley la idea del flogisto, se considera que la respiración desde este lugar es una combustión que genera aire flogistizado que si bien afecta la vida animal, si permite el desarrollo de los organismos vegetales, en este sentido, se demuestra que la planta requiere de este aire y al plantearse la pregunta ¿Qué ocurría con el flogisto del aire flogistizado?, se podría afirmar que en ese proceso inverso a la respiración, el cambio en el aire común, implica también un cambio en la planta.

En estas afirmaciones subyace la idea de la transformación, pues los cambios efectuados por los organismos tanto en la respiración como en el proceso de las plantas lo estarían indicando, siendo esas alteraciones que tiene el aire debido a la carga o liberación del flogisto quienes generan sustancias con características muy diferentes, incluso contrarias, siendo el aire flogistizado fatal para los animales y vital para las plantas, mientras que el aire desflogistizado tiene los efectos contrarios en cada uno. Estos hechos llevan al autor a plantearse la posibilidad de que las transformaciones sean evidenciables también en la planta, situación por la cual las observaciones principales de sus procesos experimentales se realizan especialmente en el organismo estudiado durante el capítulo 5.

La Incidencia del Sol en la Producción del Aire Desflogistizado. En un último experimento, Joseph Priestley cubre con lacre negro un recipiente cerrado que contenía una planta, esto con el fin de analizar la influencia de la luz del sol en la producción de aire desflogistizado; asimismo, dejó un recipiente en condiciones similares, pero sin cubrirlo con el lacre. Encuentra que las plantas que no están expuestas a la luz no prosperan y que están en un estado parecido al sueño.

Priestley encuentra también que en ese estado las plantas son incapaces de producir aire nuevo, es decir aire desflogistizado y sumado a esto, las plantas en los recipientes cubiertos en lacre negro murieron, mientras que, en aquellos sin lacre, como era de esperarse, las plantas prosperaron y fueron capaces de producir aire desflogistizado.

Al analizar los trabajos realizados por Priestley desde los intereses de este trabajo, se puede concluir que las sustancias fundamentales para estos procesos estudiados por Priestley son el aire flogistizado, el aire desflogistizado y el aire común, mientras que la condición que favorece las variaciones del uno o el otro en el aire común es el sol. Se podría afirmar entonces que las plantas son capaces de retirar el flogisto del aire viciado, siempre que estén expuestas al sol.

Aunque Priestley no plantea una transformación o transmutación de las sustancias, sí explica causas y consecuencias de la alteración al aire que planteaba Hales en sus experimentos; además, se debe tener en cuenta que propone la posibilidad de que la materia verde de la planta se relacionaba también, aspecto que no estudió a profundidad, pero que estaría estrechamente ligado a las estructuras involucradas en este proceso inverso a la respiración.

Es de tener en cuenta que, si bien Priestley analizó los efectos del dióxido de carbono y el oxígeno en los ratones, conlleva al autor de este trabajo de grado a centrar la mirada en los efectos que el primero de estos tiene sobre las plantas analizando sus experimentos a partir del

aumento en el número de hojas o la permanencia de la coloración en las mismas. Esto emerge al considerar que la transformación de sustancias como el dióxido de carbono y el agua en los organismos se encuentran estrechamente relacionadas con el mantenimiento de la vida en los mismos.

Los experimentos y conclusiones de Priestley impulsaron trabajos posteriores como los de Ingenhousz, Senebier u otros, pues determinar que el aire era una composición y dentro de esta se contenía un nuevo aire que favorecía la respiración, así como definir que existen dos procesos vinculados (respiración y el generado por las planta) y a su vez que estos afectan el aire cambiándolo de flogistizado a desflogistizado e incluso hablar, bajo otros sucesos, de la importancia de la “materia verde” para el proceso, situación que fue descrita de esta forma puesto que no reconocía el material que observaba como una planta; todos estos aspectos vinculan una sustancia específica con los fenómenos ocurridos en estos organismos.

Ingenhousz: El Nuevo Proceso es Dependiente de la Luz

Jan Ingenhousz a finales de esta misma década ampliaría el estudio de estos fenómenos a partir de los trabajos propuestos por Priestley. En sus textos describe que en un recipiente cerrado e invertido para que se sumergiera hasta cierta distancia en agua, ubicó tallos con el fin de mirar la producción de aire desflogistizado por parte de la planta; esto lo repitió en otras muestras, en el segundo cambió los tallos por hojas y en un tercero, por partes no verdes de la planta (*Imagen 6*), además, analizó los cambios que podrían tener al ser expuestas o no a la luz. En el primer y segundo recipiente se originó aire flogistizado, pero en mayor cantidad se produjo aire desflogistizado, mientras que en el tercer recipiente no hubo producción de este último. A continuación, se muestran algunas de las conclusiones realizadas por este científico, organizadas intencionalmente para el desarrollo de este trabajo.

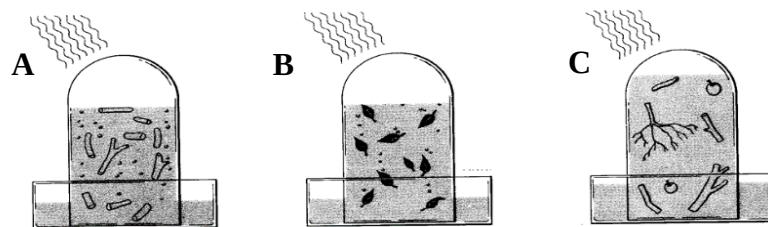


Imagen 6. Representación del experimento de Ingenhousz, en A tallos sumergidos en agua con producción de aire desflogistizado, en B hojas sumergidas en agua con mayor producción de aire desflogistizado y en C partes no verdes de la planta sumergidas en agua sin producción de aire desflogistizado. Tomada de Baker y Allen 1970.

Sobre las Hojas de las Plantas y el Agua. Ingenhousz afirma que las hojas tienen múltiples funciones para la planta, esto luego de observar que, entre todas las partes analizadas de la planta, son estas estructuras las que generan en mayor cantidad el aire desflogistizado. De igual forma, propone que las plantas reciben ventajas que vienen de la humedad del aire y de la lluvia de las hojas, esto lo concluye a partir de utilizar como ambiente de las plantas en sus experimentos el agua, lo que conduce a pensar que es un medio adecuado para el desarrollo de la planta a la vez que le permite separar el aire que se producía.

Se evidencia de esta forma que el agua es una de las sustancias principales para esos procesos observados por Priestley y tiene un efecto similar al aire desflogistizado en cuanto al favorecer la vida de la planta. Además, el agua que para Van Helmont era una condición para formar las estructuras de la planta, es ahora una sustancia que condiciona la vida de los organismos vegetales.

Al sumergir y aislar las plantas, se puede evidenciar que se generan burbujas en la superficie del agua, siempre y cuando el recipiente contuviese, sustancias como aire flogistizado y agua, además que se requiere como condición la presencia de luz solar, puesto que en sus observaciones Ingenhousz determina que en la noche este proceso se detiene. Al caracterizar el gas producido en estas burbujas se determina que era aire desflogistizado, de esta forma

confirma que este es producido por los procesos de las plantas, esto lleva a pensar que el trabajo de Ingenhousz en este momento planteaba transformaciones donde la presencia de la luz solar y el agua en el ambiente de la planta era capaz de cambiar el aire flogistizado a desflogistizado.

Frente a la hoja de la planta, amplía sus discusiones al mencionar que el envés de la hoja presenta conductos excretores que expulsan el aire nocivo para la planta, es decir, el aire desflogistizado y sobre este indica “está destinado, pues el aire desflogistizado, tiende a ir hacia abajo como una ducha beneficiosa para los animales.” (Ingenhousz, 1779, p. 36), aclarando que, es aún más *armónica* la naturaleza, cuando se considera a este aire más pesado que el aire común. En este sentido, afirma que, las hojas son órganos como poros que arrojan el aire desflogistizado como excreción e inhalan aire flogistizado, afirmando que la planta tiene poros de inhalación en la parte superior de la hoja y excretores en la inferior.

Las afirmaciones de Ingenhousz sobre las hojas son fundamentales para profundizar en aquellos aspectos planteados por Grew décadas atrás, además de indicar que es la hoja que desempeña el rol de purificación de la atmósfera al retirar el flogisto, en este sentido, emerge las siguientes preguntas ¿Qué características tiene la hoja para favorecer estos procesos observados por Priestley e Ingenhousz? ¿Cómo se relaciona con las sustancias y la luz solar para producir el aire desflogistizado?, estos cuestionamientos llevaron a la construcción del capítulo cuatro centrado en ampliar las discusiones en torno a las hojas y la luz.

Sobre el Aire Desflogistizado que se Obtiene a través de las Hojas. Aclarando la necesidad de exponer la planta al sol, se empieza a analizar la relación entre el aire obtenido y la planta, en este sentido, en los recipientes cerrados se produce la formación de burbujas de un aire, que al identificarlo reconoce, como ya fue mencionado, el aire desflogistizado que había caracterizado Priestley. Sumado a esto considera que la calidad del mismo depende de la

naturaleza de la planta, aunque no menciona las características de esa naturaleza, y la claridad de la luz del día.

Una pregunta emergería ¿De dónde procede el aire desflogistizado que se obtiene de las hojas en agua? Ingenhousz haría dos afirmaciones, por un lado, que no proviene del agua y por otro, que tampoco proviene de las sustancias que conforman las hojas, pues de ser así, concluye, se tendrían cambios en la composición del agua o de las hojas y al no evidenciar dichos cambios, propone que ese aire desflogistizado que se genera durante la purificación del aire que realizan las hojas y el cual es secretado por estas, proviene de algún tipo de transmutación. Esta conclusión de Ingenhousz, profundiza esa afirmación de cambio, purificación o viciar el aire de Priestley, debido a que ya no se altera algo que está establecido, sino que existe un cambio directo de las sustancias involucradas.

Estas explicaciones de Ingenhousz están alrededor de algunos cuestionamientos similares a los que orientan este trabajo de grado ¿Cuáles son las sustancias que originan otras (oxígeno o aire desflogistizado)? ¿Cuál es la relación de estas sustancias con la planta? Preguntas que están ligadas a la transformación de las sustancias y si bien para él es una transmutación, orientan varias de las discusiones planteadas a lo largo del trabajo de grado, ya que plantea y cuestiona posibles cambios en la composición del aire, agua y planta, sin embargo, se considera que la teoría del flogisto de la cual el británico era partidario, es la que guía sus afirmaciones sobre los cambios de un aire a otro, pues la ganancia y pérdida de este principio inflamable en el aire es la que caracteriza, explica y diferencia al aire flogistizado y desflogistizado, situación que deja las explicaciones en la idea de la transmutación y no en la de la transformación de las sustancias, pues se involucra solamente en cambios de los aires estudiados que purifican la atmósfera, descartando de una vez posibles cambios en el agua y en la hoja.

A partir de estas situaciones se considera que para Ingenhousz la transmutación ocurría del aire flogistizado o del aire común a el aire desflogistizado, además, las partes verdes de la planta son las encargadas de realizarla, esto último orienta la tercera actividad experimental descrita en el capítulo 5, en las que el autor analiza la transformación de las sustancias en la planta y se organiza de tal forma que se discuta alrededor de las partes verdes de la planta (tallos y hojas).

En cuanto a la actividad experimental desarrollada por el autor se modifica con el fin de analizar variaciones en la transformación del dióxido de carbono y el agua cuando la planta cuenta con hojas o por el contrario son retiradas de sus tallos, estos cambios llevaron a nuevas comprensiones sobre el fenómeno, la actividad experimental y las explicaciones derivadas de este se describen en el capítulo 5.

Sobre el Aire Desflogistizado, las Plantas y la Luz. El interés de Ingenhousz por identificar la forma más eficiente de producir aire desflogistizado y algunas preguntas que emergen para la comunidad científica alrededor de cuál es la influencia del sol en los procesos estudiados por Priestley, especialmente sobre la posibilidad de que los días calurosos potenciaban la generación del nuevo aire en las plantas, llevaron a este científico a realizar experimentos para reconocer cómo se afectaba la producción de aire desflogistizado a partir del sol, al exponer las plantas en recipientes al calor determina que no generan aire favorable para la vida, mientras que la presencia de luz era la que permitía que el aire desflogistizado se produjera. Es decir, no eran las características totales del sol las que influenciaban el proceso llevado a cabo por las plantas, sino que era únicamente la luz.

Pero ¿Qué ocurre en el invierno cuando la acción de las plantas disminuye? Teniendo en cuenta que el calor aumenta los procesos de putrefacción del aire, ambos disminuyen directamente, se corrompe menos la atmósfera y se necesita menos de la acción de las plantas;

esto no solo le permitió a Ingenhousz estrechar aún más la relación entre la luz y las plantas, sino también fortalecer su idea de lo armónica que era la naturaleza, frente a esto expresa:

...que esta operación está lejos de llevarse a cabo continuamente, pero comienza sólo después de que el sol ha aparecido por algún tiempo sobre el horizonte y, por su influencia, ha preparado a las plantas para comenzar de nuevo su operación benéfica sobre el aire y, por tanto, sobre la creación animal (Ingenhousz, 1779, p. 34)

Él concluye que la planta limpia y purifica el aire a partir de las hojas, algo que termina siendo una confirmación de los trabajos de Priestley; pero, sumado a esto confirma dos hechos, la necesidad de agua y la influencia de la luz. Es interesante que con los trabajos de Ingenhousz convergen sustancias (agua, aire flogistizado, aire desflogistizado), estructuras (hojas) y una condición (luz) a esos procesos que Priestley llamó “inversos a la respiración” y a los cuales Ingenhousz llevaría a considerar una transmutación, siendo estos tres aspectos aquellos fundamentales para las discusiones que se construyeron a lo largo del trabajo de grado, pues desde cada uno de ellos se ha discutido alrededor de la transformación de las sustancias en la planta.

Precisamente el abordaje de *Experiments Upon Vegetables* de Ingenhousz es el más influyente en los experimentos realizados por el autor ya que el análisis realizado a partir del diálogo con el texto, aporta elementos conceptuales y experimentales para el diseño de las actividades experimentales, debido a que se modifica la planteada inicialmente dando origen a dos nuevas (actividades experimentales 2 y 3), como se describe en el capítulo 5, alrededor de las relaciones de la transformación de las sustancias con la luz. Posteriormente, estos hechos y algunas discusiones que se amplían durante el capítulo 4 llevaron al diseño de la última actividad experimental enfocada completamente en la influencia de la luz en el fenómeno estudiado.

Por último, con respecto al trabajo de Ingenhousz, se analizan las ideas desarrolladas alrededor de los procesos realizados por las plantas, puede concluirse que estos nunca deberían agotarse porque se tiene un suministro constante de aire flogistizado; de esta forma, se podría afirmar que la respiración y el fenómeno que estudiaron Priestley e Ingenhousz alrededor de los procesos de lo que ellos denominan purificación del aire de las plantas, están en una dinámica constante y complementaria que vinculan a las sustancias, estructuras y condiciones que se requieren para mantener la vida de los animales y vegetales.

A partir del trabajo de los dos británicos, las sustancias, condiciones y estructuras mencionadas estarían estrechamente relacionadas con los procesos de las plantas y las discusiones que llevarían a hablar de fotosíntesis en este trabajo de grado, se harían entorno a estas propuestas. Se considera que los trabajos realizados por ellos son un punto de inflexión de este fenómeno de estudio, la transformación de las sustancias.

La Transformación de las Sustancias ¿Agua o Dióxido Carbono?: Diálogo con Berthollet, Senebier, De Saussure y Van Niel

Las explicaciones de diferentes científicos, dentro de los cuales destaca Antoine Lavoisier, permiten que para finales del siglo XVIII la ciencia comprenda algunos fenómenos de forma diferente. La teoría del flogisto es refutada a partir de trabajos como los realizados por Lavoisier que dejaron de usar el principio inflamable del flogisto para explicar la combustión y lo hicieron desde el principio oxígeno, nombre que propone al relacionar el aire desflogistizado con la producción de ácidos⁵, estos hechos llevarían a nombrar el aire flogistizado como dióxido de carbono, por esta razón, se usan estos nombres oxígeno y dióxido de carbono, en los

⁵ La palabra oxígeno proviene de las palabras griegas "oxys" (ácido) y "genes", (generador), es decir generador de ácidos

segmentos posteriores del trabajo de grado. Además, se empieza a transitar del concepto que se tenía de transmutación al de transformación⁶ de las sustancias.

Estas situaciones generarían nuevas discusiones, experimentos y profundizaciones de los fenómenos hasta el momento estudiados. Los aportes de Priestley e Ingenhousz, junto con los cambios mencionados llevaron a los científicos a querer aclarar diferentes situaciones frente a los fenómenos de la planta. Un hecho era claro para los científicos, el aire cambiaba por efecto de los procesos de la planta, causando que disminuyeran las cantidades de dióxido de carbono y aumentarían las de oxígeno, sin embargo, al considerar que el agua y el dióxido de carbono ingresaban a la planta y ambos contenían oxígeno emergió una pregunta ¿de qué sustancia proviene el oxígeno que se libera de las plantas?; este cuestionamiento guiaría por varias décadas los experimentos de diferentes científicos. A continuación, se analizan algunas publicaciones de los científicos que indagaron en la transformación del agua y el dióxido de carbono.

Berthollet y el Medio Libre de Hidrógeno. Berthollet interesado en aclarar la sustancia de la cual se producía el oxígeno excretado por las hojas, hace crecer plantas en un medio que no contenía hidrógeno y las regaba con agua, esperando demostrar que, si estas plantas llegaban a contener hidrógeno, indicaba que había sido absorbido del agua por la planta y el oxígeno de esta debe ser el liberado a la atmósfera.

Luego analizó químicamente el material vegetal para determinar la presencia del hidrógeno y como esperaba, encontró que los tejidos de la planta presentaban este elemento y ya que se presentaba la ausencia de hidrógeno en el dióxido de carbono y a la ausencia de este también en el medio dispuesto, Berthollet afirma que este debe provenir del agua.

⁶ Hacía el siglo XVI y XVIII, se consideraban que una sustancia elemental podría convertirse en otra, a esto se le denominaba transmutación. Posterior a los trabajos de Lavoisier se consideraba que durante una reacción química los elementos se reorganizan originando otras sustancias.

Jean Senebier, por su parte plantearía diversas afirmaciones y cuestionamientos alrededor del trabajo de Berthollet, el siguiente fragmento extraído de los textos de Senebier plantea afirmaciones extraídas de las propuestas de Berthollet:

La luz contribuye a la descomposición del agua por parte de las plantas de tal forma que en ausencia de luz la descomposición no se produce, o al menos se vuelve muy leve. Además, en ausencia de luz, se forman muchos menos materiales aceitosos y resinosos. La luz contribuye igualmente al desprendimiento del oxígeno, que transforma en aire vital por la elasticidad y el calor que le presta al oxígeno. Así se ve cómo el aire inflamable se acumula en las plantas expuestas a la luz y cómo el aire puro del agua, o su oxígeno, se separa del aire inflamable y se gasifica en las hojas y es expulsado por la luz. Esta es una teoría muy elegante, explica los fenómenos muy fácilmente, pero no sé si es tan general como parece a primera vista, y si explica todos los fenómenos que debería explicar. (Senebier, 1788, p. 290)

Las afirmaciones expresadas en los textos de Senebier, evidencian que los trabajos de Berthollet le llevaron a conclusiones muy cercanas a la visión moderna de la fotólisis del agua, aunque en esta la luz está presente en la transformación del agua y no actúa como expulsor del oxígeno, además, el principal cuestionamiento del suizo se puede evidenciar en el siguiente fragmento:

Finalmente, si la descomposición del agua fuera la única causa del aire puro producido por las plantas expuestas bajo el agua al sol, es evidente que la irradiación de las plantas colocadas en agua destilada y en agua bien hervida debe proporcionar aire puro tan bien como cuando se usa agua carbonatada. Esto casi nunca ocurre, como he demostrado en mis experimentos, ya que las hojas que no han dado aire puro cuando se expusieron al sol en agua

hervida, emitieron aire puro cuando, al día siguiente, se colocaron en un agua que contenía aire fijo. (Senebier, 1788, pp. 295-296)

Del trabajo realizado por Berthollet se puede determinar que, de acuerdo con sus explicaciones, la transformación de las sustancias en este proceso para él se realiza de la siguiente forma: El dióxido de carbono y el agua, por influencia de la luz, se transforman en el material vegetal y en oxígeno, teniendo en cuenta que el oxígeno proviene de las moléculas de agua y los demás elementos formarán las estructuras de la planta.

Aunque esta afirmación que se puede construir a partir de las explicaciones de Berthollet parecía determinante, no era suficiente para Senebier que, si bien no estaba totalmente en contra de las afirmaciones realizadas por Berthollet, le eran insatisfactorias al contrastarlas con algunos de sus experimentos, especialmente los relacionados con el dióxido de carbono.

Senebier y el Dióxido de Carbono. Los cuestionamientos que el suizo Jean Senebier tenía alrededor del trabajo de Berthollet se centraban en que este último no tenía en cuenta el dióxido de carbono en sus experimentos y no los consideraba lo suficientemente adecuados como para dar respuesta a la pregunta ¿De qué molécula proviene el oxígeno, el agua o el dióxido carbono? razón por la cual sus experimentos (*Imagen 7*) estaban centrados en *a*) ubicar hojas de plantas en dos recipientes invertidos y sumergidos en agua, en el primer recipiente el agua no contenía dióxido de carbono, mientras que, en el segundo sí; luego del experimento encuentra que el oxígeno se produce únicamente en el segundo recipiente. Posteriormente, *b*) cuando cesó la producción de oxígeno en ese recipiente, por parte de las primeras hojas, las reemplazó por hojas nuevas, encontrando que ya no producían oxígeno; para finalizar, *c*) al agregar nuevamente agua con dióxido de carbono, la liberación de oxígeno se presentaba de nuevo.

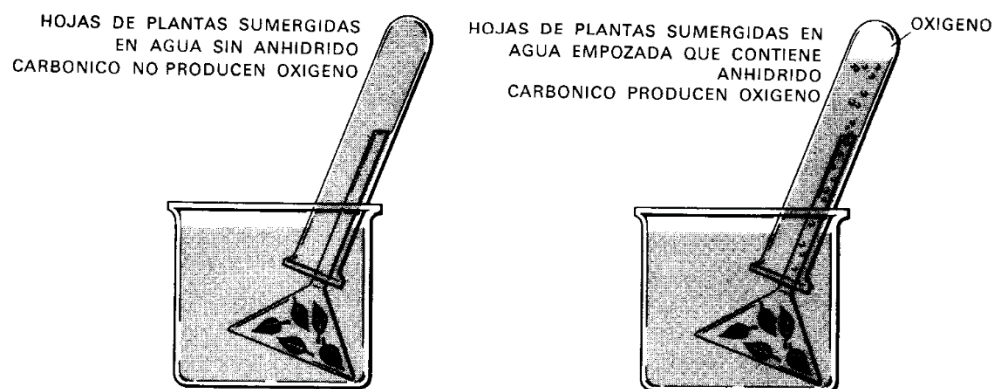


Imagen 7. Representación de los experimentos de Senebier, en el recipiente de la izquierda la ausencia de dióxido de carbono evita la producción de oxígeno, en la derecha se produce oxígeno por la presencia de dióxido de carbono. Tomado de Baker y Allen 1970.

Para Senebier era determinante lo que había ocurrido, el oxígeno provenía del dióxido de carbono y, además, se presentaban en una relación directamente proporcional, pues había analizado que sin la presencia de esta sustancia el oxígeno no se generaba; esto incluso era una propuesta casi fulminante para los trabajos de Berthollet, teniendo en cuenta que, en este caso, el trabajo involucraba agua y dióxido de carbono, en palabras de Senebier:

No propongo nada que sea único o inaudito en química cuando digo que la luz del sol descompone el aire fijo contenido en la hoja. No estoy menos de acuerdo con los principios de la química cuando digo que la sustancia carbonosa o flogisto se combina en la planta con las resinas, ya que sé que estas sustancias tienen la mayor afinidad por la materia carbonosa o flogisto, que contienen en gran cantidad (Senebier, 1792, p. 233)

Estas afirmaciones tomaban fuerza al considerar que la quema de las plantas, en presencia del oxígeno, implicaba la producción de dióxido de carbono y agua.

Es interesante analizar los trabajos de Berthollet y Senebier, debido a que sus afirmaciones tienen aspectos en común, una de estas es que la luz es una condición que permite la separación del oxígeno de las moléculas de agua o dióxido de carbono, además, el primero de ellos consideraba que la presencia de hidrógeno en la planta indicaba que este provenía del agua

y el resto se liberaba a la atmósfera, situación similar al segundo, en el que consideraba que la presencia de carbono en la planta era una evidencia que el resto se liberaba en la atmósfera.

Aunque los trabajos realizados presentan diferencias experimentales y generan explicaciones diferentes para los científicos, en conjunto llevan a reafirmar la interdependencia de las sustancias para este proceso, es decir, que sin una o la otra no habrá fotosíntesis.

De Saussure y otras Transformaciones de las Sustancias. Las investigaciones de De Saussure estaban centradas en las funciones que desempeñaban el agua y los gases durante la nutrición de las plantas, así como los cambios que estos producían en la atmósfera y al considerar que su trabajo cuantitativo era más preciso al compararlo con el de Priestley, Ingenhousz o Senebier profundizó en variar las cantidades de dióxido de carbono al que eran expuestas las plantas (De Saussure, 1804).

Para esto analizó el crecimiento de plantas en recipientes cerrados con diferentes cantidades de dióxido de carbono a la vez que las comparaba con plantas que crecen al aire libre. Este trabajo demostró para De Saussure que el carbono que se presentaba en las hojas provenía del dióxido de carbono, debido a que el crecimiento de la planta solo se daba en ambientes donde se presentará este gas; concluyó entonces que el dióxido se transformaba en carbono que era absorbido por la planta, mientras que el oxígeno era liberado a la atmósfera, es decir, que sus conclusiones apoyaban las propuestas de Senebier, como se puede evidenciar en el siguiente fragmento:

Las plantas absorben el hidrógeno y el oxígeno del agua, haciendo que ésta pierda su estado líquido. Esta asimilación no es muy pronunciada salvo cuando las plantas incorporan simultáneamente carbono [del ácido carbónico]⁷... Pero en ningún caso las

⁷ Dióxido de carbono, nota añadida por el autor del trabajo de grado.

plantas descomponen el agua directamente, asimilando su hidrógeno y eliminando su oxígeno en estado gaseoso. Emiten oxígeno gaseoso únicamente por descomposición directa del ácido carbónico gaseoso. (De Saussure, 1804)

Sumado a esto, su trabajo cuantitativo demuestra que la relación entre la producción de oxígeno y la cantidad de dióxido de carbono en el ambiente no podía ser directamente proporcional, puesto que aquellas plantas que presentaban altas cantidades de dióxido de carbono la planta podría morir y en consecuencia era incapaz de producir más oxígeno.

Pasaría más de un siglo para que otros científicos continuaran discutiendo una situación que parecía resuelta a partir de los trabajos mencionados. Sin embargo, a finales de este mismo siglo se usaría por primera vez el término fotosíntesis, acuñado por Charles Barnes en 1893, pues ya era claro que, en este proceso en el que se involucraba la transformación del dióxido de carbono y el agua, los productos resultantes son el oxígeno y la biomasa.

Van Niel y las Bacterias Sulfurosas. Los trabajos de Senebier y De Saussure, a pesar de su detalle en las relaciones cuantitativas frente al fenómeno estudiado, no serían del todo satisfactorios para los científicos del siglo XIX quienes seguirían interesados en demostrar con exactitud la sustancia que produce el oxígeno.

Cornelius Van Niel en 1920, planteó que, al analizar otros organismos fotosintéticos como las bacterias sulfurosas, se podría determinar si el oxígeno provenía o no del agua, puesto que estas bacterias no hacían uso del agua, sino del sulfuro de hidrógeno para sus procesos; lo que esperaba Van Niel se cumplió, las bacterias liberaban azufre y al ser procesos similares, concluye que, así como la luz favorecía la producción de azufre a partir de sulfuro de hidrógeno en las bacterias sulfurosas, la luz debía generar la obtención de oxígeno a partir del agua en las plantas (Baker y Allen, 1970).

Los trabajos y conclusiones de Van Niel, se discuten desde diferentes situaciones, ¿era posible comparar estos dos organismos tan distintos evolutivamente? ¿Existe más de un método para la conversión de energía lumínica a energía química? Estos cuestionamientos impidieron que las afirmaciones realizadas fueran definitivas para la comunidad científica.

Los Marcadores Químicos. Así como Grew, en el siglo XVII, requirió del desarrollo del microscopio para sus observaciones sobre las estructuras en las hojas, la discusión planteada sobre el agua y dióxido de carbono requirió de nuevos métodos e instrumentos para observar y analizar la naturaleza; fue así que el trabajo con marcadores químicos permitió que un grupo de científicos de la Universidad de California en 1941 determinaran la procedencia del oxígeno liberado por las plantas.

Es así como usaron agua marcada por isótopos de oxígeno 18, esperando que el oxígeno que se obtuviera a partir de la fotosíntesis aclarara la disputa de casi dos siglos; si se obtenía oxígeno 16, el isótopo regular del oxígeno, este provenía del dióxido de carbono, mientras que, si se obtenía oxígeno 18, la sustancia de la cual se origina sería el agua; el resultado obtenido determinó que todo el oxígeno producido era del isótopo 18. De igual forma, se hizo el proceso inverso y la sustancia que fue marcada con este isótopo fue el dióxido de carbono, obteniendo oxígeno sin marcar y nada del isótopo 18 (Baker y Allen, 1970).

A mediados del siglo XX, se confirma que las propuestas de Berthollet y Van Niel eran válidas, el oxígeno que se libera en la planta estaba presente en las moléculas de agua, además, las constantes discusiones permitieron determinar que el hidrógeno de esta y el carbono del dióxido se transformaba para formar los tejidos de las plantas.

Algunos Comentarios Alrededor de los Diálogos Establecidos

Son diversas las intenciones que llevaron a los científicos abordados a realizar sus estudios alrededor de las plantas, así como los métodos establecidos para desarrollar sus experimentos, incluso la forma en que eran analizados. Esto permite reconocer cómo los diseños experimentales establecidos para estudiar un fenómeno responden a los intereses particulares de los involucrados, aspecto que en ocasiones lleva a los científicos a afirmaciones similares a pesar de transitar por experiencias diferentes. Además, se evidencia cómo las descripciones cualitativas iniciales fueron complementadas con análisis de carácter cuantitativo que, para varios de los autores, sustentaron las afirmaciones realizadas.

Por último, se evidencia que desde Van Helmont hasta Van Niel, se pueden identificar sustancias, condiciones y estructuras involucradas en los estudios de cada uno de los científicos con quienes se estableció diálogo, como se evidencia en la síntesis de la *tabla 4*.

Es de resaltar como las diferentes intenciones de los autores trabajados, fueron convergiendo en un estudio alrededor de la fotosíntesis y permiten dar cuenta de la transformación de las sustancias tales como el dióxido de carbono y el agua durante este proceso bajo una condición como la luz y estructuras como las hojas, permitiendo reconocer así que sustancias, estructuras y condiciones son codependientes y limitantes entre sí.

Tabla 4

Sustancias, condiciones y estructuras concluidas del diálogo con autores.

Científico	Sustancias	Condiciones	Estructura	Observaciones
Van Helmont	Agua	Presencia de agua	Planta	El agua conforma a la planta.
Hales	Aire	Aire no afectado por una planta	Planta	La planta modifica las condiciones del aire.
Priestley	Aire común, aire flogistizado y aire desflogistizado.	Sol	Planta	La planta, por influencia del sol, retira el flogisto del aire viciado.
Ingenhousz	Agua, aire común, aire flogistizado y aire desflogistizado	Luz	Hojas	Las partes verdes de la planta, por influencia de la luz, transmuta el aire flogistizado o el aire común en aire desflogistizado.
Berthollet	Agua y dióxido de carbono	Luz	Hojas	Se produce oxígeno a partir de la transformación del agua y el hidrógeno formará los tejidos de la planta.
Senebier	Agua y dióxido de carbono	Luz	Hojas	Se produce oxígeno a partir de la transformación del dióxido de carbono y el carbono formará los tejidos de la planta
De Saussure	Agua y dióxido de carbono	Luz	Hojas	Se produce oxígeno a partir de la transformación del dióxido de carbono y el carbono formará los tejidos de la planta
Van Niel	Agua y dióxido de carbono	Luz	Hojas	Se produce oxígeno a partir de la transformación del agua.
Universidad de California.	Agua y dióxido de carbono	Luz	Hojas	Se produce oxígeno a partir de la transformación del agua. El hidrógeno proveniente del agua y el dióxido de carbono se transforman en los tejidos de la planta.

Nota: Elaboración propia.

El análisis histórico crítico realizado conlleva a comprender la transformación de las sustancias como el dióxido de carbono y el agua en la fotosíntesis desde las sustancias, las estructuras y las condiciones, asimismo, fue fundamental para el planteamiento de las distintas actividades experimentales desarrolladas durante el capítulo 5 de este trabajo de grado.

Por un lado, Van Helmont y Hales delimitan las sustancias relacionadas con el desarrollo de las plantas, el agua y el dióxido de carbono respectivamente, mientras que los trabajos posteriores de Priestley e Ingenhousz vincularían estas sustancias a modificaciones del aire presente en el ambiente de los organismos vegetales, en este sentido, se puede determinar que existe un proceso relacionado con el desarrollo de estos organismos y que, además, se encuentra vinculado con las propiedades del aire que rodea a la planta, este era un nuevo proceso identificado por el trabajo de distintos científicos. Al retomar una de las preguntas iniciales de este capítulo ¿Cómo evidenciar y demostrar, experimentalmente, la transformación de las sustancias como el dióxido de carbono y el agua en la fotosíntesis?, se resaltan los distintos experimentos aquí descritos pues en cada uno se puede distinguir cambios o transformaciones de las sustancias como se plasma en la *tabla 4*.

También se considera que el agua y el dióxido de carbono son limitantes del proceso, puesto que, al variar las cantidades de uno u otro, como se puede concluir con De Saussure, la producción de oxígeno cambia y como se demuestra en las actividades experimentales desarrolladas durante el trabajo de grado, también afectará la producción de nuevas estructuras.

Por otro lado, se determina que esta transformación de las sustancias como el dióxido de carbono y el agua en la planta se encuentra ligada a las estructuras y las condiciones, siendo Grew a partir de su trabajo con microscopía quien plantearía una relación entre las hojas y el aire, hecho que se confirma con los trabajos de Ingenhousz quien determina que este proceso se

presenta solo en las partes verdes (hojas y tallos) siempre que sean expuestas a la luz, convirtiendo a esta última en la condición necesaria para llevar a cabo el proceso que posteriormente se conocería como fotosíntesis. Esto determina que sin la presencia de partes verdes o de la luz el proceso de fotosíntesis no se presenta, siendo estos también limitantes para la transformación del dióxido de carbono y el agua.

Los trabajos aquí analizados y que favorecieron la comprensión de la transformación del dióxido de carbono y el agua desde su relación con las estructuras y las condiciones llevan al autor a modificar sus actividades experimentales, por esta razón, los experimentos 2 y 3 se plantean para analizar dichas transformaciones desde los tallos y las hojas, así como la influencia de la luz en este fenómeno estudiado.

De esta forma, el análisis histórico crítico en este trabajo de grado favorece la comprensión del fenómeno al tiempo que lleva al autor a modificar las formas en que se relaciona con este, siendo un ejercicio dinámico en el que se profundiza a partir de la modificación de la experiencia, esta situación es la que conlleva a la formulación del siguiente capítulo que pretende abordar algunas características de las hojas y la luz con relación a la transformación de sustancias como el dióxido de carbono y el agua en la fotosíntesis con el fin de ampliar algunas discusiones planteadas en este y próximos capítulos.

Fotosíntesis: Transformación de las Sustancias como el Dióxido de Carbono y el Agua

Condicionada por la Luz en las Estructuras de la Planta

Los diálogos anteriores han establecido la existencia de la transformación del agua y el dióxido de carbono en la fotosíntesis, concluyendo que el oxígeno es proveniente de las moléculas de agua, mientras que los demás elementos se integran a las nuevas estructuras de la planta. Además, se establece que esta transformación es dependiente de la luz y ocurre en las hojas de la planta, por esta razón, algunas de las preguntas planteadas en el capítulo anterior llevan al autor a formular este capítulo que se centra en aquellos aspectos que amplían la comprensión de las condiciones y estructuras alrededor de la fotosíntesis.

Las Estructuras que Intervienen en la Transformación del Agua y el Dióxido de Carbono en la Fotosíntesis.

Los trabajos de Grew, Ingenhousz y Senebier habían establecido conclusiones alrededor de las estructuras involucradas en la fotosíntesis. El primero, observó que las hojas contaban con poros que permitían el intercambio de gases entre la atmósfera y la planta, el segundo, determinó que el cambio de aire flogistizado a desflogistizado se daba en las estructuras que tuviesen coloración verde en la planta y el último, concluyó que no era la hoja en su totalidad la encargada del proceso fotosintético porque al macerarlas la sustancia presente aún era capaz de llevar a cabo estos procesos.

Así como los trabajos de Grew llevarían a hablar de estomas, los trabajos de Ingenhousz y Senebier, orientarían las discusiones para determinar la existencia de pigmentos y cloroplastos respectivamente, estructuras que son determinantes para llevar a cabo la transformación del dióxido de carbono y el agua en la planta. A continuación, se explica y analiza el funcionamiento del aparato fotosintético el cual se abordará en cuatro segmentos las hojas, los tejidos, los

cloroplastos y los tilacoides, esto se encuentra estrechamente relacionado con preguntas realizadas en el capítulo anterior en torno al trabajo de Grew, una de ellas ¿Cuáles son las sustancias que entran y salen de la planta a través de las estructuras?, en referencia a los poros observados por este científico.

La hoja es un órgano con múltiples funciones para la planta, se destaca la presencia de estomas para el intercambio de dióxido de carbono y oxígeno, así como su capacidad para recibir el agua transportada por los tallos, todas estas son las sustancias que permitirán llevar a cabo la fotosíntesis, en este sentido la hipótesis de Grew era verdadera y estos poros (estomas) si favorecían el intercambio de sustancias, sustancias involucradas en el proceso que posteriormente sería estudiado por Priestley e Ingenhousz.

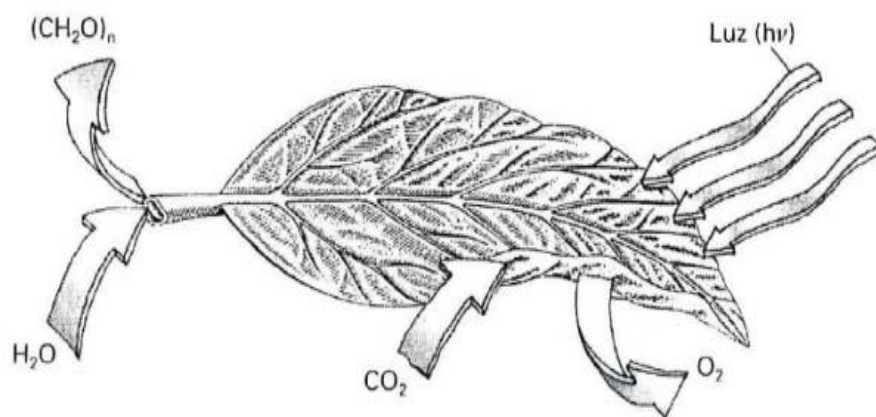


Imagen 8. Representación de la hoja con las sustancias involucradas en la fotosíntesis y la luz. Tomado de De las Rivas 2008

Además, el análisis histórico crítico hace cuestionar al autor acerca de ¿Qué características tiene la hoja para favorecer los procesos observados por Priestley e Ingenhousz?, en referencia a la purificación del aire para hacerlo respirable para los animales. Estudios más recientes alrededor de los tejidos que conforman la hoja determinan que cuentan con células

parenquimatosas las cuales a su vez contienen a los cloroplastos (Revilla y Zarra, 2013) que son los organelos encargados de toda la transformación de las sustancias durante la fotosíntesis (*Imagen 9*), como refiere De las Rivas (2008) “Los cloroplastos son, por tanto, unos plastidios especializados en la función fotosintética en eucariotas” (p. 174).

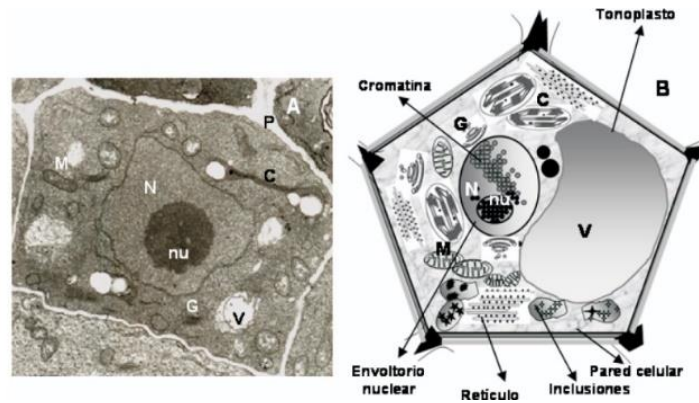


Imagen 9. Microfotografía y representación de la célula vegetal, donde se destaca “c” que indica la ubicación del cloroplasto

Así como Grew logró observar estomas gracias a estudios microscópicos, la especialización en esta actividad condujo a nuevas observaciones microscópicas que han dado la posibilidad de conocer las estructuras que conforman al cloroplasto, el cual se caracteriza por poseer dos membranas una externa y una interna. Esta última, presenta pequeños sacos llamados tilacoides (*Imagen 10*) que se organizan en pilas denominadas granas, las membranas intratilacoidales se conocen como el lumen y el espacio tilacoide-membrana es el estroma (*Imagen 11*) (Karp, 2009). Las imágenes que se presenta a continuación muestran las diferentes estructuras involucradas en la transformación del dióxido de carbono y el agua durante la fotosíntesis.

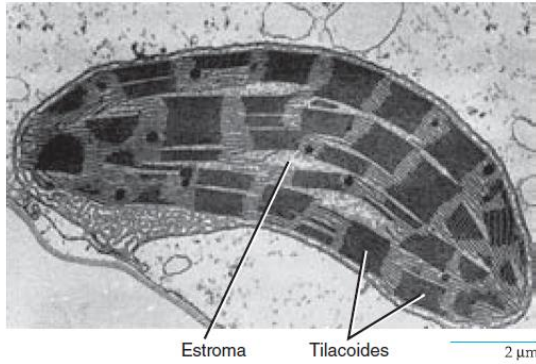


Imagen 10. Microfotografía del cloroplasto. Tomada de Karp 2009

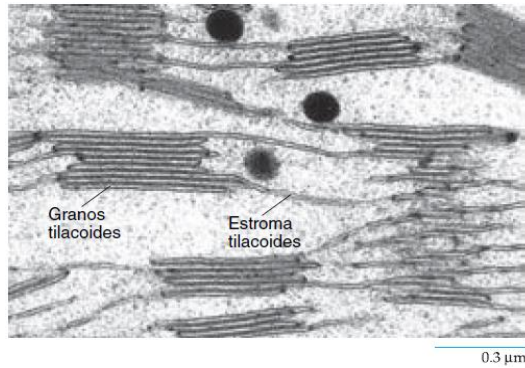


Imagen 11. Microfotografía de tilacoides y estromas. Tomada de Karp 2009

El trabajo de Ingenhousz, sería el desencadenante para orientar los estudios sobre los procesos de las plantas, alrededor de las estructuras con coloración verde encontrándose estrechamente relacionadas con las actividades fisiológicas de las plantas. Por esta razón, los pigmentos son también determinantes en la transformación del dióxido de carbono y el agua durante la fotosíntesis.

Los pigmentos pueden dividirse en dos grandes grupos, de acuerdo a su solubilidad: los pigmentos solubles en agua en donde se encuentran las antocianinas y antoxantinas, que se localizan en el jugo vacuolar; y los solubles en solventes orgánicos en donde se encuentran las clorofilas *a*, *b* y los carotenoides (rojo, naranja y amarillo) que se localizan en las granas y tilacoides de los cloroplastos (Lallana y Lallana, 2012).

Los pigmentos de las plantas son capaces de captar la energía proveniente de la luz y mediante la fotosíntesis la transforman en energía química, además, los pigmentos se diferencian unos a otros por su composición y estructura molecular, así como en su biogénesis lo que genera las distintas propiedades entre ellos. En este sentido, se puede encontrar que “los diferentes tipos de clorofilas, por ejemplo, que se dan en los distintos organismos fotosintéticos presentan

distinciones que marcaron ya desde su aparición su adaptabilidad para aprovechar la energía lumínica en ambientes muy diferenciados” (Manrique, 2003)

La coloración de los pigmentos está en relación con su absorción de la luz, es así que las plantas verdes son de este color debido a que presentan clorofila a y b, la cual es capaz de absorber la luz correspondiente al azul y al rojo, reflejando la verde como se describe en el siguiente apartado.

La luz y su Interacción con los Pigmentos

Priestley y especialmente Ingenhousz, determinaron a través de sus actividades experimentales la influencia de la luz en el proceso que posteriormente sería conocido como fotosíntesis, a través de su interacción con las partes verdes de la planta, en este sentido, se considera que las descripciones que se realizan a continuación tienen como fundamento de base el trabajo realizado por los británicos, además, el siguiente apartado favorece la ampliación de las discusiones alrededor del cuestionamiento planteado durante el análisis histórico ¿Cómo se relacionan las estructuras con las sustancias y la luz para producir el oxígeno⁸?

En la actualidad, hablar de la luz y su relación con la fotosíntesis, implica comprender la dualidad onda-partícula, puesto que esta situación es inherente a la influencia que tiene durante el proceso de la transformación de las sustancias. Es así que la radiación, manifestada en el espectro electromagnético, puede ser entendido como un conjunto de ondas electromagnéticas de distinta longitud de onda que pueden ir desde las ondas de radio que son las de mayor longitud y menor energía, hasta los raios gamma caracterizados por tener menor longitud y mayor energía como los rayos gamma.

⁸ Al plantear la pregunta en el capítulo anterior se hace alrededor del aire desflogistizado teniendo en cuenta que se abarcaban los postulados de Ingenhousz.

En el caso de la luz o la radiación luminosa son aquellas zonas del espectro electromagnético entre los 400 y los 700nm que a su vez es aquella radiación que es visible para el ojo humano, esta es llamada también como radiación fotosintéticamente activa (De las Rivas, 2008), cuando una sustancia con una determinada coloración tiene interacción con la luz es capaz de absorber ciertas longitudes de ondas excepto las del color que observamos, aspecto que explica la coloración verde de las hojas.

Como lo determina Karp (2009), los pigmentos son compuestos que absorben una longitud de onda en particular, de esta forma se encuentra que los carotenoides absorben la radiación correspondiente al azul y al verde, reflejando coloraciones amarillas, naranjas y rojas, mientras que las clorofilas reflejan la radiación correspondiente al color verde. En la *Imagen 12* que corresponde al espectro de absorción de distintos pigmentos.

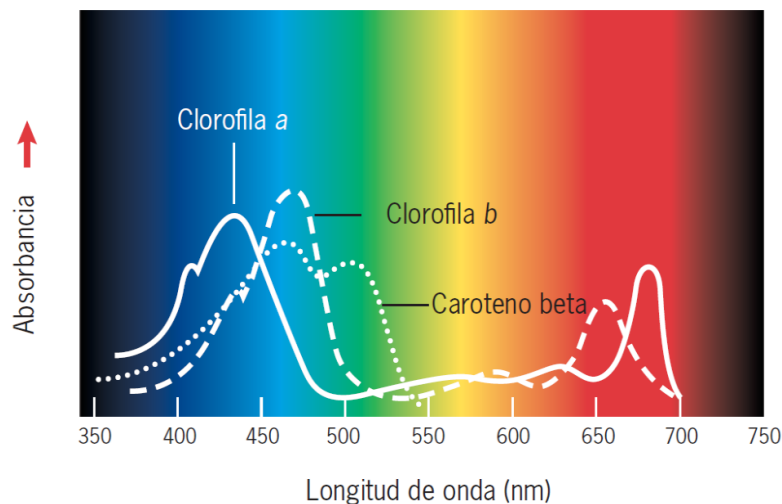


Imagen 12. Gráfica de absorción de la luz en clorofilas y caroteno beta. Tomada de Karp 2009.

Se puede evidenciar como la absorción de la clorofila desciende entre los 500 y los 550 nm correspondientes a la coloración verde, por su parte el caroteno disminuye su absorción luego de los 550 nm donde empiezan las coloraciones amarillas, esta situación no solo demuestra el

porqué de la coloración de los pigmentos, sino también que la energía usada para la fotosíntesis proviene de las longitudes de onda que son absorbidas por los pigmentos. La comprensión de la luz como una onda permite explicar su interacción con los pigmentos y la selectividad que estos tienen para absorber ciertas longitudes de ondas, sin embargo, para explicar la forma en que esta energía lumínica permite la transformación de las sustancias en la fotosíntesis se debe entender la luz como una partícula.

En este sentido, la luz está compuesta por partículas (Baker & Allen, 1970) y como lo define De las Rivas (2008) cuando son captadas por las moléculas aumenta su energía quedando en un estado denominado excitación el cual es inestable y genera que dicha molécula empiece a ceder el exceso de energía y volver a su estado fundamental o de no excitación. Siendo los pigmentos moléculas capaces de absorber la luz, implica que pasa por estos estados de ganancia de energía, excitación y su posterior pérdida.

A inicios del siglo XX se identificó que las moléculas de clorofila actúan en conjunto como una unidad fotosintética, en la cual algunos de estos pigmentos funcionan como antenas recolectoras de luz que absorben y transfieren la energía por las demás moléculas de la unidad fotosintética hasta alcanzar un centro de reacción que posteriormente transfiere un electrón excitado a un receptor primario, desencadenando la transformación del agua y el dióxido de carbono en el agua.

Así pues, con las especificaciones sobre la naturaleza de la luz, su relación con los pigmentos y de las estructuras involucradas en la fotosíntesis, abordadas en este capítulo, a continuación, se describe la transformación del dióxido de carbono y el agua de acuerdo con estudios recientes sobre este fenómeno.

La Fotosíntesis: del Agua y el Dióxido de Carbono a el Oxígeno y la Glucosa

Desde los trabajos de Priestley e Ingenhousz, científicos como Berthollet, Senebier, De Saussure, Van Niel y otros, centraron sus estudios en comprender cómo se transformaban el dióxido de carbono y el agua durante la fotosíntesis, discutiendo sobre la procedencia de las moléculas de oxígeno; aunque los estudios realizados en la Universidad de California lograron determinar que estas provenían del agua, en la actualidad estas transformaciones se estudian desde dos fases distintas, por un lado, está la fase luminosa o dependiente de la luz y por otro, el ciclo de Calvin, las cuales ocurren en distintos lugares de los cloroplastos.

Fase Luminosa

Luego de la absorción de luz por parte de los pigmentos, se genera un aumento de energía que lleva a desencadenar una serie de reacciones ocurridas en complejos pigmento-proteínas llamados fotosistemas, estos se encuentran ubicados en la membrana tilacoidal y son el fotosistema II (PSII) y el fotosistema I (PSI). Estos son conocidos también como P680 y P700 respectivamente, siendo los números los valores de las longitudes de onda que absorben con mayor intensidad en sus centros de reacción (Karp, 2009).

Durante esta fase ocurren cuatro etapas distintas, pero complementarios entre sí, los cuales son la fotoexcitación de la clorofila, la fotólisis del agua, la fotorreducción del NADP⁹ y la fotofosforilación del ADP¹⁰, los cuales se explican a continuación. El primero, abarca la absorción de la luz y la estimulación energética de los cloroplastos y los pigmentos (partes verdes de la planta), este hecho causa que, en el segundo momento, se genere la división de las moléculas de agua dejando el oxígeno como un producto de esta transformación que

⁹ Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato. Es una coenzima que en su forma reducida favorece la fijación de CO₂

¹⁰ Adenosín difosfato. Es un nucleótido involucrado en diversos procesos metabólicos de las células.

posteriormente será secretado por las estomas¹¹, mientras que los hidrógenos son oxidados en el tilacoide para ser usado en otras etapas del proceso.

Este proceso es fundamental para explicar la transformación del agua durante la fotosíntesis, siendo estas moléculas las que posteriormente producirán los oxígenos que serán liberados a la atmósfera mientras que sus hidrógenos se incorporan a los cloroplastos, situación que se presenta debido a la influencia de la luz, el acercamiento a estos hechos los habían realizado Berthollet y Van Niel quienes afirmaban que el oxígeno se producía a partir de las moléculas de agua, el primero lo hace desde el trabajo con medios libres de hidrógeno y el segundo al analizar la fotosíntesis de bacterias sulfurosas, sin embargo, es con los estudios alrededor de los fotosistemas y específicamente los relacionados con la fotólisis del agua los que explican cómo esto ocurría.

Además, se debe tener en cuenta que un aspecto importante de la transformación del agua es que los hidrógenos derivados de esta sustancia serán usados en la fotorreducción del NADP que es la tercera etapa, proceso importante en la producción de energía o ATP¹².

Durante los procesos descritos en este apartado, se resalta la producción de tres sustancias, por un lado, el oxígeno que será liberado por la planta a la atmósfera y, por otro lado, el ATP y el NADPH¹³, que serán usados durante el ciclo de Calvin para la transformación del dióxido de carbono en glucosa y otras moléculas orgánicas.

¹¹ Los trabajos de Grew en 1682, ya habían propuesta el intercambio de gases a través de “poros” que posteriormente recibirían el nombre de estomas.

¹² Adenosín trifosfato. Es un nucleótido obtenido por la fosforilación del ADP y se encarga de suministrar energía en los procesos metabólicos.

¹³ Forma reducida del NADP⁺ y es usada en la asimilación de dióxido de carbono en el ciclo de Calvin.

Ciclo de Calvin

Esta fase se encuentra ligada a diferentes discusiones y cuestionamientos planteados en el capítulo anterior, se destacan los postulados de De Saussure y Senebier alrededor de la presencia de carbono, proveniente del dióxido de carbono, en los tejidos de las plantas. Los análisis de estos científicos a partir de sus experimentos llevaron a otros a comprender las transformaciones que se describen a continuación entorno a la forma como el dióxido de carbono se integra a las hojas.

También llamado fase oscura, el ciclo de Calvin abarca aquellas reacciones químicas ocurridas en el estroma del cloroplasto y que son independientes de la luz, es decir, que si bien pueden ocurrir en presencia de luz no hacen uso directo de esta, mientras que si usarán el ATP y el NADPH. Este proceso puede estudiarse desde las siguientes etapas: la fijación de CO₂ o carboxilación, la reducción del glicerato - 1,3 - difosfato, la formación de compuestos orgánicos y la regeneración de ribulosa, los cuales se describen a continuación.

El primero de estos ocurre a partir de una pentosa, azúcar de cinco carbonos, abundante en los estromas denominada Ribulosa - 5 - fosfato se genera una serie de reacciones químicas derivadas de la interacción de esta molécula con ATP, CO₂ y NADPH. Esta pentosa al interactuar con una molécula proveniente de la fase luminosa como lo es el ATP, se fosforila y se transforma en Ribulosa – 1,5 – difosfato. Posteriormente, el dióxido de carbono proveniente de la atmósfera es fijado a la pentosa debido a la acción de una enzima y el producto obtenido (3 – Fosfogliceraldehido) se reduce por la interacción con el NADPH, tanto el NADP como el ADP, resultante se usarán nuevamente en la fase luminosa, mientras que la molécula obtenida participará en la formación de compuestos orgánicos y en la regeneración de la Ribulosa – 5 – fosfato que permitirá la continuación del Ciclo de Calvin.

Las moléculas resultantes de las reacciones anteriores pueden unirse para formar Fructosa – 1,6 – difosfato, que por pérdida de sus fosfatos y la influencia de enzimas se transforma en Glucosa. Esta glucosa producida durante la fase oscura puede ser usada en diferentes procesos metabólicos en la planta, por ejemplo, si es llevada a la mitocondria intervendrá en la respiración celular, si llega al aparato de Golgi puede formar celulosa, mientras que en los amiloplastos producirá almidón. Además, se debe tener en cuenta que esas moléculas de 3 – Fosfogliceraldehido pueden originar también aminoácidos, alcoholes, ácidos grasos o vitaminas (Medrano, Galmés & Flexas 2008). Por otro lado, las diez moléculas restantes se transformarán en seis nuevas moléculas de Ribulosa – 5 – fosfato con las cuales se dará inicio a las siguientes rondas del ciclo de Calvin (Karp, 2009).

Es interesante contrastar estas descripciones sobre el ciclo de Calvin con la pregunta planteada por el autor en su análisis de los trabajos de Van Helmont ¿Es posible que las nuevas estructuras den cuenta de la transformación? Y las actividades experimentales desarrolladas y descritas en el capítulo 5, puesto que precisamente la generación de nuevas estructuras termina siendo un aspecto fundamental para el trabajo de grado y que se deriva de la producción de moléculas orgánicas durante esta fase.

Consideraciones Sobre la Transformación del Agua y el Dióxido de Carbono

Los diálogos con las fuentes primarias de los científicos y la profundización disciplinar, alrededor de las estructuras y la luz, realizada en este capítulo han llevado a generar una serie de explicaciones sobre el fenómeno de la transformación de las sustancias en las plantas durante la fotosíntesis que se describen a continuación.

Por un lado, a través del análisis histórico crítico realizado se concluye que el agua y el dióxido de carbono son sustancias que se transforman en la planta para producir oxígeno y

biomasa presente en nuevos tejidos y estructuras como brotes de hojas, flores, frutos, entre otros, además, el agua se transforma en las hojas de la planta cuando es expuesta a la luz. Por otro lado, los estudios aquí descritos explican cómo esto ocurre, siendo la transformación de una dependiente de la otra y si bien la luz condiciona la fotosíntesis se aclara que esta es una condición debido a su influencia desencadenante para el fenómeno aquí estudiado; por último, la profundización en la macro y la microestructura de la hoja permite comprender que estas tienen distintos roles durante el proceso, en el caso de la primera se encarga de regular el ingreso de las sustancias y la segunda de llevar a cabo la transformación de las sustancias.

Al considerar la transformación del agua en la fotosíntesis puede describirse de la siguiente forma, cuando la luz excita los fotosistemas de la membrana en los tilacoides genera que se separen las moléculas de agua en las hojas, las cuales han sido transportadas por el tallo hasta las hojas, de tal forma que se produce oxígeno secretado por la planta a través de los estomas de la hoja, mientras que el aumento de hidrógeno causará la síntesis de NADPH^+ y ATP. Precisamente en este punto, es donde se hacen dependientes las transformaciones de cada una de las sustancias aquí estudiadas, agua y dióxido de carbono, puesto que la transformación del dióxido de carbono requiere de estas moléculas NADPH^+ y ATP derivadas de la transformación del agua, para la cadena de reacciones que permiten su transformación hasta moléculas orgánicas (azúcares, lípidos y proteínas) que conformarán las estructuras de la planta.

En este sentido, se considera la posibilidad de pensar que variaciones en el agua, el dióxido de carbono, las hojas o la luz durante el proceso causará cambios en el desarrollo de la planta e incluso ser limitantes del mismo, aspectos que también, son discutidos en el siguiente capítulo del trabajo. Se finaliza destacando la complejidad de la hoja y de la luz, que al pasar de las observaciones macroscópicas a las microscópicas se llegan a nuevas formas de comprender y

explicar el fenómeno de la transformación de las sustancias en la planta, dentro de las cuales están los procesos llevados a cabo en los fotosistemas que cuentan con una serie de sustancias que también tienen transformaciones y favorecen las del agua y el dióxido de carbono, sumado a esto, la interacción luz, hoja, sustancia en la que se involucra aspectos como la absorción de luz por los pigmentos para desencadenar el proceso de la fotosíntesis.

Estudio Experimental de la Transformación del Agua y el Dióxido de carbono en la Fotosíntesis

El camino establecido al realizar un estudio histórico crítico de la transformación de las sustancias en la fotosíntesis implicó para el autor plantear, diseñar y ejecutar actividades experimentales que le permitieran dar cuenta de dicha transformación, así como para llegar a sus propias explicaciones sobre el fenómeno convirtiendo su experiencia en explicaciones, a partir de los cuales continuar en ese diálogo con otros. Malagón et al (2013), relacionan la actividad experimental desde cuatro roles de la experimentación en los estudios fenomenológicos, los cuales son la construcción y comprensión de fenomenologías, la ampliación de la experiencia, la construcción de formas de hablar del fenómeno y la concreción de supuestos conceptuales; estos roles, derivados también de las intenciones con que se proceda, fueron transitados por el autor durante el desarrollo de los experimentos implementados, pues se considera que el entendimiento del fenómeno aquí descrito se verá modificado a medida que se experimenta.

Lo anterior, lleva al autor a organizar el fenómeno desde las sustancias, las estructuras y las condiciones, a partir de las cuales se caracteriza al fenómeno de la transformación de las sustancias tales como el agua y el dióxido de carbono en la planta durante la fotosíntesis. La organización desarrollada del fenómeno es la base para la experimentación, pues a partir de esta se diseñan las actividades experimentales de tal forma que se amplíe la experiencia y modifique las formas de hablar del fenómeno. En este sentido, se destaca la siguiente afirmación:

Se hace necesario, por ejemplo, construir descripciones en donde se discriminen factores o efectos que han adquirido importancia, comparaciones en las que se establezcan un criterio de orden o de agrupación y relaciones entre los distintos criterios bajo las cuales se realizan los anteriores procesos mentales. Estos procesos son tipos de formalización en

un sentido amplio que no implica la sola determinación de relaciones algebraicas o expresiones matemáticas en general. Aquí, por formalización se entiende también la construcción de palabras, signos, dibujos, procedimientos, proposiciones, entre otras, que permiten empezar a hablar del fenómeno. (Malagón et al, 2013, p. 91)

Esto implica también que el ejercicio de organización y construcción de explicaciones evidenciadas en las formas de hablar del fenómeno, las cuales son derivadas de la experimentación, dan cuenta de una teorización sobre el mismo que es inherente a la experiencia con el fenómeno.

En relación con estas consideraciones, las actividades experimentales descritas en este capítulo fueron orientadas a partir de las preguntas que emergen de la comprensión inicial del fenómeno y se modificaron a partir de las nuevas explicaciones construidas. De esta forma, los experimentos organizados, las observaciones realizadas y las explicaciones construidas se presentan a continuación.

Sobre los Efectos de la Variación del Dióxido de Carbono en Características Observables en las Hojas de las Plantas

Desde el interés del autor por comprender la transformación de las sustancias durante la fotosíntesis y específicamente las del agua y el dióxido carbono, surge la siguiente pregunta ¿Cómo afecta la variación de las cantidades de dióxido de carbono el desarrollo de las plantas? para abordar el cuestionamiento planteado, se realiza un experimento en el que se alteran las cantidades de los gases que rodean a la planta y se organiza bajo los siguientes aspectos:

Aspectos generales: Las plantas fueron cultivadas en recipientes del mismo tamaño con 400 gramos de tierra y fueron regadas con 100 mL de agua solo al inicio del proceso; para controlar los gases con los que interactuaba la planta, se ubicaron las plantas en una bandeja con

agua y se usaron recipientes invertidos (*Imagen 13*). Inicialmente las observaciones se realizan sobre la planta y las características en esta que pudieran dar cuenta de variaciones en el desarrollo de la misma, por esta razón, se toman como criterios los cambios en la coloración y el número de las hojas presentes en las plantas debido a que la generación de nuevas estructuras o afectaciones en estas indicarían transformaciones de agua y dióxido de carbono.

Algunas actividades experimentales requerían que fuera suministrado dióxido de carbono, para esto se usaron recipientes que fueron perforados y se les introdujo una manguera la cual fue usada en primer lugar para extraer la mayor cantidad de aire posible usando una jeringa y posteriormente para permitir la entrada del dióxido de carbono. Para este proceso y con el fin de evitar acceso o fuga de gases el seguimiento, el agujero fue realizado con un cautín de lápiz, esto evitaba la generación de grietas en el plástico del recipiente, además, al introducir la manguera se usó silicona para sellar posibles espacios que hubiera entre la manguera y el recipiente.

El dióxido de carbono fue producido a partir de la reacción del bicarbonato de sodio y vinagre (*Imagen 14*), este fue almacenado en una bolsa que estaba conectada tanto al recipiente que contenía al vinagre como a la manguera que se encontraba ubicada en los recipientes que contenían las plantas, este proceso fue implementado también en los experimentos posteriores.



Imagen 13. Organización del experimento, se evidencia la manguera en el recipiente derecho para la extracción y adición de gases.



Imagen 14. Organización del experimento, conexión entre el recipiente que contiene la planta y el que produce el dióxido de carbono

Se cultivan tres plantas como se describe a continuación:

Planta 1: Esta planta fue ubicada con aire contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Planta 2: La planta fue de control y estaba de acuerdo con los aspectos generales descritos anteriormente. No tenía ningún recipiente puesto.

Planta 3: La planta fue ubicada con dióxido de carbono contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

La organización planteada permite afirmar que el dióxido de carbono se presenta en mayor cantidad en la planta 3, menor en la planta 2 y 1 respectivamente; en cuanto a la coloración de las hojas se encuentran los siguientes resultados:

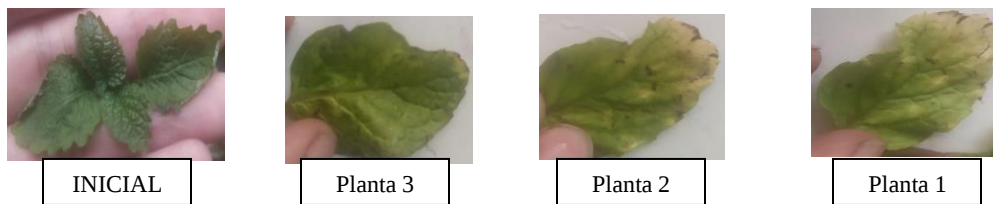


Imagen 15. Diferencias en la coloración de las plantas actividad experimental 1

Los cambios en la coloración de las hojas parecen estar relacionados con la concentración de dióxido de carbono que rodea a la planta, pues se evidencia que a medida que disminuye la concentración de este gas a través de los montajes, también lo hace la intensidad del verde pasando de oscuro a claro e incluso llegando al amarillo. El número de hojas no tuvo cambios destacables y se considera que puede deberse a la cantidad de días en el que se realizó el seguimiento.

Además, un efecto que no se esperaba analizar pero que empezó a tomar relevancia dentro del trabajo planteado fue la generación de una gran cantidad de gotas adheridas a los recipientes de las plantas 1 y 3 como se muestra a continuación:

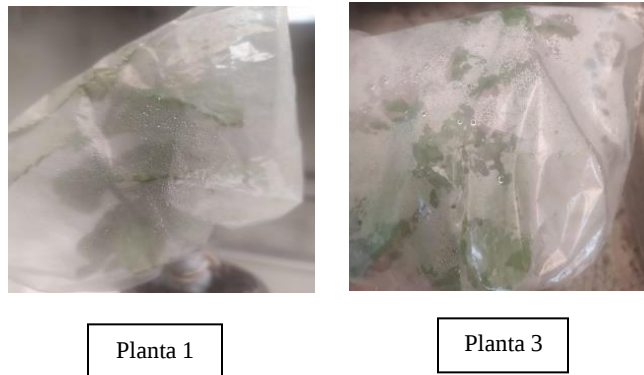


Imagen 16. Gotas presentes en los recipientes cerrados.

En el caso de la presencia de gotas, esta situación puede deberse a la transpiración que generan las plantas a través de los estomas, aquellas aberturas de las que Grew se había cuestionado si permitía algún tipo de intercambio de gases, al salir en forma de vapor el agua de la planta y llegar a las paredes de la recipiente esta parece nublarla, mientras que al entrar en contacto con esta superficie se condensaba para generar las gotas de agua que al irse agrupando y deslizando en el recipiente formaban gotas más grandes; sin embargo, por el tamaño de las gotas en la planta 3 parece que la transpiración se diera con mayor rapidez, una hipótesis es que la presencia de mayor cantidad de dióxido de carbono genera que los estomas estén más activos.

Al finalizar se concluye que *el dióxido de carbono favorece la generación de nuevas hojas y la coloración de estas en la planta*, además, se relaciona con la rapidez en la transpiración en la planta; sin embargo, se dispondrá de una repetición de la experiencia para comprobar lo observado y, además, abordar la influencia que puede tener la luz en la transformación de las sustancias en la planta.

Sobre la Generación de Nuevas Hojas en la Planta Favorecida por el Dióxido de Carbono y la Influencia de la Luz en este Fenómeno

La actividad experimental anterior encuentra cambios con el fin de determinar la influencia de la luz en los efectos que tiene el dióxido de carbono en la planta, estos cambios fueron propuestos luego del diálogo con textos de Priestley e Ingenhousz cuyo trabajo con la luz llevaron a analizar variaciones en los aires que rodeaban a la planta y se considera que también pueden evidenciarse variaciones en los criterios elegidos para la observación durante estas actividades experimentales al exponer plantas a luz o a oscuridad.

Esto implicó que se expusieran plantas a la luz y otras se mantuvieran en oscuridad, así como alterar las condiciones de los gases que rodean a la planta; organizando la actividad experimental en los siguientes aspectos:

Generales: Las plantas fueron ubicadas en recipientes del mismo tamaño con 400 gramos de tierra y fueron regadas con 300 mL de agua al inicio del proceso. La ubicación en los recipientes se realizó de la siguiente forma:

Plantas expuestas a la luz

Las plantas de este apartado se mantuvieron en un lugar expuestas a la luz del sol.

Planta 1-A: Esta planta fue ubicada con aire contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Planta 2-A: La planta fue de control y estaba de acuerdo con los aspectos generales descritos anteriormente. No tenía ningún recipiente puesto.

Planta 3-A: La planta fue ubicada con dióxido de carbono contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Plantas en oscuridad

Se seleccionó un espacio que se encontraba constantemente en oscuridad, excepto al momento de realizar el seguimiento diario.

Planta 1-B: Esta planta fue ubicada con aire contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Planta 2-B: Es de control y de acuerdo con los aspectos generales descritos anteriormente. No tenía ningún recipiente puesto.

Planta 3-B: La planta fue ubicada con dióxido de carbono contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Durante este proceso se logra determinar los siguientes cambios a nivel del número de hojas presentes en las plantas:

Tabla 5

Variaciones en el número de hojas en la actividad experimental 2.

PLANTA	DÍA	Nº DE HOJAS
1-A	1	31
	10	40 (+29,03%)
2-A	1	35
	10	47 (+34,29%)
3-A	1	31
	10	55 (+77,42%)
1-B	1	133
	10	41 (-69,17%)
2-B	1	45
	10	17 (-62,22%)
3-B	1	85
	10	27 (-68,23%)

Nota: Elaboración propia.

El porcentaje en la tabla corresponde al aumento o disminución del número de hojas en la planta. Se evidencia que las plantas presentan diferentes resultados en este aspecto a nivel de luz y oscuridad, puesto que aquellas que estaban en luz tuvieron ganancia en cantidad de hojas, mientras que las de oscuridad las perdieron en grandes cantidades.

De las plantas expuestas a luz, aquella con CO₂ (3-A) produjo muchas más hojas que las demás, aumentando en más de un 70%, pero al observar aquella con dióxido de carbono en la oscuridad (3-B) se encuentra una pérdida de más del 60%, a partir de esto se esperaba que la planta 2-A (planta control expuesta a luz), aumentara en mayor cantidad su número de hojas a comparación de la 1-A (planta con aire almacenado y expuesta a luz), pues se consideraba que esta última luego de un tiempo contaría con menos cantidades de dióxido de carbono. Además, se considera que la 2-A pudo verse afectada por el agua, así como fue indicado en la sección anterior, es decir, que el beneficio del CO₂ de generar hojas nuevas se favorecen siempre y cuando se tenga presente agua.

En este sentido, se puede determinar que los efectos del CO₂ son dependientes tanto del agua como de la luz, de hecho, el agua solo es absorbida por la planta cuando esta es expuesta a la luz como se presenta en la *Imagen 17*

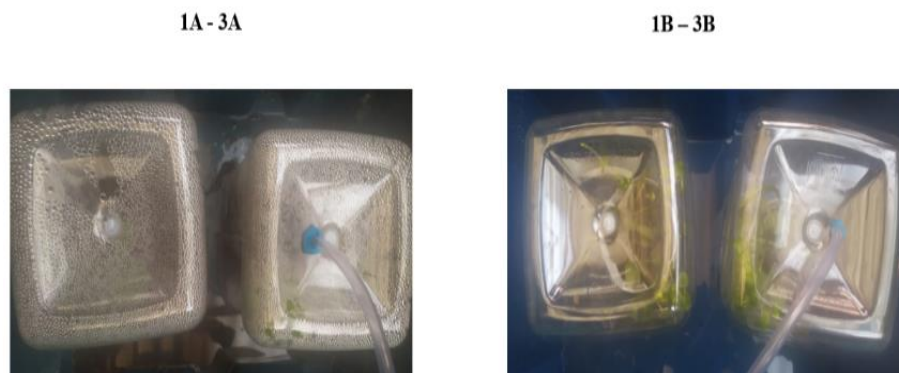


Imagen 17. Diferencias de humedad en los recipientes. En la izquierda los montajes expuestos a la luz y a la derecha los que se encontraban a oscuridad.

Esto permite determinar que la presencia constante de gotas en los recipientes de las plantas 1-A y 3-A, así como la ausencia de estas en los recipientes de 1-B y 3-B, fortalece el argumento mencionado en el que la presencia de luz favorece los procesos en los que se involucra el agua y cuando esto ocurre los efectos del CO₂, que se han mencionado con anterioridad, se presentan.

Asimismo, se pudo encontrar las siguientes variaciones en la coloración de la planta:

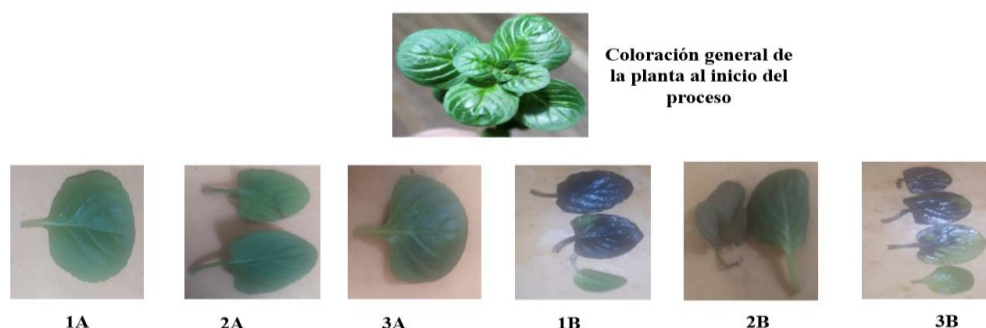


Imagen 18. Diferencias en la coloración de las plantas actividad experimental 2, en la nomenclatura usada 1 corresponde a plantas con aire almacenado, 2 a plantas control, 3 plantas expuestas a dióxido de carbono, A cuando éstas son expuestas a luz y B cuando se encuentran en oscuridad

La variación de color se observa por separado en las plantas con luz y oscuridad, teniendo en cuenta que sus resultados fueron completamente diferentes. El cambio en aquellas con luz fue mínimo, siendo las de mayor variación de coloración algunas hojas de la planta 2-A, seguidas de las 1-A y las de menos variación las de 3-A, lo que pudo favorecerse por la presencia de CO₂; sin embargo, se esperaría que la planta 1-A, fuese aquella que más cambiará su coloración debido a contar con menores cantidades de CO₂.

En el caso de las plantas en oscuridad se puede evidenciar cambios más intensos, en el caso de la planta 2-B, varias de las hojas se encuentran secas y de color semejante al café, algo a tener en cuenta es que la tierra se encontraba húmeda, esto indicaría que el agua, debido a la

ausencia de luz, no fue absorbida causando disminución en la transpiración y conducción del agua en la planta durante los 10 días del seguimiento.

Por su parte, las plantas 1-B y 3-B, cuyas hojas se habían perdido en grandes cantidades, presentan coloraciones negras, especialmente la planta 1-B que tuvo mayor cantidad de hojas con coloración negra que en la 3-B, donde se presentaron hojas con diferentes grados de transición entre el verde y el negro. Al tener menor variación en la 3-A, con respecto a las plantas expuesta a luz, al igual que en la 3-B de aquellas en oscuridad, se deduce que la presencia de CO₂ hace más lento el proceso de cambio de color.

Por las diferentes razones mencionadas a partir de las observaciones realizadas, se considera que *el dióxido de carbono favorece la generación de nuevas hojas y el mantenimiento de la coloración en estas, siempre que el agua sea absorbida por la planta por influencia de la luz*. A partir de esto y teniendo en cuenta que en cada montaje expuesto a luz solo cambia la cantidad de CO₂ y de estas variaciones se obtiene mayor cantidad de hojas a mayor cantidad del gas, se concluye que una determinada parte del dióxido de carbono se transforma en las hojas.

De igual forma, las observaciones realizadas relacionan que la luz condiciona la generación de nuevas hojas y la permanencia del tono de color en estas estructuras, asimismo, condiciona la absorción del agua por parte de la planta deteniendo los procesos en el que esta se involucra como transpiración de la cual daban cuenta las gotas en los recipientes, aspecto que no se presenta en aquellas en oscuridad.

En este sentido, se puede evidenciar una conexión y dependencia de los procesos, puesto que la absorción de agua solo se da por presencia de la luz, al igual que ocurre con la generación de nuevas hojas; esto lleva a considerar que las nuevas estructuras se sintetizan a partir de las transformaciones conjuntas del agua y el dióxido de carbono.

Al observar y discutir alrededor de estas transformaciones en la planta a partir de los cambios en las hojas se decide realizar una actividad experimental que permitiera replicar la experiencia para comparar resultados y también analizar la relación entre las hojas y los tallos con los procesos explicados hasta el momento.

Sobre la Relación de los Tallos y las Hojas con la Transformación del Dióxido de Carbono y el Agua en la Planta por la Influencia de la Luz

La actividad experimental realizada tiene como base la anterior, por esta razón, tiene el fin de corroborar las observaciones y afirmaciones construidas al tiempo que se exponen plantas sin presencia de hojas; se destaca que las variaciones realizadas en esta actividad experimental son derivadas de los diálogos realizados con los textos de Ingenhousz quien trabajó por separado con las distintas estructuras de la planta y se toman para el análisis las que produjeron aire desfogotizado (oxígeno).

Para esto la actividad se organiza de la siguiente forma:

Generales: Las plantas fueron ubicadas en recipientes del mismo tamaño con 400 gramos de tierra y fueron regadas con 300 mL de agua al inicio del proceso. La ubicación en los recipientes se realizó de la siguiente forma:

Plantas expuestas a la luz

Las plantas de este apartado se mantuvieron en un lugar expuestas a la luz del sol.

Planta 1-A: Esta planta fue cultivada retirándole a sus tallos las hojas, además, con aire contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Planta 2-A: La planta fue cultivada sin hojas en sus tallos y se utiliza como control, también estaba de acuerdo con los aspectos generales descritos anteriormente. No tenía ningún recipiente puesto.

Planta 3-A: La planta fue ubicada con dióxido de carbono contenido en un recipiente luego de retirarle las hojas a los tallos y se tienen en cuenta que este bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Planta 4-A: Esta planta fue ubicada con aire contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Planta 5-A: La planta fue de control y estaba de acuerdo con los aspectos generales descritos anteriormente. No tenía ningún recipiente puesto.

Planta 6-A: La planta fue ubicada con dióxido de carbono contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Plantas en oscuridad

Se seleccionó un espacio que se encontraba constantemente en oscuridad, excepto al momento de realizar el seguimiento diario.

Planta 1-B: Esta planta fue cultivada retirando las hojas de sus tallos y con aire contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Planta 2-B: Es la planta control a la cual se le retiran las hojas y se ubica de acuerdo con los aspectos generales descritos anteriormente. No tenía ningún recipiente puesto.

Planta 3-B: La planta es cultivada sin hojas en sus tallos, posteriormente es ubicada con dióxido de carbono contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Planta 4-B: Esta planta fue ubicada con aire contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

Planta 5-B: Es de control y de acuerdo con los aspectos generales descritos anteriormente. No tenía ningún recipiente puesto.

Planta 6-B: La planta fue ubicada con dióxido de carbono contenido en un recipiente y bajo los aspectos generales descritos anteriormente.

La organización de la actividad experimental se resume en la *tabla 6*

Tabla 6

Organización de la actividad experimental 3.

PLANTAS EXPUESTAS A LUZ	PLANTAS EN OSCURIDAD
1-A Aire almacenado y tallo sin hojas.	1-B Aire almacenado y tallo sin hojas.
2-A CO ₂ y tallo sin hojas.	2-B CO ₂ y tallo sin hojas.
3-A Control y tallo sin hojas.	3-B Control y tallo sin hojas.
4-A Aire almacenado y tallo con hojas.	4-B Aire almacenado y tallo con hojas.
5-A CO ₂ y tallo con hojas.	5-B CO ₂ y tallo con hojas.
6-A Control y tallo con hojas.	6-B Control y tallo con hojas.

Nota: Elaboración propia.

Al igual que en el momento anterior, se realizó seguimiento al número de hojas, coloración de hojas y las relaciones con la humedad en los recipientes. En cuanto a la variación en la cantidad de hojas se obtienen los datos presentados en la *Tabla 7*.

Se evidencia que la planta que tuvo un mayor aumento de hojas fue aquella que estaba expuesta a luz, con CO₂ y cuyo tallo tenía hojas (5-A), este hecho también disminuía proporcionalmente con la cantidad de CO₂, situación que disminuyó por completo en los organismos sin hojas, sin embargo, se observó una variación en los tallos, la generación de brotes, encontrando que la planta control expuesta a luz (3-A) no presenta ninguno. Esto puede deberse a que no presentó una constante humedad como si lo hicieron las demás plantas debido a las condiciones que se daban al estar encerradas en el recipiente.

Tabla 7*Variaciones en el número de hojas en la actividad experimental 3.*

PLANTA	DÍA	N° DE HOJAS
1-A	1	0
	8	6 brotes
2-A	1	0
	8	12 brotes
3-A	1	0
	8	0
4-A	1	53
	8	55(+3,774%)
5-A	1	38
	8	49 (+28,947%)
6-A	1	35
	8	40 (+14,286%)
1-B	1	0
	8	0
2-B	1	0
	8	0
3-B	1	0
	8	0
4-B	1	40
	8	33 (-17,500%)
5-B	1	16
	8	10 (-37,500%)
6-B	1	47
	8	41 (-12,766%)

Nota: Elaboración propia.

En este sentido, se afirma que los tallos y las hojas contienen tejidos y sustancias que les posibilitan generar nuevas estructuras, siendo las hojas las que tienen mayor capacidad para realizarlo; esto conlleva a profundizar en la explicación sobre el fenómeno estudiado:

las transformaciones del agua y el dióxido de carbono que sintetizan las hojas por la influencia de la luz se producen en los tejidos de las mismas hojas y en menor medida en los de algunos tallos, estos aspectos se determinan por la generación de nuevas hojas cuando el agua es absorbida por la planta y por el gran aumento de estas cuando es mayor la cantidad de dióxido de carbono a la que es expuesta, también teniendo en cuenta que cuando la luz se ausenta no se generan hojas e incluso se tiene pérdida de las mismas, además, que estas transformaciones no se llevan a cabo en algunos de los organismos porque solo las plantas que contaban con hojas fueron capaces de producir más de estas estructuras

Por otra parte, las variaciones de coloración se presentan de acuerdo con los siguientes resultados:

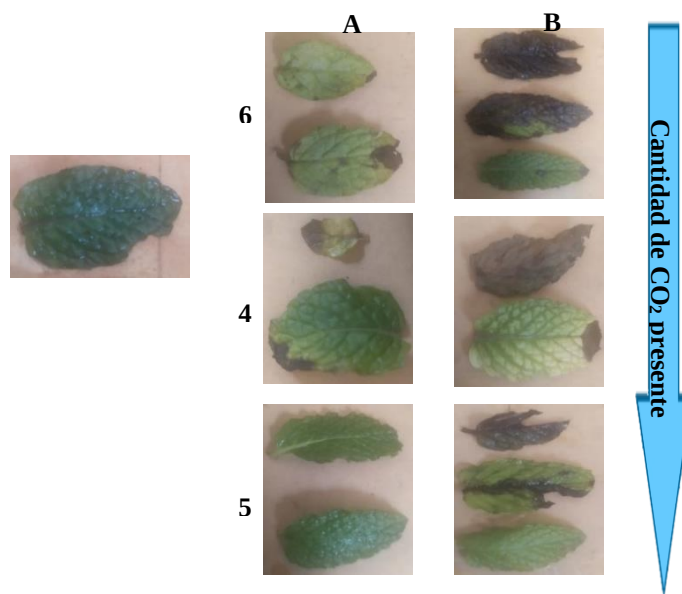


Imagen 19. Diferencias en la coloración de las plantas actividad experimental 3

La planta que mantuvo por mayor tiempo la coloración fue la 5-A, evidenciando una pérdida de coloración a medida que disminuye la cantidad de dióxido de carbono en el aire presente; con respecto a las plantas que se encontraban en oscuridad, aunque todas se vieron perjudicadas con coloraciones que llegaban al negro, se evidencia que la rapidez con que esto ocurría era menor en la planta 5-B (Aquella en un recipiente con CO₂ almacenado, con hojas en sus tallos y expuesta a oscuridad). Los resultados obtenidos permiten concluir que a mayores cantidades de dióxido de carbono la pérdida de color es más lenta en las hojas de la planta.

Además, se demuestra que el mantenimiento del color también es dependiente de la presencia de luz, pues cuando esta condición no está las plantas entran en estados no favorables para su mantenimiento como es la generación de coloraciones negras en sus hojas. Esto puede deberse a la ausencia de transpiración en la planta que sirve como refrigerante a la planta lo que desencadena una quema de los tejidos en esta estructura lo cual es evidenciado en los cambios de coloración. De ser así, se afecta directamente la transformación del dióxido de carbono y el agua en la planta, puesto que es en los tejidos de las hojas, por influencia de la luz, donde se lleva a cabo la transformación de estas sustancias y la síntesis de otras sustancias que favorecen la formación de nuevas hojas.

Sobre la Influencia de Distintas Longitudes de Onda en la Transformación del Agua y el Dióxido de Carbono en las Hojas

La observación y análisis en las actividades experimentales anteriores han llevado a evidenciar una relación directa entre la luz y la transformación del agua y el dióxido de carbono, pero al considerar a esta condición como un conjunto de ondas electromagnéticas con distinta longitud de onda que se manifiestan en forma de diferentes coloraciones de luz, se desarrolla una última actividad experimental que emerge a partir de la reflexiones realizadas y la

documentación disciplinar del capítulo anterior; este tiene como objetivo establecer la influencia de distintas longitudes de ondas en la coloración y el número de hojas de la planta.

En este sentido, cinco plantas fueron cultivadas en recipientes del mismo tamaño con 400 gramos de tierra abonada y 300 mL de agua, realizando seguimiento durante 8 días; a partir de estos aspectos generales se ubican en cajas que son iluminadas por distintas longitudes de onda, las cuales son verde, rojo, azul, luz natural y oscuridad como se muestra en la *Imagen 21*.



Imagen 20. Ubicación de la actividad experimental 4, plantas a distintas longitudes de onda
Los resultados obtenidos alrededor del número de hojas se presentan en la *tabla 8*

Tabla 8

Variaciones en el número de hojas en la actividad experimental 4.

Coloración de la luz	N° de hojas iniciales	N° de hojas finales
Verde	34	44 (+29,412%)
Rojo	38	46 (+21,053%)
Azul	40	47 (+17,5%)
Oscuridad	42	29 (-30,952)
Natural	50	87 (+74%)

Nota: Elaboración propia.

Se evidencia aumento en el número de hojas en todas las plantas expuestas a alguna de las longitudes de onda, siendo mayor en la luz natural y menor en la luz azul. Además, como fue

evidenciado en los experimentos anteriores la planta en oscuridad tiene pérdida de hojas. Por otro lado, frente a la coloración se obtienen los siguientes cambios presentados en la *Imagen 21*.

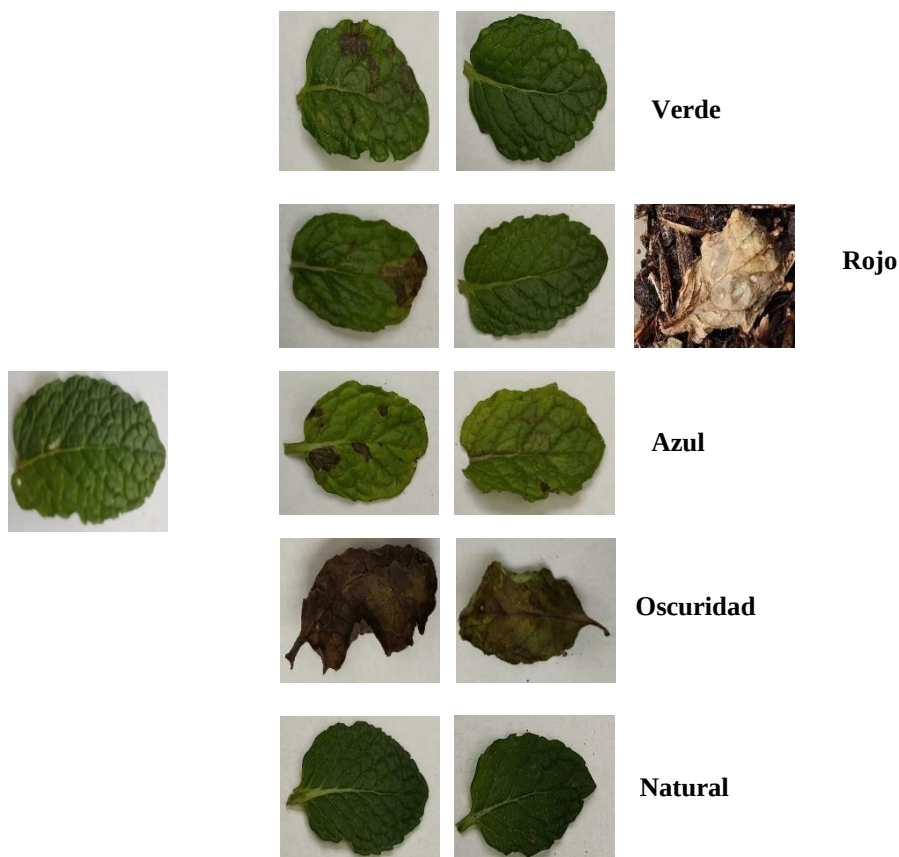


Imagen 21. Diferencias en la coloración de las plantas actividad experimental 4

La actividad experimental realizada sirve para confirmar la importancia que tiene la luz como condición para que la transformación del agua y el dióxido de carbono se lleve a cabo, puesto que la pérdida de hojas, la sequedad en hojas y la humedad que posteriormente se evidenció en la tierra demuestran que la planta en oscuridad no absorbió agua y por tanto no se da inicio a la síntesis de nuevas hojas.

Al analizar cada longitud de onda se encuentran distintos resultados, en primer lugar, al abordar la longitud de onda correspondiente al verde se encuentra que en esta luz las hojas

siguen teniendo la posibilidad de sintetizar nuevas hojas, sin embargo, al observar la humedad de la tierra luego de los 8 días y los cambios de color, se indica que la absorción de agua era menor, pero no insuficiente como para evitar el proceso.

Al profundizar teóricamente en la luz y determinar que la coloración verde se encuentra entre los 495 y 570 nm de longitud de onda, al tiempo que basado en la *Imagen 12*, presentada en el capítulo anterior, donde la absorción de luz en este rango puede llevarse a cabo en las clorofilas B se determina que este pigmento es el principal causante de la síntesis de las hojas nuevas en esta planta estudiada, puesto que este pigmento es capaz de absorber luz entre los 450 a 500 nm, es decir parte del espectro de las longitudes de onda correspondiente al verde, mientras que la clorofila A lo hace entre los 400 a 450 nm y los 650 a 700 nm, espectros alejados de los necesarios para absorber la luz verde.

En segundo lugar, la planta en longitud de onda entre los 620 y 750 nm correspondientes a una coloración roja también presenta síntesis de hojas, además, como se muestra en la imagen 21, sus hojas presentan sequedad debido a la rápida absorción del agua aspecto que se evidencia en la sequedad de la tierra que presento luego del día 3 de seguimiento.

En este caso las longitudes de ondas a las que son expuestas las plantas corresponden a los 620 y 750 nm, precisamente en estos rangos se encuentran las longitudes de ondas que estimulan la activación de los fotosistemas descritos anteriormente el PS680 y el PS700, esto implica a su vez que la planta requiera agua para llevar a cabo los procesos desencadenados por los fotosistemas. La constante exposición a esta luz causa que la tierra se seque rápidamente y posteriormente se evidencie también en sus hojas, es decir que, a pesar de favorecer los procesos de transformación de sustancias, el exceso de este estímulo genera daño a la planta debido a sus altas necesidades de agua.

En tercer lugar, está la planta expuesta a las longitudes de onda correspondientes a la luz azul, en esta se encuentra síntesis de hojas, pero en menor proporción que las otras longitudes de onda, mientras que su coloración disminuye la tonalidad verde y presentan algunas manchas de color negro. También se debe tener en cuenta que, al igual que la planta anterior, la tierra se seca antes de finalizar los días de seguimiento, pero en este caso ocurre posterior al día 4 de seguimiento.

Se encuentra que la longitud de onda correspondiente al color azul va desde los 450 hasta los 495 nm, siendo esta absorbida con facilidad por las clorofilas como se evidencia en *la Imagen 10*, esto permite establecer relación entre la síntesis de hojas y la capacidad de absorción de la clorofila, especialmente de la B porque abarca todo el espectro de absorción de esta. Además, se debe tener en cuenta que la humedad en la tierra se presentó durante más días, esto implica que la activación de los fotosistemas, que desencadenan el uso del agua para la síntesis de hojas, no es llevada a cabo con la misma eficacia.

De acuerdo con las afirmaciones realizadas alrededor de la absorción de la luz por parte de los pigmentos, se debe considerar que existen otros pigmentos como los criptocromos, carotenos y fitocromos que absorben longitudes en azul, amarillo y roja, hechos que seguramente estarán interviniendo en los procesos descritos, favoreciendo la absorción de la luz en distintas longitudes de onda.

Por último, se encuentra que la planta expuesta a luz natural presenta mayor cantidad de hojas nuevas y la coloración de estas se mantiene en el transcurso de los días, por esta razón se considera que se ve beneficiada por la combinación de las distintas longitudes de onda, además, la planta no se ve sometida a la exposición permanente a la luz lo que evita verse dañada por

condiciones extremas que generen la estimulación constante de los fotosistemas o la carencia de activación de estos.

A partir de los diferentes observaciones y los análisis realizados se determina que la transformación de las sustancias en la planta para sintetizar las hojas, se ve alterada dependiendo de la longitud de onda a la que es expuesta, así como al tiempo mismo de exposición y también que este fenómeno se favorece cuando las diferentes longitudes de onda se combinan. Además, se destaca lo mencionado en el capítulo anterior con relación a que la generación de estas nuevas hojas, alrededor de las cuales se ha realizado el análisis en las diferentes actividades experimentales, ya que se encuentran relacionadas con la elaboración de distintas sustancias como azúcares, aminoácidos, alcoholes, proteínas, ácidos grasos o vitaminas.

Explicaciones Derivadas del Trabajo Experimental

Las actividades experimentales realizadas permiten realizar diferentes afirmaciones sobre las transformaciones del dióxido de carbono y el agua en el proceso de la fotosíntesis, así como de la influencia de la luz y las hojas. Estas se describen a continuación:

A mayores cantidades de dióxido de carbono la pérdida de color es más lenta en las hojas de la planta, mientras que el número de estas aumenta proporcionalmente, esto se evidencia en las tres primeras actividades experimentales, pues a medida que en las plantas cultivadas se aumentaba la cantidad de dióxido de carbono la coloración verde original de las hojas se mantenía por más tiempo y de igual forma, la generación en el número de estas era mayor cuando aumentaba la cantidad de dicho gas. Esto lleva a concluir que en la interacción entre la planta y el dióxido de carbono es beneficiosa para el organismo, como lo mencionaba Priestley e Ingenhousz, las plantas prosperan en el gas que es perjudicial para los animales.

Los tejidos que conforman a las hojas son capaces de sintetizar nuevas hojas cuando se transforma el dióxido de carbono y el agua, pues durante la actividad experimental 3 se evidencia que el aumento significativo de estas estructuras se produce en las plantas que cuentan con ellas; sin embargo, algunos tallos pueden generarlas también, pero en menor cantidad. Esta afirmación se encuentra ligada a los tejidos especializados que tiene la hoja, pues no se puede atribuir simplemente a su coloración verde como se puede inferir de los trabajos de Ingenhousz, pues los tallos verdes no tienen las mismas características porque no generan con la misma eficacia las nuevas estructuras, esto llevado a algunas de las descripciones realizadas durante el capítulo anterior se relaciona con la microestructura de la hoja correspondiente a los cloroplastos, específicamente a los estromas donde ocurre las transformaciones relacionadas con el ciclo de Calvin y la síntesis de moléculas orgánicas, así como los pigmentos y tejidos allí presentes.

La síntesis de hojas en la planta y el mantenimiento de la coloración en estas a partir de las transformaciones del dióxido de carbono y el agua son dependientes de la presencia de la luz, esto se determina al encontrar que las plantas en la oscuridad de las actividades experimentales 2,3 y 4, tienen pérdida de sus hojas y la coloración de estas disminuyen drásticamente, estos hechos llevan a concluir una relación directa entre la presencia de luz y la absorción de agua, pues esta última se detenía rápidamente cuando se encontraba en oscuridad lo que llevaba a la posterior sequía de hojas o su coloración negra, así como a la incapacidad de sintetizar nuevas hojas y la posterior pérdida de las mismas.

Las transformaciones del dióxido de carbono y el agua son codependientes; esto se determina teniendo en cuenta que en las diferentes actividades experimentales las plantas en oscuridad no absorbían el agua evitando así el desarrollo de nuevas hojas, en este mismo sentido,

aquellas plantas que luego de algunos días presentaban sequedad en su tierra disminuían la síntesis de hojas.

Las transformaciones del dióxido de carbono y el agua están condicionadas por la luz, aunque los diferentes momentos tenían un enfoque dirigido a analizar las relaciones de la planta con el dióxido de carbono, las observaciones permitieron concluir aspectos relacionados al agua, el primero de ellos que la transpiración de la planta se da en mayor medida en presencia de la luz, pues los recipientes de las plantas en oscuridad no evidenciaron vapor de agua que luego se condensará, mientras que aquellas en luz si lo hicieron constantemente. Lo mismo ocurre con las plantas control en oscuridad, donde las hojas se encontraban secas y la tierra permaneció húmeda, es decir que en ningún momento el agua fue absorbida por la planta.

La transformación del agua y del dióxido de carbono en las hojas de la planta se ve alterada de distintas formas dependiendo de la longitud de onda a la que es expuesta, la cuarta actividad experimental evidencia que la síntesis de hojas nuevas en la planta varía dependiendo del color de la luz a la que es expuesta el organismo, se demuestra entonces que cada longitud de onda favorece y afecta al organismo, como lo es la rápida absorción de agua por la constante exposición a las longitudes de onda rojas que genera posterior sequía o la disminución en la capacidad de sintetizar hojas de las plantas expuestas a la luz azul a pesar de que disminuía la rápida absorción de agua que se presentaba en otras, siendo la luz natural la más favorable.

Las diferentes actividades experimentales realizadas permiten determinar que *el dióxido de carbono, el agua, la luz y las hojas son interdependientes entre ellos durante la síntesis de nuevas hojas que llevan a cabo las plantas,* en este sentido, cambios en las cantidades de las sustancias, la ausencia de hojas o alteraciones en las longitudes de onda de la luz causarán cambios drásticos en el organismo.

Sobre la Transformación de las Sustancias en la Fotosíntesis desde lo Experimental

Las actividades experimentales presentaron dos aspectos en común, por un lado, los cambios en la coloración de las hojas de la planta y por otro, el aumento en el número de estas. Estos hechos, se encuentran ligados a preguntas que orientan el trabajo de grado entre las cuales están ¿Cómo es la transformación del dióxido de carbono y el agua en la fotosíntesis? Y ¿Cómo las condiciones y estructuras involucradas en la fotosíntesis intervienen la transformación de las sustancias en la fotosíntesis?, por esta razón, para dar respuesta a estos cuestionamientos y sintetizar la explicación de este fenómeno se tienen las siguientes consideraciones sobre los experimentos desarrollados.

- Todas las plantas fueron cultivadas en ambientes que tuviesen dióxido de carbono y agua.
- Aunque las plantas control estuviesen expuestas a otras sustancias, las plantas en recipientes se encontraban aisladas de estas y aun así presentaron aumento en el número de hojas.
- Si la planta era expuesta a el agua y el dióxido de carbono presentaba un aumento en el número de hojas, siempre y cuando el organismo fuese expuesto a la luz y presentara hojas.
- En aquellos casos de plantas en oscuridad, el agua no era absorbida y no había aumento en el número de hojas.

Las diferentes situaciones mencionadas permiten abordar las sustancias, estructuras y condiciones relacionadas con el fenómeno de la transformación de las sustancias en la fotosíntesis de la siguiente forma:

Las sustancias usadas por las plantas para originar las nuevas estructuras son el agua y el dióxido de carbono, estas son sustancias que pierden su naturaleza y se transforman en aquellas que componen a la planta.

En consecuencia, a las diferentes observaciones, reflexiones y análisis alrededor de los experimentos realizados y que fueron abordados en este capítulo, se comprende que *Las hojas de las plantas, cuando son expuestas a la luz, transforman el agua y el dióxido de carbono para la síntesis de nuevas hojas.*

La actividad experimental y las discusiones con autores han permitido acercarse de una manera diferente al fenómeno, cuestionándose en primer lugar, desde el desarrollo de la planta y la forma en que este se ve afectado por sustancias que requieren para vivir. Además, se delimitan unas sustancias, agua y dióxido de carbono, y se estudian los efectos que estas tienen en las plantas, los cuales, por otros diseños experimentales, guiados por intenciones diferentes, Priestley determinó relacionándolos con la respiración, el aire flogistizado, el aire desflogistizado y el aire común.

Además, se delimitan estructuras que deben seguir siendo estudiadas, pero esto implica centralizar las discusiones frente a la transformación de las sustancias en puntos específicos, puesto que la transición de lo macroscópico como la hoja a lo microscópico como el cloroplasto, no puede darse por sentada solo por los aportes de Grew, Ingenhousz y otros que han contribuido a la delimitación de las estructuras encargadas del proceso fotosintético y, por último, la luz como una condición en la que ninguna transformación de sustancias como el agua y la concerniente transformación del dióxido de carbono en la planta es posible sin su presencia.

El trabajo realizado demuestra una ruta intencionada para estudiar el fenómeno, partiendo del interés en la transformación de las sustancias tales como el agua y el dióxido de carbono que

ocurren en la planta en el proceso de la fotosíntesis, también es muestra que no dar por hecho algunos aspectos teóricos permite que el docente de ciencias amplíe su experiencia con el fenómeno, cambiando la forma en que se interactúa con este y se construyan nuevas explicaciones, comprendiéndolo así de forma diferente al evitar reducirlo a solo ecuaciones o descripciones abstractas, en las que pueden dejarse por fuera aspectos que fueron enriquecedores para esta experiencia; además se destaca la capacidad de los docentes de ciencias para diseñar y ejecutar experimentos que pongan a prueba las preguntas e hipótesis que tienen sobre los fenómenos.

Propuesta para la Enseñanza de la Transformación del Agua y el Dióxido de Carbono Durante la Fotosíntesis en las Plantas

La propuesta que se describe en este capítulo es el resultado de una serie de reflexiones derivadas de las dificultades y necesidades que ha tenido el autor frente a la enseñanza de la fotosíntesis, su interés por profundizar en el fenómeno de la transformación del agua y el dióxido de carbono en este proceso, así como del trabajo aquí realizado en torno al estudio histórico crítico, la documentación disciplinar y el trabajo experimental.

En este sentido, se establecen una serie de aspectos que fundamentan la propuesta siendo estos: experiencia, experimentación, observación, construcción de explicaciones y diálogo con otros, a partir de los cuales se construye “*TransPlanTar*”, un sitio web¹⁴ diseñado para relacionar a los estudiantes con el fenómeno de la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis de las plantas.

Esta propuesta se diseña y elabora para ser implementada con estudiantes de media académica y se configura a partir de una serie de fases, momentos y actividades que deben ser orientadas por los docentes que trabajen con ella.

Descripción de la Propuesta

La propuesta de aula tiene como objetivo relacionar a los estudiantes con el estudio de la transformación de sustancias en la fotosíntesis a partir de la construcción de explicaciones derivadas del trabajo experimental con plantas. Para lograrlo, se desarrolla un sitio web con una serie de fases que son orientadas desde los siguientes aspectos:

La experiencia y el experimento. Relacionar a los estudiantes de la educación media con el fenómeno de la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis de las

¹⁴ Vínculo al sitio web <https://docentecienciasmdc.wixsite.com/transplantar>

plantas, para este trabajo, implicaba partir de la experiencia sensible puesto que se considera que ellos han construido formas de comprender aspectos como el desarrollo o crecimiento de un organismo, como indica Malagón et al (2013) “..se puede partir de la experiencia sensible que los sujetos han organizado desde su relación con el mundo que los rodea...” (p. 91).

En este sentido, la experiencia del estudiante es el punto de partida para la propuesta de aula diseñada, pero se debe tener en cuenta que los diálogos que se generan deben ser intencionados y acordes al objetivo de la misma, por esta razón, las preguntas e intervenciones del docente son fundamentales y deben orientar las observaciones de los estudiantes, pues la experiencia primera solo es funcional cuando se vuelve un ámbito de reflexión, es decir, es pensada, cuestionada y organizada (Sandoval et al, 2018).

Esta forma de relacionar al estudiante con el fenómeno de estudio, conlleva una serie de delimitaciones, preguntas y descripciones alrededor de lo observado y analizado, a partir de esto el docente debe propiciar la ampliación de la experiencia que tiene el estudiante con el fin de profundizar en la comprensión del mismo. En estos aspectos se torna fundamental la experimentación, actividad que llevará a nuevas organizaciones del fenómeno y que debe funcionar en ampliar la experiencia y no como un ejercicio de comprobación de teorías. Por esta razón, las actividades experimentales con plantas involucradas en la propuesta de aula son acordes a las diseñadas y desarrolladas por el autor, es decir, relacionar a los estudiantes al fenómeno al orientarlos desde sus propias formas de proceder, convirtiendo estas actividades en una forma de diálogo entre el estudiante y el docente.

Observación y seguimiento. El diseño e implementación de las distintas actividades experimentales propuestas en el sitio web son intencionadas, en este sentido, también lo son las formas en que se vincula al estudiante a las observaciones de los mismos. Además, como lo

mencionan Malagón et al (2013) “Cuando un fenómeno es nuevo es necesario saber qué hay que ver y, por tanto, aprender a verlo” (p. 16), en consecuencia, los distintos experimentos son acompañados de formatos de seguimiento que invitan a centrar la mirada en aspectos específicos relacionados con el estudio de la transformación de las sustancias durante la fotosíntesis

Es así que la observación es orientada a delimitar, comprender organizaciones y construir explicaciones alrededor de las relaciones entre las transformaciones del agua y el dióxido de carbono, las hojas y la luz a partir de su influencia en el número y coloración de las hojas, para lograr estas observaciones se plantea una serie de preguntas orientadoras que se consideran pertinentes a los objetivos de cada fase.

Construcción de explicaciones. Al tener actividades experimentales intencionadas que relacionan al estudiante con el fenómeno se generan nuevas comprensiones del mismo, este hecho trae consigo un nuevo elemento, el lenguaje, pues la organización que se realiza alrededor del fenómeno conlleva a la generación de significados a partir de esa ampliación de la experiencia que tienen los sujetos con el experimento.

Esta serie de significados que se construyen precisamente configuran los distintos lenguajes usados por los estudiantes para hablar alrededor del fenómeno y desde las cuales se construyen posteriormente las explicaciones, en este sentido se considera que “poner en juego algunas actividades experimentales permite a la vez transformar la experiencia y elaborar explicaciones teóricas; esas explicaciones, a su vez, permiten generar nuevas experiencias y nuevas formas de desarrollarla” (Malagón et al, 2013, 93).

Por esta razón, considerar que existe una relación estrecha entre la experimentación y la construcción de explicaciones, genera que el sitio web cuente a su vez con espacios destinados

para que expresen sus comprensiones sobre la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis en las plantas.

Diálogo con otros científicos. El trabajo del autor ha estado fundamentado desde el estudio histórico crítico construido desde el diálogo y análisis con fuentes primarias de distintos autores, esto lo llevó a relacionarse y comprender el fenómeno de forma diferente. En consecuencia, este hecho lo lleva a considerar que es un ejercicio al que también se puede acercar al estudiante, no como un ejercicio inicial por la posibilidad de establecer conceptos o términos a priori, sino posterior a su experimentación y construcción inicial de explicaciones, de tal forma que sea un diálogo intencionado entre las explicaciones del estudiante y las de los científicos abordados.

Es así que el sitio web contiene fragmentos de las fuentes primarias y explicaciones del autor de este trabajo, cuyo fin es estimular el diálogo con otros, analizar distintas formas de comprensión y a partir de esto profundizar en el fenómeno de la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis.

Además, en el diseño de la propuesta se toman algunos elementos del trabajo desde los problemas de conocimientos, específicamente los criterios de actuación propuestos por Orozco et al (2003) como lo son las *situaciones desencadenantes*¹⁵ como espacios para la problematización de situaciones para orientar y delimitar sus intereses, *las relaciones alternativas*¹⁶ en las que los vínculos dejan de ser unidireccionales y atemporales, ubicándose así en un contexto definido de maestro y estudiante, y por último, los *ambientes comunicativos* estrechamente vinculados a la

¹⁵ La siguiente cita configura la importancia de la reflexión docente en el proceso de diseño y desarrollo de las propuestas de aula “Las situaciones desencadenantes solo pueden ser descritas cuando el maestro reflexiona sobre la actividad del aula, no se definen a priori, no se prescriben, por el contrario, emergen en la confluencia de preguntas, en la contrastación de hipótesis, en la delimitación colectiva de intereses, en el comentario improvisado, entre otros” (Orozco et al, 2003, p.9)

¹⁶ Orozco et al (2003), plantea cuatro tipos de relaciones alternativas: Con la información, con los otros, con el entorno natural y con la experiencia.

construcción de explicaciones a través del lenguaje, donde el aula sea un escenario para hablar, escribir y escuchar, conformando así grupos cuyos integrantes se reconocen como pares y en los cuales el intercambio de opiniones, puntos de vista, explicaciones, entre otros, alrededor de un fenómeno de interés, constituyen la ciencia como una actividad de la cultura.

Fases Constituyentes de la Propuesta de Aula

Los aspectos mencionados en la sección anterior son implementados en el sitio web “TransPlanTar”, donde se organiza la experiencia en cinco fases que funcionen como una estrategia para favorecer la construcción de explicaciones alrededor de la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis de la planta desde el análisis de las sustancias, estructuras como las hojas y condiciones como la luz. Además, los distintos momentos que conforman a cada una de estas fases involucran activamente al docente y al estudiante, invitando a un continuo diálogo sobre el fenómeno estudiado.

Las cinco fases¹⁷ que conforman el sitio web son: Sembrando intereses, Brotan las explicaciones, Desarrollando las explicaciones, Maduración de las explicaciones y Recogiendo los frutos, cada una de estas tiene como base una pregunta macro que orienta la organización de los diferentes momentos establecidos dentro de estas.

Sembrando intereses

La primera fase aproxima a los estudiantes al fenómeno trabajado en el sitio web, por esta razón, la pregunta que la orienta es *¿De qué manera se relacionan las plantas con las sustancias que requiere para vivir?* y para abordarla se plantean tres momentos: el primero, una situación desencadenante, el segundo, la experiencia de cultivar una planta orientada desde distintas

¹⁷ Vínculo a las fases en el sitio web: <https://docentecienciasmdc.wixsite.com/transplantar/blank-2>

preguntas que vinculan las sustancias y la planta, por último, seguimiento a la planta cultivada y la discusión en el aula derivada de las observaciones realizadas.

Esta fase se construye al considerar que los estudiantes han tenido algún tipo de experiencia con el desarrollo de las plantas, siendo la organización de esta experiencia una forma de delimitar las sustancias, el agua y el dióxido de carbono, así como de orientar la mirada de los estudiantes a el número y coloración de las hojas, también a variaciones en la humedad del organismo cultivado.

Brotan las explicaciones

Esta fase toma los distintos aspectos delimitados en la anterior e invita a los estudiantes a desarrollar, analizar y construir explicaciones a partir de actividades experimentales, por esta razón, la pregunta que orienta las discusiones es *¿Cómo afecta el dióxido de carbono y el agua a la planta?*, a partir de esto se organizan los siguientes momentos: el primero, una actividad experimental, el segundo, observaciones y seguimiento a dicho experimento, seguido de la construcción de explicaciones y por último, un diálogo con las explicaciones de otros interesados en el fenómeno.

Estos momentos buscan favorecer la comprensión de los estudiantes alrededor de las relaciones entre las sustancias mencionadas y la planta, donde se planteen vínculos entre la formación de hojas y la coloración de estas con cambios en las cantidades de dióxido de carbono y agua en las plantas cultivadas.

Desarrollo de las explicaciones

La pregunta que orienta esta fase, *¿Cuáles son los efectos en los tallos y hojas de la planta al variar las cantidades de dióxido de carbono y agua en la planta?*, tiene la intención de orientar las discusiones a la transformación del agua y el dióxido de carbono y su relación con

las estructuras de la planta, para esto se retoman la misma secuencia de momentos planteados en la fase anterior.

Maduración de explicaciones

Retomando los mismos cuatro momentos de las dos fases anteriores, se centra el trabajo con los estudiantes a partir del analizar la influencia de la luz en la transformación del agua y el dióxido de carbono en la planta, esto a partir de abordar la pregunta *¿Qué condiciones son requeridas para la transformación del agua y el dióxido de carbono en la planta?*

Recogiendo los frutos

La última fase no tiene una pregunta macro, sino que se titula a como el fenómeno de estudio aquí abordado *La transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis en las plantas*, porque está organizada con el fin de construir explicaciones a partir de las observaciones, análisis, discusiones y afirmaciones derivadas de las actividades desarrolladas en las distintas fases, para esto se abordan los siguientes momentos: Primero, la construcción de textos, segundo , la socialización de explicaciones, tercero, una salida pedagógica y por último, el diálogo con otros.

La descripción de cada uno de los momentos planteados para el trabajo durante las fases, así como los recursos y el tiempo estimado para la implementación de la propuesta abordada se presentan en la siguiente matriz:

Tabla 9

Organización de la propuesta de aula TransPlanTar.

FASE	OBJETIVO	MOMENTOS	DESCRIPCIÓN	RECURSOS	TIEMPO
Sembrando intereses: ¿De qué manera se relacionan las plantas con las sustancias que requiere para vivir?	Aproximar a los estudiantes al reconocimiento de las sustancias requeridas por la planta para vivir a partir del seguimiento y análisis al crecimiento de un organismo vegetal.	Situación Desencadenante Identificar sustancias involucradas en el desarrollo de las plantas a partir de la observación y análisis de un time-lapse.	A partir de un time-lapse en el sitio web, los estudiantes realizan observaciones, discusiones y afirmaciones alrededor de preguntas orientadoras que vinculan las sustancias con la planta.	Sitio web Time-lapse y Formato para respuestas de las preguntas orientadoras	30 minutos
		Experiencia inicial Establecer hipótesis en torno a los efectos del agua y el aire en el número y coloración de las hojas en la planta con base en el cultivo de una planta.	Cultivar una planta modificando las cantidades de agua y dióxido de carbono al que son expuestas, luego los estudiantes formulan hipótesis acerca de los efectos de estas sustancias en el número y coloración de las hojas.	Sitio web Guía para actividad experimental. Material en físico Masetas, Tierra abonada, Agua y Planta	60 minutos
		Seguimiento y discusión Analizar las relaciones de la planta con el agua y el aire a partir del seguimiento y análisis al desarrollo de un organismo vegetal.	Para realizar el seguimiento de los experimentos los estudiantes realizarán el registro de número de hojas y coloración en un formato que se encuentra en el sitio web, además, se realiza registro fotográfico durante cada día. Al finalizar la actividad los estudiantes se organizan en equipos de 3 personas para el abordaje de las siguientes fases.	Sitio web Formato de seguimiento.	6 días
Brotan las explicaciones: ¿Cómo afecta el dióxido de	Establecer relaciones entre el desarrollo de la planta y su	Primera actividad experimental Organizar actividades experimentales para	Con el fin de ir delimitando las sustancias y la influencia que tienen durante la fotosíntesis, se propone a los	Sitio web Guía para actividad experimental Material en físico	60 minutos

FASE	OBJETIVO	MOMENTOS	DESCRIPCIÓN	RECURSOS	TIEMPO
carbono y el agua a la planta?	interacción con el aire, el dióxido de carbono y el agua a partir del análisis de actividades experimentales que permitan la construcción de explicaciones.	estudiar los efectos del agua y el dióxido de carbono en la planta y establecer hipótesis sobre lo esperado.	equipos de trabajo cultivar tres plantas de las siguientes formas: Dos de las plantas se ubican en recipientes cerrados e invertidos en agua, la primera sin alterar la cantidad de CO ₂ , mientras que en la segunda se extrae el aire y posteriormente se introduce el CO ₂ . La tercera planta se usa como control. Los equipos deben elaborar hipótesis sobre lo que esperan ocurra a cada una de las plantas que se encuentran en los experimentos	3 masetas, 2 recipientes transparentes, Bisturí, manguera (6mm de diámetro), bolsas transparentes, vaso de precipitado, bandeja, bicarbonato de sodio, vinagre, agua, tierra abonada y 3 plantas.	
		Observaciones y seguimiento Realizar seguimiento a las plantas del experimento con el fin de contrastar lo observado con las hipótesis establecidas e identificar situaciones que no fueron consideradas en las mismas.	Para realizar el seguimiento de los experimentos los equipos de trabajo realizarán el registro de número de hojas y coloración en un formato que se encuentra en el sitio web, además, se realiza registro fotográfico durante cada día.	Sitio web Formato de seguimiento.	6 días
		Construcción de explicaciones Construir explicaciones sobre los efectos que tiene el agua y el dióxido de carbono en la planta a partir de lo observado,	Los estudiantes encontrarán en el sitio web un archivo cuyo fin es orientar las explicaciones de los estudiantes desde tres lugares: Relaciones entre el agua y la planta, Relaciones entre dióxido de carbono y la planta, Transformación de estas sustancias en la planta.	Sitio web Archivo para la construcción de explicaciones	60 minutos

FASE	OBJETIVO	MOMENTOS	DESCRIPCIÓN	RECURSOS	TIEMPO
		analizado y discutido en los experimentos.			
		Primer Diálogo Dialogar con fragmentos de textos de algunos científicos que abordaron las relaciones entre el dióxido de carbono y el agua con la planta	Durante este momento se socializa con los estudiantes afirmaciones de Van Helmont, Priestley e Ingenhousz, así como algunas explicaciones elaboradas por el autor de la propuesta que relacionan las sustancias con las plantas, se cuestiona a los estudiantes sobre su posición frente a estas afirmaciones teniendo en cuenta sus propias explicaciones.	Sitio web Fragmentos de los textos de los científicos mencionados y orientaciones para la posterior discusión.	60 minutos
Desarrollando las explicaciones: ¿Cuáles son los efectos en los tallos y hojas de la planta al variar las cantidades de dióxido de carbono y agua en la planta?	Determinar variaciones en los efectos del agua y el dióxido de carbono en tallos y hojas de la planta a través del análisis de actividades experimentales.	Segundo actividad experimental Organizar actividades experimentales que lleven a determinar las variaciones en los efectos del agua y el dióxido de carbono en tallos y hojas de las plantas, estableciendo hipótesis sobre lo planteado en los experimentos.	Para determinar las estructuras que se involucran directamente en los procesos de fotosíntesis se realiza una actividad experimental que implique modificar las condiciones de las plantas. De esta forma, se cultiva el doble de plantas que en la fase N° 2, dejando una expuesta en aire almacenado, la siguiente a mayor cantidad de dióxido de carbono y otra como control, luego se repite esto, pero retirando las hojas a los organismos. Teniendo en cuenta la actividad experimental realizada los estudiantes deben elaborar hipótesis alrededor de lo esperado en cada una de las plantas.	Sitio web Guía para actividad experimental. Recursos en físico 6 masetas, 4 recipientes transparentes, Bisturí, manguera (6mm de diámetro), bolsas transparentes, vaso de precipitado, bandeja, bicarbonato de sodio, vinagre, agua, tierra abonada y 6 plantas.	60 minutos
		Observaciones y seguimiento Realizar seguimiento a las plantas del experimento con el fin de contrastar lo	Para realizar el seguimiento de los experimentos los estudiantes realizarán el registro de número de hojas y coloración en un formato que se encuentra en el sitio web, además, se	Sitio web Formato de seguimiento.	6 días

FASE	OBJETIVO	MOMENTOS	DESCRIPCIÓN	RECURSOS	TIEMPO
		observado con las hipótesis establecidas e identificar situaciones que no fueron consideradas en las mismas.	realiza registro fotográfico durante cada día.		
		Construcción de explicaciones Construir explicaciones sobre la variación en los efectos del agua y el dióxido de carbono en tallos y hojas a partir del análisis de los experimentos desarrollados.	Los estudiantes encontrarán en el sitio web un archivo cuyo fin es orientar las explicaciones de los estudiantes desde la relación de la transformación del agua y el dióxido de carbono con los tallos y las hojas.	Sitio web Archivo para la construcción de explicaciones	60 minutos
		Segundo Diálogo Dialogar con fragmentos de textos de algunos científicos que abordaron las relaciones entre los efectos del dióxido de carbono, el agua y las estructuras de las plantas.	Durante este momento se socializa con los estudiantes afirmaciones de Ingenhousz y del autor de la propuesta de aula sobre las relaciones entre las sustancias y las estructuras de las plantas derivados de sus experimentos con estos organismos, además, se cuestiona a los estudiantes sobre su posición frente a estas afirmaciones teniendo en cuenta sus propias explicaciones.	Sitio web Fragmentos de los textos de los científicos mencionados y orientaciones para la posterior discusión.	60 minutos
Maduración de explicaciones: ¿Qué condiciones son requeridas para la transformación	Analizar la influencia de la luz en los procesos de las plantas que involucran dióxido de carbono y agua a partir del análisis	Experimental Organizar actividades experimentales que permitan analizar la influencia de la luz en los procesos de las plantas que involucran	Con el fin de identificar la influencia de la luz en la transformación del agua y el dióxido de carbono en la planta, se cultivan cinco plantas y cada una es expuesta a diferentes colores de luz, verde, azul, rojo, luz natural y también a oscuridad.	Sitio web Guía para actividad experimental. Recursos en físico 5 masetas, láminas de cartón, bisturí, manguera de luces	60 minutos

FASE	OBJETIVO	MOMENTOS	DESCRIPCIÓN	RECURSOS	TIEMPO
del agua y el dióxido de carbono en la planta?	de actividades experimentales para la construcción de explicaciones.	dióxido de carbono y establecer hipótesis sobre lo planteado en los experimentos.	Por último, los estudiantes realizan las hipótesis respectivas para cada una de las plantas cultivadas.	led, agua, tierra abonada y 5 plantas.	
		Observaciones – seguimiento Realizar seguimiento a las plantas del experimento con el fin de contrastar lo observado con las hipótesis establecidas e identificar situaciones que no fueron consideradas en las mismas.	Para realizar el seguimiento de los experimentos los estudiantes realizarán el registro de número de hojas y coloración en un formato que se encuentra en el sitio web, además, se realiza registro fotográfico durante cada día.	Sitio web Formato de seguimiento.	6 días
		Construcción de explicaciones Construir explicaciones sobre la influencia de la luz en los efectos que tiene el agua y el dióxido de carbono en la planta a partir de lo observado, analizado y discutido en los experimentos.	Los estudiantes tendrán a su disposición un archivo en el sitio web para orientar las explicaciones de los estudiantes desde la relación de la transformación del agua y el dióxido de carbono con la luz.	Sitio web Archivo para la construcción de explicaciones	120 minutos
		Conversando con la historia de la ciencia Dialogar con fragmentos de textos de algunos científicos que abordaron las relaciones entre los efectos del dióxido de	Durante este momento se socializa con los estudiantes afirmaciones de Ingenhousz y el autor de este trabajo sobre la influencia de la luz en los cambios que sufren las plantas por las sustancias, derivados de sus experimentos con estos organismos, además, se cuestiona a los estudiantes	Sitio web Fragmentos de los textos de los científicos mencionados y orientaciones para la posterior discusión.	60 minutos

FASE	OBJETIVO	MOMENTOS	DESCRIPCIÓN	RECURSOS	TIEMPO
		carbono, el agua, la luz y las estructuras de la planta.	sobre su posición frente a estas afirmaciones teniendo en cuenta sus propias explicaciones.		
Recogiendo los frutos: La transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis en las plantas	Explicar las relaciones entre la transformación de las sustancias y las plantas por la influencia de la luz a partir de la elaboración de textos.	Construcción de textos Elaborar textos que expliquen la transformación del agua y el dióxido de carbono en la planta.	Durante la sesión los estudiantes redactaran textos en los cuales deben explicar los diferentes experimentos observados y analizados durante las sesiones anteriores. Estos textos se publicarán en el sitio web para que puedan ser abordados por todos los miembros del grupo de trabajo y contrastar las afirmaciones realizadas por cada uno de ellos.	Sitio web Espacio para la publicación de los textos elaborados por los estudiantes.	120 minutos
		Socialización de textos Establecer un diálogo entre estudiantes a partir de las diferentes explicaciones realizadas en el momento anterior.	Durante este momento se socializan algunas de las explicaciones realizadas por los estudiantes en sus textos, encontrando puntos en común o contrarios que generen discusión y profundización de sus explicaciones.	Sitio web Textos de los estudiantes.	60 minutos
		Salida pedagógica Relacionar las diferentes explicaciones realizadas sobre la fotosíntesis con su importancia en la naturaleza a partir de la observación de las condiciones naturales de un lugar cercano a su contexto.	Durante diferentes estaciones en la salida pedagógica se plantean preguntas que permitan establecer un diálogo entre pares que los lleve a establecer relaciones entre sus explicaciones del fenómeno estudiado y su importancia en la naturaleza. Se finaliza leyendo un fragmento de los textos de Ingenhousz en el que aborda la importancia de este fenómeno en la naturaleza.	Sitio web Ruta de trabajo para la salida pedagógica.	6 horas

Nota: Elaboración propia.

Para terminar, se considera que las diferentes acciones propuestas en la secuencia de fases de *TransPlanTar* favorecen la comprensión de la transformación del agua y el dióxido de carbono en la fotosíntesis, sin desligar de este proceso las hojas y la luz. Además, se deja de lado, en el sitio web, una serie de ecuaciones químicas que se desligan de las experiencias sensibles de los estudiantes que en ocasiones impiden la relación de ellos con el fenómeno y trae de nuevo a la educación en ciencias el carácter teórico-experimental que la caracteriza, no como una dicotomía, sino como un ejercicio de complementariedad, es decir no hay experimentación, sin unos supuestos conceptuales y no hay estas organizaciones de conceptos, sin la experimentación.

Reflexiones Alrededor de la Enseñanza de la Transformación de las Sustancias Durante la Fotosíntesis en las Plantas

Los distintos espacios de formación en la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, en conjunto con la constante reflexión del autor sobre sus prácticas para la enseñanza de la ciencia convergen en el presente trabajo para favorecer la comprensión de la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis, destacando aspectos como los estudios histórico-críticos, la documentación teórica, la experimentación y la construcción de explicaciones. Estos elementos no se encuentran desconectados a la hora de establecer nuevas estrategias para la enseñanza, por esta razón, la propuesta de aula “TransPlanTar” presenta concordancia entre las formas de proceder por parte del autor con las planteadas para trabajar con los estudiantes, evidenciando en dichos elementos, la necesidad de propiciar el diálogo con otros desde experiencias, experimentos y explicaciones.

En este sentido, este capítulo presenta una serie de reflexiones alrededor de los criterios que fundamentan el trabajo de grado y la propuesta de aula, los cuales pueden favorecer la enseñanza de la ciencia en general y de la transformación de las sustancias en la fotosíntesis en particular, así como las proyecciones y recomendaciones en torno al abordaje de este fenómeno y la implementación del sitio web.

Los Estudios Histórico-Críticos y la Transformación de las Sustancias en la Planta

El análisis realizado a las fuentes primarias de distintos científicos ha consolidado una serie de reflexiones alrededor de lo significativo de este tipo de estudios en relación a los fenómenos científicos, pues se encuentran vinculados a la modificación de las comprensiones que tiene el autor alrededor de la transformación de las sustancias en la fotosíntesis, además, lleva identificar y analizar otras formas cómo se ha comprendido el fenómeno.

En primer lugar, se destaca la modificación en las comprensiones del fenómeno que se tiene por parte del autor a partir del ejercicio realizado, donde en el diálogo con las fuentes primarias encuentra en la experimentación una forma de proceder en el que se trascienden las ecuaciones químicas establecidas y se propicia un encuentro con el fenómeno, hecho característico en cada uno de los científicos cuyas explicaciones emergen del diseño, desarrollo y análisis de sus propias actividades experimentales.

En segundo lugar, analizar las intenciones que guían los trabajos abordados permite comprender la pluralidad de caminos que existen y existirán para relacionarse con los fenómenos, pues como lo indica Malagón et al (2013), “el fenómeno es lo que aparece frente a una conciencia” (p.97), de esta forma, las experiencias iniciales, las intenciones y formas de proceder son las que configuran la organización que se le da al fenómeno, por esta razón, textos como los de Van Helmont o Priestley que no pretendían profundizar en el estudio de las plantas, generaron construcciones teóricas fundamentales para interesar y orientar a otros, que a partir de intereses particulares, construyeron nuevos fenómenos dentro de los cuales está la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis.

También se debe tener en cuenta el lugar de la pregunta en el estudio histórico-crítico desarrollado, pues juega el rol de propiciar el diálogo con los textos a la vez que lo orienta, teniendo en cuenta que estos cuestionamientos se modifican a partir de los análisis realizados, de esta forma, se considera que la pregunta y el diálogo con las fuentes primarias se encuentran en una relación dinámica y son el principal aspecto que lleva a trascender el abordaje de la historia de la ciencia como algo anecdótico o reducirlo a la cronología de hechos hacía una lectura crítica que favorezca las comprensiones sobre el fenómeno, modificando así sus formas de relacionarse con el y de proceder en el aula. Estos hechos llevan a concluir que las preguntas alrededor de las

estructuras, las condiciones, así como las vinculadas con el qué, cómo y por qué de la transformación del agua y el dióxido de carbono enriquecieron las explicaciones construidas.

Así mismo, se destaca cómo el desarrollo de estudios histórico-críticos favorece la construcción de fenomenologías ya que se derivan de organizar la experiencia, de propiciar el encuentro con el fenómeno, es decir, construirlo, a la vez que se buscan nuevas formas de ampliar la experiencia. Además, este hecho lleva a comprender cómo la construcción del fenómeno responde también a una forma de entender el mundo, por ejemplo, los trabajos de Van Helmont están organizados desde una teoría en la que el agua es constituyente fundamental de toda materia y los de Priestley e Ingenhousz daban cuenta de la existencia del flogisto.

Las distintas reflexiones realizadas y las intenciones establecidas por el autor permitieron que en el diálogo desarrollado se pueden realizar aproximaciones a sustancias, estructuras y condiciones en los trabajos de cada uno de los autores y si bien no son plasmados directamente por ellos, se pueden inferir a partir de la lectura de sus textos. En este sentido, se destacan los trabajos de Van Helmont, Grew y Hales, que establecen las relaciones entre agua, aire y planta, así como los desarrollados por Priestley e Ingenhousz alrededor de cambios o transmutaciones de tipos de aire en la interacción con la planta y la luz, mientras que los demás autores abordados analizan la transformación del agua y el dióxido de carbono.

Los diferentes experimentos y explicaciones elaboradas por los científicos mencionados entran así en diálogo con las propias explicaciones del autor, este aspecto permea el diseño de la propuesta de aula desarrollada, pues se retoman los análisis realizados y explicaciones construidas para estructurar y fundamentar el sitio web, siendo este un espacio de encuentro donde convergen las comprensiones y explicaciones que ha construido el autor de este trabajo, el

diseño de actividades experimentales y la organización del fenómeno con los docentes que la implementen en sus prácticas educativas y los estudiantes.

La Experimentación y la Construcción de Explicaciones en torno a la Transformación del Agua y el Dióxido de Carbono durante la Fotosíntesis

La actividad experimental ha sido abordada como una forma de ampliar la experiencia sensible que tienen los sujetos con respecto a un fenómeno determinado, sin embargo, en este apartado se quieren destacar distintos aspectos que la convierten en un eje articulador entre el estudio-histórico, la documentación disciplinar, la relación con el fenómeno y la propuesta de aula.

De esta forma, la reflexión y la construcción de explicaciones derivadas del trabajo experimental es una forma de diálogo con las fuentes primarias, donde no se centra en un ejercicio de replicación, sino de contrastación y reorganización de la experiencia, hecho que a su vez genera modificaciones en los diseños experimentales, pues las preguntas que los orientan se ven modificadas.

Las actividades experimentales diseñadas y desarrolladas, se formulan inicialmente desde las experiencias que el autor ha tenido con el desarrollo de las plantas y la formación como docente de química, pero se van modificando a medida que se organiza la experiencia y se dialoga con las fuentes primarias, acciones que inmediatamente empiezan a modificar la relación que se tiene con el fenómeno. El fenómeno que se construye por parte del autor ya no está limitado a una experiencia inicial, ni a una serie de conceptos y ecuaciones, sino que responde a unas intenciones y da cuenta de una formalización del mismo. Se hace énfasis en este punto porque el autor considera que las actividades experimentales realizadas han favorecido su comprensión del fenómeno, dando solución a dos dificultades que presentaba en las prácticas que

implementaba, por un lado, la reducción de la fotosíntesis a una serie de ecuaciones y por otro, el no implementar estrategias que pudiesen evidenciar para sus estudiantes la transformación del agua y el dióxido de carbono en este proceso.

En este orden de ideas, a medida que se realizaba un ejercicio de profundización a partir del análisis histórico-crítico y la experimentación, se evidencia que esta última como articuladora de las diferentes dimensiones del trabajo desarrollado, es fundamental para realizar explicaciones sobre los fenómenos abordados. En este sentido, los significados elaborados alrededor de la transformación del agua y el dióxido de carbono, especialmente en las explicaciones realizadas en el capítulo cinco, dan cuenta de una construcción del fenómeno no desde supuestos teóricos establecidos con anterioridad, sino de la experiencia derivada de la observación, análisis y discusiones alrededor de las actividades experimentales diseñadas.

Se destaca como parte de estas explicaciones construidas desde lo experimental, en torno al fenómeno estudiado, el comprender que las hojas de las plantas, cuando son expuestas a la luz, transforman el agua y el dióxido de carbono para la síntesis de nuevas hojas, además, que estas sustancias, estructuras y condiciones son codependientes y limitantes entre sí. Para llegar a estas afirmaciones desde lo experimental se debe tener en cuenta que cada experimento realizado contribuyó a la formalización de estas explicaciones.

En este sentido, la primera actividad experimental, lleva al autor a determinar que el dióxido de carbono es beneficioso para los organismos vegetales, la segunda a establecer que la luz desencadena la absorción del agua por parte de la planta y a su vez este hecho es el que favorece los cambios presentados en la planta por su interacción con el dióxido de carbono, por su parte la tercera es fundamental para concluir que las hojas son órganos especializados en permitir la influencia de la luz en la transformación del agua y la posterior transformación del

dióxido de carbono, mientras que la última actividad experimental lleva a definir como las diferentes longitudes de onda de la luz afectan de forma diferente a la planta, siendo el conjunto de estas en la luz natural la que más favorece la síntesis de nuevas hojas.

Los diferentes aspectos mencionados llevan a la formulación del sitio web “TransPlanTar” cuyo eje central es la actividad experimental, desde la cual se proponen observaciones guiadas y la construcción de explicaciones a partir de las cuales se invita al diálogo con otros. Es así, que el autor hace una apuesta por el trabajo experimental en el aula, donde la primera acción del docente debe ser propiciar un encuentro entre los estudiantes y el fenómeno trabajado, mientras que las actividades experimentales que se encuentran en la propuesta son consideradas como pertinentes para favorecer la comprensión de la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis desde las relaciones entre sustancias, estructuras y condiciones.

Proyecciones y Recomendaciones para la Enseñanza de la Fotosíntesis

Las distintas dimensiones que conforman el trabajo realizado permiten definir una serie de proyecciones y recomendaciones alrededor de la enseñanza de la fotosíntesis que pueden favorecer la problematización del mismo por parte del autor, los lectores o quienes implementen la propuesta de aula, algunas de estas se describen a continuación.

En primer lugar, una invitación a los docentes a implementar el sitio web “TransPlanTar” para la enseñanza de la fotosíntesis desde el fenómeno de la transformación del agua y el dióxido de carbono, puesto que cuenta con una serie de aspectos que favorecen la construcción de explicaciones por parte de sus estudiantes, así como de ellos mismos. En especial, es una propuesta que permite la organización del fenómeno por parte de quienes la pongan en marcha, lo que permitirá que los estudiantes trasciendan del sentido común derivado de sus impresiones

iniciales sobre el desarrollo de la planta y empiecen a relacionarse, cuestionarse y analizar su contexto natural.

La invitación también es para los estudiantes de educación media, quienes no deben dar por hecho los conceptos o las teorías que se han establecido a lo largo de la historia y empezar a cuestionarse los fenómenos con los que interactúa, por tal motivo, la propuesta también destaca porque parte de esas primeras experiencias que todos llegan a tener con las plantas, hasta llevar a los estudiantes a comprender que durante la fotosíntesis las hojas transforman el agua y el dióxido de carbono por influencia de la luz. Sumado a esto, la propuesta se destaca también por el carácter expositivo de las explicaciones de los estudiantes quienes a partir de la construcción de textos y otros materiales empiezan a participar en ejercicios de organización y divulgación de su conocimiento.

En segundo lugar, es seguir construyendo una fenomenología de la transformación del agua y el dióxido de carbono durante la fotosíntesis, en este sentido, se destaca la importancia de seguir relacionándose con el fenómeno desde nuevas preguntas y diseños experimentales, ejemplo de esto, sería profundizar en los aspectos microscópicos de la organización que tiene hoja que posibilitan dicha transformación pues profundizar en estos aspectos ampliaría muchas de las discusiones aquí establecidas, también se podrían enfocar estudios alrededor de la luz como condición en otros procesos de las plantas como la transpiración o el crecimiento.

Además, se destaca la importancia de seguir buscando nuevas estrategias para la enseñanza de la fotosíntesis, un reto que se establece en la educación media para los docentes de ciencias naturales, por esta razón, se hace relevante volver al encuentro con los fenómenos que se enseñan como el descrito durante este trabajo de grado, pues es en este ejercicio en el que logra profundizar y construir conocimientos científicos y pedagógicos. En consecuencia, se

encontrará una amplia gama de estrategias desde las cuales se pueden generar diálogos entre comunidades de docentes que favorezcan la formación científica de los estudiantes.

Para finalizar, se recomienda el trabajo de profundización desde los estudios histórico-críticos y experimentales, puesto que como se ha resaltado a lo largo del texto, han posibilitado la construcción de un discurso propio del autor no solo desde lo pedagógico, sino también desde lo disciplinar. Estos hechos llevan a que su interacción con las teorías no sea de espectador o interlocutor, dejando de lado un rol pasivo construyendo así estrategias que favorezcan sus prácticas de enseñanza, lo que llevará a la formación de estudiantes capaces de cuestionar y analizar el mundo que los rodea.

Referencias

- Acosta, M., Navarro, D., Arteta, J., Nieto, S., Ramírez, C. y López, A. (2017). *Concepto fotosíntesis en profesores desde el análisis de sus modelos mentales*. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, 4387-4394. Obtenido de <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/337629>.
- Afanador, H. y Mosquera, C. (2016). *Estudio de caso en la enseñanza y aprendizaje de la fotosíntesis y respiración en plantas a partir de una unidad didáctica*. (40), 45-64.
- Ayala, M. M. (2006). *Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades*. Pro-Posicoes, 17(1), 19-37.
- Baker, J. y Allen, G. (1970). *Biología e investigación científica*. Bogotá: FEI
- Cardemil, L., Handford, M y Meisel, L (2007), *La Célula Vegetal*. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena. Chile, 1-46.
- De las Rivas, J. (2008). La luz y el aparato fotosintético. En J. Azcón-Bieto, y T. Manuel, *Fundamentos de fisiología vegetal* (pp. 165-190). Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.
- De las Rivas, J. (2008). Utilización de la energía luminosa en la fotosíntesis. En J. Azcón-Bieto, y T. Manuel, *Fundamentos de fisiología vegetal* (pp. 191-210). Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.
- De Saussure, T. (1804). *Recherches Chimiques Sur La végétation*. París.
- Garnica, S. y Arteta, J. (2010). *Evaluación del desarrollo de las competencias científicas explicar e indagar en la aplicación de un trabajo práctico sobre fotosíntesis*. Bio-grafía:

Escritos sobre la Biología y su Enseñanza, 3(4), 25-54.

doi:<https://doi.org/10.17227/20271034.vol.3num.4bio-grafia25.54>

Garnica, S. y Roa, R. (2012). *Conocimiento didáctico del contenido sobre fotosíntesis de dos profesores de los grados sexto y noveno de educación básica secundaria de un colegio privado en bogotá-colombia*. Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza, 5(8), 50-76. doi:<https://doi.org/10.17227/20271034.vol.5num.8bio-grafia50.76>

González, O (1986). Algunos rasgos históricos y epistemológicos de un ejemplo de la Química cualitativa: el principio del flogisto. *En Principe de Viana (Suplemento de ciencias)*. (pp. 197-212). Gobierno de Navarra.

Grew, N. (1682). *The Anatomy of Plants*. London.

Hales, S. (1727). *Statical Essays, Containing Vegetable Staticks V1: Or An Account Of Some Statical Experiments On The Sap In Vegetables* (1731).

Ingenhousz, J. (1779). *Experiments Upon Vegetables*. London.

Ingenhousz, J. (1780). *Experiences sur les vegitaux*. París

Ingenhousz, J. (1952). En H. Leicester, y H. Klickstein, *A source book in chemistry 1400 - 1900* (pp. 126-133). Harvard University Press.

Jacob, F. (1970). *La lógica de lo viviente*. Una historia de la herencia. Barcelona: TUSQUETS EDITORES.

Karp, G. (2009). La fotosíntesis y el cloroplasto. En G. Karp, *Biología celular y molecular* (pp. 214-238). México: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES.

- Lallana V. y Lallana, M. (2014). *Manual de prácticas de fisiología vegetal*. EDUNER. Paraná-Argentina.
- Lavoisier, A (1948). *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración*. EMECE Editores S. A., Buenos Aires, p.p. 122-128.
- Malagón, J. F., Ayala, M. M. y Sandoval, S. (2013). La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización. En J. F. Malagón, M. M. Ayala, & S. Sandoval, *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias* (págs. 85-102). Bogotá: Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Manrique, E. (2003). *Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis*. Ecosistemas. 12 (1), 1-11. Alicante. España
- Martínez, K. (2020). *Estudio de la luz como condición ecológica que influye en el crecimiento de una planta de fríjol, Phaseolus vulgaris con niños de tercer grado*. Bogotá. doi:<http://hdl.handle.net/20.500.12209/13159>.
- Medrano, H., Galmés, J. y Flexas, J. (2008). Fijación del dióxido de carbono y biosíntesis de fotoasimilados. En J. Azcón-Bieto, & B. Talón, *Fundamentos en fisiología vegetal* (pp 211-226). Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.
- Mieli, A. (1942). *El desarrollo de la historia de la ciencia a través de ciento veinte acontecimientos fundamentales*. Universidad, 55-19. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11185/3413>

- Ministerio de Educación Nacional. (1998). *Serie de lineamiento curriculares. Ciencias Naturales y Educación Ambiental*. Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional. (2004). *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales*. Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional. (2016). *Derechos Básicos de Aprendizaje*. Colombia.
- Nash, L. (1957). Plants and the Atmosphere. En J, Conant, y Nash, Leonard, *Harvard Case Histories in Experimental Science* (pp. 323-436). Massachusetts.
- Orozco, J., Valencia, S., Méndez Núñez, O., Jiménez, G. y Garzón, J. (2003). *Los problemas de Conocimiento una Perspectiva Compleja para la Enseñanza de las Ciencias*. Revista Tecné, Episteme y Didaxis UPN, (14).
doi:<https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/issue/view/412>
- Priestley, J. (1772) *Observations on Different Kinds of Air*. 147-264
- Priestley, J. (1775). *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*. London. Second Edition.
- Priestley, J. (1952). En H. Leicester y H. Klickstein, *A source book in chemistry 1400 - 1900* (pp. 112-125). Harvard University Press.
- Revilla, G. y Zarra, I. (2008). Fisiología vegetal. Introducción a las células de las plantas: membranas y pared. En J. Azcón-Bieto, & M. Talón, *Fundamentos de fisiología vegetal* (págs. 3-24). Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.

- Sáenz, J. (2012). *La fotosíntesis, concepciones, ideas alternativas y analogías. Unidad didáctica dirigida a estudiantes de los ciclos 3 y 4 de educación básica del colegio José María Carbonell*. Bogotá. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10416>
- Sandoval, S., Malagón, J. F., Garzón, M., Ayala, M. M. y Tarazona, L. (2018). *Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias* (Primera ed.). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, CIUP.
- Senebier, J. (1788). *Recherches sur l'influence de la lumiere solaire. Pour metamorphofer l'air fixe en air pur par la vegetation*. Ginebra.
- Uyaban, A., Rodriguez, J., Pérez, P., Muñoz, P., y Giraldo, G. (2017). *Obstáculos epistemológicos de tipo conocimiento previo, general y verbal en torno al concepto fotosíntesis en estudiantes de licenciatura en biología de la udfjc*. Bio –grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza, 619-629. Obtenido de <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/7158/5823>
- Van Helmont, J. (1648). *Ortus Medicinae*. Amsterdam.
- Woodcock, L. (2005). *Phlogiston theory and chemical revolutions*. Bulletin for the history of chemistry, Division of the History of Chemistry of the American Chemical Society. 30 (2), 63-69