



Foto en baja

# MODELOS EXPLICATIVOS SOBRE LA RESPIRACIÓN VEGETAL Y SU RELACIÓN CON LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

## Explanatory Models on Plant Respiration and its Relation to Environmental Pollution

## Modelos explicativos sobre a respiração vegetal e sua relação com a poluição ambiental

Juan Rojas<sup>1\*</sup>  
Danyela Velasco<sup>\*\*</sup>  
Juan Pachón<sup>\*\*\*</sup>  
Maillyn Granobles<sup>\*\*\*\*</sup>

Fecha de recepción: 19 de febrero de 2020  
Fecha de aprobación: 20 de diciembre de 2020

### Cómo citar este artículo

Rojas, J., Velasco, D., Pachón, J. y Granobles, M. Modelos explicativos sobre la respiración vegetal y su relación con la contaminación ambiental. *Bio-grafía*, 14(26). <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.14.num26-13680>

### Resumen

El siguiente artículo indaga en los modelos explicativos —entendidos como la representación de objetos o fenómenos de una porción del mundo— que tienen los jóvenes de 14 a 18 años de la comunidad de San Benito, localidad de Tunjuelito. En este proceso, se trabajó acerca de la respiración vegetal y cómo la relacionan con la contaminación ambiental debido al gran deterioro del ambiente por parte de las curtiembres que realizan procesos para transformar la piel de distintos animales. Esta indagación utiliza diferentes instrumentos de recolección como cuestionarios, preguntas mediadoras, dibujos y experimentos mentales, donde la información obtenida se categorizó con base en la historicidad del concepto de respiración vegetal y en las categorizaciones propuestas por autores como Johnson-Laird y Edwin Gaviria. Además, se reconoce que las personas que participaron en este estudio se clasificaron en varios modelos basados en la historicidad del concepto según las características funcionales, estructurales y relaciones que abarcan el concepto respiración vegetal y fotosíntesis, en relación con la contaminación ambiental. Finalmente, se ubican diferentes

<sup>1</sup> Estudiantes de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias y Educación. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

\* Correo electrónico: juaserojasv@correo.udistrital.edu.co . Orcid: 0000-0003-0549-1040

\*\* Correo electrónico: dvelascom@correo.udistrital.edu.co . Orcid: 0000-0002-7612-6158

\*\*\* Correo electrónico: jdpachonb@correo.udistrital.edu.co . Orcid: 0000-0003-4410-8753

\*\*\*\* Correo electrónico: mjgranoblesh@correo.udistrital.edu.co . Orcid: 0000-0002-1096-5020.

concepciones que se han tenido a través de la historia, partiendo de la época clásica hasta el siglo xx, junto con la tendencia al modelo explicativo correspondiente al siglo xvii y xviii, donde se evidencia varios aspectos sin profundizar colectivamente, como el aspecto biológico, químico y bioquímico del proceso de respiración, no obstante, cuando relacionan el concepto de fotosíntesis en sus modelos ocurre un proceso de transformación que permite acercarse al modelo actual.

**Palabras clave:** representaciones; modelos explicativos; respiración vegetal; contaminación ambiental.

## Abstract

The following work investigates the explanatory models -these as representations of objects or phenomena about a portion of the world- that have the 14-18 young people of San Benito's community (Tunjuelito Locality) about the plant respiration and the way they relate it with the environmental pollution, because of the significant deterioration of the environment by tanneries that perform processes to transform the skin of different animals. This inquiry is developed through different instruments such as questionnaires, mediating questions, drawings, and mental experiments. The information obtained will be categorized based on the historicity of the plant respiration concept and the categorizations proposed by different authors such as Johnson-Laird and Edwin Gaviria, developed through conceptions, illustrations, verbal, and written representations or experiences. People participating in this study are classified into several models based on the historicity of the concept, according to functional characteristics, structures, and relationships that encompass the concept of plant respiration and photosynthesis concerning environmental pollution. They've been place in different conceptions throughout history, starting from the classical period up to the 20th century, to the explanatory model from 17th and 18th century where several aspects are shown without deepening collectively as the biological, chemical, and biochemical aspect of the breathing process; however, when they relate the concept of photosynthesis in their models, a process of transformation occurs allowing to approach the model of modernity.

**Keywords:** representations; explanatory models; vegetal respiration; environmental pollution.

## Resumo

O seguinte artigo investiga os modelos explicativos —entendidos como a representação de objetos ou fenômenos de uma parte do mundo— que têm os jovens entre 14 e 18 anos da comunidade de San Benito, na localidade de Tunjuelito. Neste processo trabalhou-se sobre a respiração vegetal e como a relacionam com a poluição ambiental devido à grande deterioração do meio ambiente pelos curtumes que realizam processos para transformar a pele de diferentes animais. Essa investigação utiliza diferentes instrumentos de coleta como questionários, perguntas mediadoras, desenhos e experimentos mentais, onde a informação obtida categorizou-se com base na historicidade do conceito de respiração vegetal e nas categorizações propostas por autores como Johnson-Laird e Edwin Gaviria. Além disso, reconhece-se que as pessoas que participaram deste estudo foram classificadas em diversos modelos baseados na historicidade do conceito de acordo com as características funcionais, estruturais e as relações que englobam o conceito de respiração vegetal e fotossíntese, em relação à poluição ambiental. Por fim, situam-se diferentes concepções que se tiveram ao longo da história, desde a era clássica até o século xx, juntamente com a tendência ao modelo explicativo correspondente aos séculos xviii e xviii, onde vários aspectos sem aprofundar-se coletivamente são evidenciados, como o aspecto biológico, químico e bioquímico do processo respiratório, não obstante quando relacionam o conceito de fotossíntese em seus modelos, ocorre um processo de transformação que lhes permite aproximar-se ao modelo atual.

**Palavras-chave:** representações; modelos explicativos; respiração vegetal; poluição ambiental.



## Introducción

Este artículo tiene como objetivo indagar en los modelos explicativos que tienen los jóvenes de 14 a 18 años de la comunidad de San Benito, localidad de Tunjuelito, acerca de la respiración vegetal y cómo la relacionan con la contaminación ambiental a partir de González (2014) como referente teórico. Para ello es importante recurrir a autores que definen los modelos como representaciones que se construyen para exponer, describir o explicar un trozo del mundo (Chamizo, 2010; Gutiérrez, 2014). Por otro lado, Johnson-Laird (citado por Rendón *et al.*, 2005) afirma que los modelos son los procedimientos que nos permiten la construcción y manipulación de la realidad y del mundo, en donde la mente construye las representaciones internas intermediarias entre el mundo y el individuo facilitando de esta manera la comprensión y la actuación en él.

El barrio San Benito, perteneciente a la localidad de Tunjuelito, es conocido por sus productos procesados a partir de la piel de distintos animales y por el particular olor que estos procesos generan, pues desde 1992 según el periódico *El Tiempo*, las curtiembres eran responsables de la contaminación del río Tunjuelito al derramar desechos en este. Para el 2018, la Secretaría Distrital de Ambiente impuso medidas ya que varias empresas utilizaban compuestos con cromo para lavar las pieles y seguían con la misma problemática de hacía 26 años. Esto tiene un gran interés social y de salud, puesto que por ese tipo de

contaminación ambiental hay diversos daños tanto al ser humano como al ecosistema (Carreazo *et al.*, 2017).

Desde la contextualización anterior y su significado, es necesario mencionar que los modelos de respiración vegetal no siempre han mantenido un sentido único. A través del tiempo, en diferentes textos han conservado una tendencia polisémica que da como resultado una inconsistencia en el conocimiento de los profesores, dificultando a su vez la enseñanza debido al concepto defectuoso e incompleto. Por esto, vemos necesario un complemento educativo para los futuros maestros, no por un capricho sino por una necesidad. Para desarrollar los modelos en la enseñanza, Bahamonde (2014) propone que se deben incorporar temas socio-científicos, hace referencia a que en el aula se deben tratar temas de ciencia que a su vez tengan relación con el contexto del alumado por lo que esto le permite, a través de experiencias, darse cuenta de y explicar qué sucede en su realidad. Se puede entender también como una articulación del conocimiento científico con núcleos temáticos sociales, para lograr que los modelos explicativos de los estudiantes sean un mediador de teoría y realidad que les permitan describir los fenómenos a los que se ven sometidos en el mundo y en la escuela (Bravo y Ariza, 2014). Se realiza una revisión de los términos respiración vegetal y fotosíntesis a través de la historia, con lo cual se establece una relación entre las bases de los modelos de estas temáticas y los conceptos que expresan los sujetos sobre ambos fenómenos (véase tabla 1).

## Modelos conceptuales acerca de la respiración vegetal

**Tabla 1.** Modelos conceptuales históricos de la Respiración-Fotosíntesis.

Autor	Año o Periodo histórico	Modelo conceptual de la respiración
Aristóteles y Heráclito <sup>29</sup>	Época clásica	Las plantas se nutren, pero no respiran, solo los animales respiran porque se puede observar que ventilan, la luz puede incidir en el color de las hojas de las plantas.
Baptiste Van Helmont <sup>28</sup>	Finales del <sup>xvi</sup> -principios del <sup>xvii</sup>	La planta utiliza agua para crecer y desarrollarse, pero aún no se define que respira.
Nehemiah Grew <sup>23</sup>	Mitad del siglo <sup>xvii</sup>	La planta tiene un sistema de circulación bruto y simple, compuesto por raíces, vasos conductores y poros (estomas) en las hojas por el cual se trasladan sustancias, se mantiene la idea de que la planta no respira, pero a través de estos se toma la humedad del ambiente.
Michel-Louis Reneaume <sup>23</sup>	Principios del siglo <sup>xviii</sup>	La planta cuenta con estructuras llamadas estomas, de naturaleza microscópica que funcionan en la hoja en procesos de transpiración vegetal y de intercambio de sustancias.
Stephen Hales <sup>28</sup>	1727	La planta toma el aire de la atmósfera para poder respirar y nutrirse, la luz incide en este fenómeno y las sustancias van de la raíz hasta las hojas.
Joseph Priestley <sup>29</sup>	Mediados del siglo <sup>xviii</sup>	Todas las plantas producen aire desflogisticado (oxígeno) de manera permanente ya que aparte de producirlo, logran restaurarlo del ambiente, lo cual da un beneficio a los demás seres vivos.

Autor	Año o Período histórico	Modelo conceptual de la respiración
Jan Ingenhousz <sup>20</sup>	1779-1796	Todas las plantas producen oxígeno con incidencia de luz, mientras que en ausencia de luz las plantas producen dióxido de carbono, el proceso cambia según la incidencia de luz logrando que haya una mayor o menor producción de oxígeno, la alta concentración de CO <sub>2</sub> produce daños en la salud e influye en la nutrición vegetal.
Jean Senebier <sup>20</sup>	Entre 1782 y 1792	Las plantas realizan un intercambio gaseoso entre oxígeno y dióxido de carbono de forma constante, las plantas absorben el dióxido de carbono desde las hojas y raíces (si está disuelto en agua), tiene un efecto en el desarrollo de los tejidos vegetales.
Nicholas Theodore Saussure <sup>29</sup>	Principios del XIX	La respiración vegetal produce en igual cantidad tanto oxígeno como dióxido de carbono, el agua juega un papel crucial para la producción de oxígeno y materia orgánica.
Julius Von Mayer <sup>20</sup>	1842	Las plantas son capaces de realizar transformaciones energéticas a partir de la respiración y la luz, en cualquier lugar (ambiente), por lo cual son de gran importancia para el reciclaje de nutrientes y energía.
Ferdinand Gustav Sachs <sup>29</sup>	1865	La clorofila se encuentra en cuerpos subcelulares (cloroplastos), la respiración vegetal (fotosíntesis) es capaz de producir oxígeno a partir de la incidencia de dióxido de carbono, agua y luz, produciendo almidón (energía para la planta) y oxígeno que expulsa al respirar.
Charles Barnes <sup>17</sup>	1896	Fotosíntesis: "Síntesis de compuestos de carbono complejos a partir de ácido carbónico (o dióxido de carbono), en presencia de clorofila, bajo la influencia de la luz."
Cornelius Bernardus Van Niel <sup>29</sup>	Principios del siglo XX	La fotosíntesis depende de la luz solar como catalizador de la reacción en vez de reactivo para la producción de almidón y oxígeno, las relaciones entre el dióxido de carbono son de reducción y el agua se oxida.
Daniel Arnon <sup>28</sup>	1924-1927	La fotosíntesis y la respiración es un proceso con una serie de reacciones que llevan a la producción de energía expresada como ATP, en donde se requiere dióxido de carbono asimilado por la clorofila, que resulta en la liberación de oxígeno a partir del agua.
Joaquín Azcón Bieto <sup>1</sup>	1982	La respiración vegetal es un proceso celular llevado a cabo en las mitocondrias, en donde a partir del oxígeno y la glucosa provenientes de la fotosíntesis hay una producción de energía en forma de moléculas de ATP y dióxido de carbono, este último se emplea en procesos bioquímicos para la producción de compuestos nitrogenados como el amonio que promueven el desarrollo vegetal, se da una mayor tasa de respiración vegetal entre más dióxido de carbono la planta absorba.
Pedro Puigdomenec <sup>25</sup>	1986	La fotosíntesis y la respiración son procesos complementarios pero diferentes, el primero exclusivo de la acción solar durante el día para la producción de O <sub>2</sub> y carbohidratos (glucosa), la segunda utilizando los insumos energéticos del primero, a partir de procesos bioquímicos produce energía celular, ambos permiten el intercambio gaseoso a través de los estomas, pueden estar sujetos a afectaciones externas e internas, como resultado las plantas se pueden diferenciar en C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> y C <sub>AM</sub> que determina qué capacidad de aclimatación tienen según las condiciones ambientales.

Fuente: elaboración propia

## Materiales y métodos

Esta investigación se enmarca en un paradigma de carácter hermenéutico, porque se buscó hacer un énfasis en las características cognitivas de los sujetos, a partir de descripciones y comprensiones interpretativas de un fenómeno teórico complejo de las ciencias naturales, dentro del cual, como se ha expresado, tanto la respiración vegetal como la fotosíntesis poseen un carácter histórico amplio, que influye en los marcos referenciales de la acción cognitiva. La hermenéutica como aporte al examinar los modelos puede llegar a labrar la acción humana, al establecer un diálogo que sirve como mediador de la

teoría y la realidad (Cárcamo, 2005). Desde esta mirada, el proceso investigativo fue entendido como un intento de comprender las nociones acerca del fenómeno y qué tanto de estas se pueden insertar dentro del campo real tanto científico como experiencial acerca de la respiración vegetal y la contaminación ambiental. En concordancia con esto, el enfoque implementado en este estudio es de carácter cualitativo, de modo que nos focalizamos en el reconocimiento de aspectos relevantes que responden a los objetivos definidos, relacionados con interpretar una explicación y predicción dada por los sujetos, que permiten abordar desde varios ejes el fenómeno en cuestión.

La investigación se centró en las vivencias de cinco personas encuestadas, de las cuales tres tienen 14 años y dos, 18 años, que se encuentran cursando los grados noveno, décimo y once de educación básica y media respectivamente. El criterio de selección se basó en que tuvieran una relación con el fenómeno y contexto de estudio, así mismo que su nivel escolar estuviera en los últimos grados de secundaria, dado que en estos es donde se suele presentar este tema como complemento a contenidos curriculares de nutrición o célula; en algunos currículos cuando se trata el tema de ecología también hay una asociación de temática con la respiración o fotosíntesis vegetal (Garnica y Acosta, 2012; Gaviria, 2006). Los sujetos han habitado en el lugar de la problemática por un tiempo superior a diez años, lo que fue un aspecto considerable para su selección, ya que establecimos una relación directa con el propósito investigativo de este estudio.

Se utilizó como instrumento una encuesta (véase tabla 2) compuesta por diez preguntas formuladas a partir de la fundamentación de preguntas mediadoras, dinámicas y focalizadas propuestas por Márquez *et al.* (2004), relacionadas con la respiración, fotosíntesis, contexto y contaminación a nivel funcional y estructural. Realizar este tipo de preguntas, como mencionan estos autores, permite ahondar en las relaciones que tiene el individuo al conectarse a un fenómeno de manera integral e interdisciplinar, al no cercar las preguntas en un solo sentido, más bien que se puedan complementar con los demás factores de indagación y así, llegar a las particularidades esenciales que posibilitan identificar las concepciones y representaciones que se tienen sobre el tema principal. Esto permite que haya un acercamiento de los modelos de los sujetos al momento de enfrentarse a las situaciones y preguntas planteadas.

**Tabla 2.** Encuesta realizada sobre respiración, fotosíntesis, ambiente y contaminación ambiental.

N.º	Pregunta
1	¿Consideras que las plantas se pueden encontrar en todos los climas? ¿Por qué? Menciona dos ejemplos
2	¿Los animales y las plantas respiran de la misma forma? ¿Por qué?
3	¿La respiración de las plantas puede verse afectada por el estado del suelo, agua o nutrientes?
4	En el caso de que una planta esté enferma, ¿qué síntomas presentaría? ¿Cuáles serían sus defensas?
5	¿Qué aspectos crees que tiene el aire limpio y el aire sucio, el agua limpia y el agua sucia?
6	¿Nutrición y respiración son dos palabras que se complementan o son diferentes? ¿Por qué?
7	¿Las plantas tienen el mismo comportamiento de día y de noche? Menciona un ejemplo
8	¿Podría ser que la fotosíntesis empieza antes que la respiración? o ¿La respiración empieza antes de la fotosíntesis? Sustenta tu respuesta
9	Según las siguientes fórmulas, ¿cuál te parece que representa la respiración? ¿En qué se diferencian las tres? a) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + \text{Materia orgánica}$ b) $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energía solar} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ c) $\text{O}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{ATP}$
10	Según la elección, sustenta tu respuesta

**Fuente:** elaboración propia

La recolección de información de esta encuesta se realizó por medio de formularios virtuales, así mismo para hacer uso de la información, se formalizaron los términos de consentimiento de los encuestados ya que algunos son menores de edad. Además de estas preguntas, se solicitó a los sujetos realizar dos dibujos basados en experimentos mentales, el primero corresponde a la representación de la respiración y la fotosíntesis en una planta que asociaran en su contexto, en un ambiente natural y en uno contaminado, sugiriendo que mencionaran la mayor cantidad de estructuras que identificaban, así como las posibles implicaciones de estas condiciones contextuales sobre los

procesos. El segundo, a partir de la propuesta de experimento histórico de Joseph Priestley, en donde este realizó situaciones variables en contenedores con un ratón, una planta y una vela para entender la respiración vegetal; a partir de este predicado se hicieron dos situaciones problema para el experimento, una donde el ratón se encontraba con una vela solamente, y otro donde se encontraban el ratón, la planta y la vela, ambos compartimientos se encontraban sometidos primero a aire limpio y después a aire contaminado (azufre). Con ello se propuso que dieran sus explicaciones de lo que sucedería en un lapso largo cuando había aire limpio y después de que se aplicara el

aire contaminado, también se les requirió que identificaran las posibles cuestiones ambientales, positivas y negativas, que se involucraran en la conclusión de la situación.

Para el análisis de la información recolectada tanto de la encuesta como de los dibujos, se realizó la asociación de las respuestas dadas según los factores más relevantes en los niveles funcionales, estructurales y gráficos, esto con el apoyo de lo propuesto por Gaviria (2006), cuando se refiere a modelos explicativos y representaciones externas. Allí el autor hace un tratamiento de datos sobre dichos modelos y representaciones según sean escritos o pictóricos, describiendo sobre cada uno de estos el nivel del fenómeno como lo es el ecosistémico, celular, de fotosíntesis, entre otros; por cada uno de estos niveles inserta las denominaciones que hacen los sujetos acerca de las funciones que se enuncian, y las estructuras asociadas a dicha función. Adjunto a esto, desde los modelos mentales de Johnson-Laird (1983), se evaluaron aspectos propios de los modelos, como los ámbitos asociados a sus concepciones, tales como la selección y uso de términos, empleos aislados o articulados y la capacidad tanto predictiva como descriptiva sobre el fenómeno en una situación específica. Bajo este mismo marco, para las ilustraciones se tuvieron criterios como la estructura del dibujo (elementos), el razonamiento (uso de enunciados, dirección de flechas) y capacidad también explicativa y predictiva evidenciada de manera gráfica.

Con estas bases se propicia el contexto cualitativo sobre el que se basa el análisis de la información presentada, tanto en las respuestas escritas como en los esquemas gráficos, que mantienen un énfasis en los factores de interpretación, lingüísticos y semiológicos propios de una investigación cualitativa (Cárcamo, 2005), reflejadas a la totalidad de estructuras cognitivas del fenómeno hacia el cual se direcciona el estudio. A partir de lo anterior, se describieron los aspectos claves dentro de las respuestas de los sujetos, así mismo sobre los gráficos que realizaron, se hizo una consolidación según los criterios mencionados y se clasificaron, finalmente, como correspondieran a las explicaciones de los autores y periodos históricos propuestos en la tabla 1 para el fenómeno de respiración y fotosíntesis. Por último, los aspectos más llamativos que mencionaron sobre contaminación ambiental y el cómo lo afiliaban a su contexto, se indicaron dentro de las respuestas según estuvieran relacionados con los fenómenos sobre los que se indagó.

## Resultados y discusión

Dentro de los resultados obtenidos se encuentra primero una consolidación parafraseada de todas las respuestas

que enunció cada sujeto, proveniente del cuestionario empleado (véase tabla 2). Junto a estas consolidaciones escritas se disponen los dibujos que realizaron para cada situación planteada. Ambos productos reflejan los ámbitos de interés en relación con la respiración celular, fotosíntesis y contaminación ambiental, que expresan los participantes de manera tanto escrita como gráfica, para su posterior categorización.

En un segundo lugar, como ya se dijo, se relaciona lo encontrado con las teorías científicas descritas en la tabla 1. Según qué tantos criterios tienen los sujetos acerca de su modelo, se hace una aproximación de a cuál teoría o explicación científica se incorporan, con ello se resalta la pertinencia que tienen sus explicaciones junto con las del saber científico. A su vez, se establece un rastreo de las posibles causas e implicaciones de los procesos de enseñanza/aprendizaje que han influido en estas concepciones, abordando los contenidos de análisis necesarios para comprender el estado de los modelos, no solo desde una perspectiva del conocimiento científico, también del saber escolar y vivencial que poseen los sujetos acerca de la respiración vegetal.

*Sujeto 1:* Logra reconocer que la planta utiliza poros para la respiración y utiliza la fotosíntesis para dicho proceso produciendo oxígeno, por lo que muestra estos procesos como complementarios. A su vez muestra cómo la respiración puede verse afectada y lo demuestra en sus hojas. Menciona en sus ilustraciones el factor de la luz solar y las partes de las hojas, además menciona la relación del agua y los nutrientes. El sujeto distingue la entrada de  $\text{CO}_2$  y la salida de  $\text{O}_2$  especificando su función. En cuanto a la contaminación, detecta que cuando el aire está contaminado se ven gránulos y polvo, y las plantas pueden verse afectadas en sus hojas marchitándose o cayéndose, de igual forma su respiración se altera afectando la producción de energía. El ambiente es un indicador para la presencia de plantas y reconoce la importancia de estas como cicladoras de oxígeno.

*Sujeto 2:* Muestra en el concepto de respiración que las plantas respiran por medio de poros, requieren agua y a partir de esta se forma el oxígeno; para el concepto de fotosíntesis muestra que gracias a este se da la respiración y estos procesos son complementarios. En las ilustraciones el sujeto da cuenta de algunas estructuras de la planta al igual que señala la salida de  $\text{O}_2$  y la afectación de las plantas por la contaminación. Respecto a la contaminación da cuenta de que las hojas se ven afectadas por este fenómeno y tiene incidencias en el ecosistema. El sujeto reconoce la importancia de las plantas como cicladoras de oxígeno.

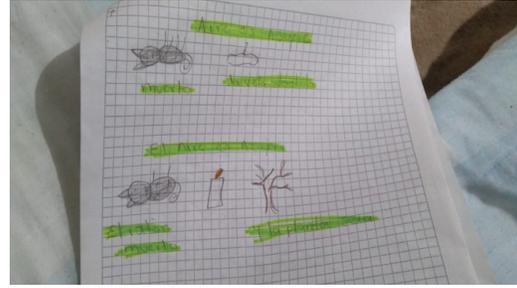


**Sujeto 4:** El proceso de respiración se logra con la acción del sol y la intervención del agua con el oxígeno, la fotosíntesis se realiza durante el día, produce energía y se da el proceso de respiración. Este proceso produce  $O_2$  a partir de  $H_2O$ . Para el sujeto la planta tiene el mismo comportamiento

tanto de día como de noche. No menciona poros para la respiración. En las ilustraciones da cuenta de la presencia de la luz solar y de solo algunas partes de las plantas. En cuanto a la contaminación, las hojas se ven afectadas por este problema marchitándose o cayéndose.



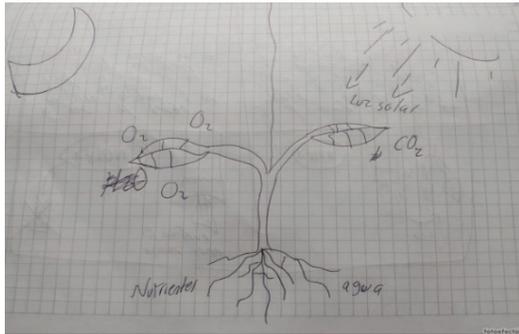
**Figura 7.** Situación respiración vegetal y fotosíntesis del sujeto 4



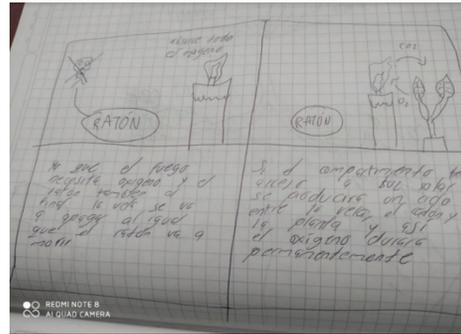
**Figura 8.** Experimento mental de Joseph Priestley del sujeto 4

**Sujeto 5:** Expone que la respiración solo se realiza en la noche utilizando la energía producida por la fotosíntesis durante el día, necesita de  $CO_2$ ,  $H_2O$  y luz. También, a partir de la fotosíntesis se produce la respiración y estos procesos son complementarios, por lo que la respiración utiliza la energía de la fotosíntesis y durante el día la planta toma

nutrientes y luz solar, de noche produce  $O_2$ . Da cuenta de que la planta tiene unos poros, estos sufren por la contaminación y menciona ejemplos. En sus ilustraciones se hace referencia a la luz solar, relaciona el agua y los nutrientes, le da dirección a la entrada de  $CO_2$  y  $H_2O$ , y a la salida de  $O_2$ , pero no ilustra los poros mencionados.



**Figura 9.** Situación respiración vegetal y fotosíntesis del sujeto 5



**Figura 10.** Experimento mental de Joseph Priestley del sujeto 5

## Modelo de respiración vegetal desde los estomas

Ante las respuestas de los sujetos sobre la respiración vegetal, se puede observar que cada uno de ellos tiene un modelo explicativo diferente referido a este proceso, presentan puntos en común y también divergencias en aspectos tanto funcionales como estructurales del fenómeno. Algunos mencionan aspectos de naturaleza física

en donde se lleva a cabo la respiración, al mencionar los “poros” en sus respuestas, aunque no muchos son claros con el rol de estos, también según otra de sus respuestas se puede inferir que aquí se lleva a cabo el intercambio gaseoso. Estas observaciones son homólogas a las de Grew, a mediados del siglo XVII, porque al igual que los sujetos 1, 2 y 3, este científico solo logró identificar visualmente estas estructuras y relacionarlas con algún tipo de sistema de circulación en la planta. Lo contrario

al fisiólogo Reneaume en el siglo XVIII, debido a que este investigador sí logró atribuirle un nombre específico a dichos poros junto con su ubicación, nivel físico y función específica para la época (Pietsch, 2015). Esto permite pensar que en los sujetos 1, 2 y 3 la denominación conceptual de “poro” no está situada en una definición, porque no se inserta en el concepto de estomas —la analogía del concepto en los sujetos mencionados se da con la palabra “poro”—, además no hay una mención en cuanto a su tamaño, función ni dónde se sitúa.

Lo denominado por los sujetos 1, 2 y 3 muestra una carencia de profundidad en cuanto al aspecto funcional de los poros, dado que en este proceso se ven involucradas variables como la presión del aire del medio, los niveles de sodio de las células, la tasa de transpiración, la tasa fotosintética, entre otras (Camposeco *et al.*, 2018). En consecuencia, en su representación pictórica la mayoría no ubica gráficamente los estomas en las plantas ni en sus hojas, los pocos que lo hacen (sujetos 1 y 3) los ubican sobre el haz, pero no en el envés. Enlazado a esto se puede mencionar que dentro de la enseñanza de los procesos fisiológicos vegetales hay un gran déficit de explicación estructural microscópica, provocando con ello una precariedad en la representación de este nivel en los conocimientos de los estudiantes (Charrier *et al.*, 2006; Garnica y Acosta, 2012; Gaviria, 2006). Por tanto, según lo enunciado por los sujetos de manera transversal, su modelo y representación acerca de los estomas y su relación con la respiración vegetal, aún se encuentra en las percepciones del siglo XVIII presentada por Neremiah Grew. Aunque los sujetos 1, 2 y 3 expresan la presencia de estas estructuras de forma analógica y somera cuando se refieren a entrada de oxígeno, no hay una estructuración funcional, ni focalizada para la descripción de este proceso.

## Modelo de respiración vegetal

Con respecto a su conceptualización de respiración vegetal, se pueden ver puntos de cohesión, de manera referencial dado que la totalidad de los sujetos posicionan la respiración vegetal como producción de oxígeno, energía/nutrientes, o ambas, principalmente, con la idea de que solo se da como resultado el oxígeno. Esto coincide con la concepción del fenómeno de Priestley, Ingenhouz y Senebier durante el siglo XVIII, quienes sustentaban que las plantas realizan una restauración de oxígeno en su medio de manera permanente a través de la incidencia del dióxido de carbono. Además, Nicholas Saussure expresó a finales del siglo XIX que a partir del agua las plantas (que también mencionan todos los sujetos), hacen una producción de oxígeno que se libera al ambiente (Rodríguez *et al.*, 2014). En 1982, aproximadamente, se descubre que la respiración de las plantas se realiza como un proceso contrario

de manera gaseosa, es decir, a nivel celular hay captación de oxígeno y carbohidratos como la glucosa, los cuales por reacciones bioquímicas terminan en la producción-expulsión de  $\text{CO}_2$  y energía molecular (Azcón, 1982). Por tanto, su descripción de producto de respiración vegetal es contraria a la establecida, aun así, todos los sujetos llegan a un punto congruente donde hay mención de una producción energética, que no se aleja de esta noción actual, pero no hay expresión de qué tipo de energía es, evidenciando una precariedad de concepción y definición de energía.

Siguiendo sobre esta percepción global de los sujetos, acerca de la producción energética a partir del oxígeno, se refiere la postura de Ferdinand Sachs en 1865 y Daniel Arnon en 1924, lo que se llamaría una conceptualización contemporánea, ya que es ante todo como se evidencia y se define el producto de la respiración vegetal dentro de la enseñanza (Charrier *et al.*, 2006). Esto nos lleva a mencionar que la selección y empleo de los sujetos en torno a la respiración vegetal está mal establecida en un primer aspecto fundamental del fenómeno. El resultado de este proceso es diferente al que mencionan, puesto que hay un uso de oxígeno mas no producción de él, que desemboca en la formación de dióxido de carbono dentro de las células mitocondriales, las cuales pasan a procesos de intercambio celular por el sistema microvascular de las plantas dando lugar a un sistema respiratorio interno principal (Collalti *et al.*, 2020). Solo podríamos enunciar que es apropiada refiriéndonos a la ganancia energética, pero aun así esta no es específica al no mencionar el ATP y otras moléculas orgánicas como resultado. Esta atribución general de los sujetos la complementan en algunos casos (sujeto 1 y 3) al dilucidar que gracias a la respiración hay un desarrollo de la planta, lo cual es apropiado, en vista de que, por medio de la respiración vegetal, se forman productos energéticos que son sintetizados por la planta para su desarrollo (Plaxton y Podestá, 2006).

Con respecto a su representación gráfica, la mayoría, en especial los sujetos 1, 3 y 5, en sus esquemas evidencian la presencia permanente del oxígeno en la planta saliendo, por tanto se puede decir que cuando hay relación con la respiración, pictóricamente los sujetos piensan en expulsión de oxígeno, pero no logran lo mismo en relación con la energía/nutrientes, debido a que no lo exponen gráficamente, lo que se apoya en que al momento que se les pide identificar químicamente este proceso, escogen la opción más evidente, es decir, la que muestra en donde a partir del dióxido de carbono, luz y agua hay una producción de oxígeno (opción b en tabla 2). Esto hace que su modelo estructuralmente se defina en un aspecto funcional básico (expulsión de  $\text{O}_2$ ) con un beneficio energético (no específico) para la planta. Sin embargo, con lo descrito sabemos que este reconocimiento y atribución gráfica

debería ser inversa, la manera apropiada de representar la respiración vegetal sería dando cuenta de un contexto microscópico, que muestre una entrada de  $O_2$  y la salida de  $CO_2$  que produce energía de manera interna en la planta.

Esto se ve plasmado en el ámbito escolar ya que los estudiantes no logran desarrollar una multidimensionalidad de la respiración vegetal, un concepto y un modelo resistente al cambio, que ante todo se confunde con la fotosíntesis. Curricularmente el proceso de respiración vegetal viene atribuido a la fotosíntesis, causando que los sujetos diferencien solo parcialmente el rol de la respiración, es decir, tienen una percepción inversa de lo que es el fenómeno en realidad, incluido en esto una falta de profundidad en sus argumentos. Para tener una aclaración de ello se debería abordar desde la química, bioquímica y biología celular la cual permite ahondar en el proceso de manera correcta (Charrier *et al.*, 2006; Garnica y Acosta, 2012; Gaviria, 2006). Lo descrito nos lleva a afirmar que el modelo de respiración vegetal presente en los sujetos se refiere aún a las visiones de los siglos XVII y XVIII, incorporando algunos aspectos del fenómeno desarrollados durante el siglo XIX, pero es de interés central que este modelo en los sujetos es inverso al aceptado por la comunidad científica, expresado por Azcón en 1982 (como se mencionó en la tabla 1). A esto se suma que no hay una diferenciación entre cómo se lleva a cabo el proceso, de qué forma lo hace y qué partes participan en este, alejándose del ámbito actual sobre esta temática.

## Modelo de fotosíntesis

Los sujetos se refieren a la fotosíntesis en primer lugar como un proceso funcional, que se lleva a cabo durante el día y tiene un tipo de ganancia energética a partir del  $CO_2$  para la producción de  $O_2$ , concretamente los sujetos 1, 3 y 5 exponen que la influencia de la luz solar se atribuye al factor de producción de energía o nutrientes, situándose parcialmente en la definición de Barnes de 1896 y de Van Niel a principios de siglo XX. Este último científico diferenciaba la fotosíntesis como una catálisis de la luz solar sobre el proceso de intercambio gaseoso para la producción energética (Rodríguez *et al.*, 2014). Por tanto, la selección y empleo del término de fotosíntesis dentro de sus conceptos se atribuyen a generalidades al mencionar el factor de la luz solar,  $CO_2$  y la producción energética, razón por la cual hay un sentido simple del proceso, ya que este se definiría como: a partir de la acción de la luz solar hay un estímulo en la clorofila de las hojas que desencadena un proceso de movimiento y captación de electrones por medio de fotosistemas que terminan en la producción de moléculas energéticas y de azúcares, dando lugar a procesos adjuntos como el intercambio gaseoso y la captación de agua (Carril, 2011). Según esto

se identificar la falta del uso del término clorofila en la totalidad de respuestas de los sujetos.

Las representaciones de los sujetos 1, 3, 4 y 5 evidencian gráficamente la incidencia de la luz solar sobre la planta, junto con la toma de  $CO_2$  y la producción de oxígeno o nutrientes, lo que corresponde a la noción común de la fotosíntesis, pero se destaca que no se hace un énfasis en las características de las hojas o el rol representativo de la clorofila en el proceso. Esto último es uno de los principios que los alumnos no logran desarrollar ni funcional ni estructuralmente en la escuela, aunque se liga con la teoría en la enseñanza, se mantiene distante o ausente del proceso, por el nivel de complejidad que se emplea. Al hablar de la función de la clorofila hay que referirse a otros mecanismos químicos y bioquímicos, de modo que aumenta la dificultad cognitiva de asociación (Charrier *et al.*, 2006; Garnica y Acosta, 2012; Gaviria, 2006). A partir de lo anterior se evidencia que este modelo de los sujetos se encuentra en la denominación clásica de estudio de la fotosíntesis, es decir, se sitúa en las concepciones de finales de siglo XIX y principios del siglo XX, cuando se veía a este proceso de manera general, relacionando aspectos de intercambio gaseoso, incidencia de luz y producción energética (Rodríguez *et al.*, 2018).

## Modelo de respiración vegetal asociado a la fotosíntesis

En la conceptualización de ambos procesos, el modelo en conjunto de los sujetos es de sumo interés. Cuando se les pide asociar la respiración con la fotosíntesis, en general los sujetos expresan que son complementarios; uno emplea los productos del otro. Expresan que a partir de  $CO_2$ , luz o agua hay una producción de nutrientes/energía, que permite que se lleve a cabo la respiración vegetal. Asimismo, dentro de su construcción sobre los ciclos diurnos y nocturnos responden, en concreto los sujetos 1, 3 y 5, que durante el día principalmente se da la producción de energía por el factor fotosintético y energético, mientras que en la noche se hace uso de energía para seguir produciendo oxígeno; en este sentido se acercan de forma superficial a la visión integral del proceso propuesto desde la visión de Puigdomènech en 1986. Esto resulta en una funcionalidad más estructurada y actual cuando ven sometidos al mismo contexto ambos conceptos, dando como consecuencia un mayor acercamiento al concepto de respiración vegetal desde la asociación de procesos que cuando estos se separan, aunque no es muy específico ni sistemático al no mencionar el uso de  $O_2$  de manera celular o el recorrido bioquímico del  $CO_2$ .

Con relación a la selección y empleo de ambos conceptos en sus modelos, se puede señalar que cuando los sujetos mencionan la respiración es común mencionar la fotosíntesis puesto que, para ellos, para que se dé la respiración primero debe darse el proceso fotosintético, siendo este el fundamento que desarrollan. Esto es apropiado, debido a que el proceso se establece en la producción de energía y productos moleculares de la corriente fotosintética que se emplean luego en el complejo de respiración celular según las condiciones de luz (Smith y Dukes, 2013). En línea con esto, en sus respuestas los sujetos 1, 3 y 5 señalan que se produce energía o nutrientes como resultado de la interacción de ambos mecanismos, lo cual permite un desarrollo apropiado para la planta, pero como se ha expresado, aún es inespecífica. Esta energía debería referirse de modo concreto a la ganancia de moléculas energéticas como el ATP, mientras que al referirse a nutrientes se debe hacer la mención de azúcares como el almidón-glucosa, algunos macronutrientes como el nitrógeno o sustancias como el amoníaco, que representan realmente la producción de sustancias esenciales resultantes de la vía respiratoria vegetal (Smith y Dukes, 2013). Como complemento, los sujetos 1, 3 y 5 articulan a la fotosíntesis-respiración la producción de oxígeno a partir de la luz solar, esto es oportuno dado que, gracias a la incidencia solar, se dispone una cantidad de oxígeno variante para los procesos internos de la planta y el ambiente para su ciclo (et al., 2010). Ampliando esto, los sujetos lo relacionan de dos maneras: la primera, para que haya oxígeno debe haber interacción de dióxido de carbono y agua (sujetos 1, 3 y 5); la segunda, que solo gracias al agua se produce el oxígeno (sujetos 2 y 4). La más adecuada es la primera porque a partir de la interacción de óxido-reducción de moléculas de dióxido de carbono y agua hay consolidación de oxígeno a través de la fotólisis (Solarte et al., 2010).

En su representación gráfica, la relación fotosíntesis-respiración se evidencia de una manera más desarrollada en algunos casos, como en los sujetos 1 y 3, quienes emplazan estos dos procesos dentro de lo que consideraríamos como fotosíntesis, pero diferencian la disposición de nutrientes en la planta así como la incidencia del agua. Un solo sujeto (5) es más específico y plantea la diferenciación a partir de los ciclos lumínicos y no lumínicos (Véase figura 10), lo cual es una interpretación más ideal de la relación fotosintética y respiratoria vegetal. En el día muestra que a partir del  $\text{CO}_2$  se produce  $\text{O}_2$  y en la noche se utiliza  $\text{O}_2$  para producir  $\text{CO}_2$ , aunque en realidad este proceso se hace de forma constante según sea el requerimiento energético vegetal. Esta representación logra evidenciar parcialmente la diferencia de ambos procesos, incluso de aspectos como el aporte nutricional a la planta o la secuencialidad y el orden de producción e intercambio de los gases.

La relación educativa que se puede atribuir, como se ha mencionado, alude a que en lo curricular no hay una gran diferenciación de contenidos sobre fotosíntesis y respiración vegetal, por lo general se suelen ligar, impidiendo que se ilustre a los alumnos de una forma más específica, que estos dos procesos son diferentes (Garnica y Acosta, 2012). Además, los estudiantes presentan dificultad para atribuir funciones químicas/bioquímicas a eventos fisiológicos, por ende, para tener una correcta diferenciación funcional sobre los procesos de respiración y fotosíntesis, es necesario integrarlo al ámbito celular, que también permite reforzar este aspecto fundamental (Charrier et al., 2006; Gaviria, 2006). Otra particularidad en el modelo de los sujetos es la simplificación de procesos/productos, porque tienden a asociarlos solamente con intercambio gaseoso y ganancia energética en las mismas situaciones, por tanto, presentan dificultades para mencionar otro tipo de dinámicas fisiológicas (Uyaban et al., 2017). Todos estos factores evidencian puntos clave sobre esta problemática que describen Charrier et al. (2006), tales como, “Los estudiantes confunden respiración con fotosíntesis”, “Las definiciones de los estudiantes desde la respiración coinciden con las brindadas con fotosíntesis” (pp. 3-4). En conjunto, esto muestra la dificultad de no separar las temáticas, ya que se vuelve aún más complejo para el estudiante diferenciar procesos.

Según lo descrito, cuando los sujetos son capaces de relacionar los modelos explicativos de respiración vegetal con la fotosíntesis, a pesar de sus dificultades diferenciales, el modelo se encuentra situado de forma parcial entre la concepción de Joaquín Azcón (1982) y la de Pedro Puigdomenech (1986) que representa en gran medida cómo son concebidos ambos procesos en la actualidad desde un ámbito formal, ya que concuerdan en que ambos procesos son necesarios para realizar el otro, siguiendo una secuencialidad y transformación de sustancias, la cual resulta en varios aportes (principalmente energéticos). Comparando esto con los demás modelos, al momento de situar ambos procesos fisiológicos en un solo contexto de respuesta e ilustración, los sujetos son capaces de enriquecer su modelo funcional y estructuralmente, cambiando su representación, por ende, su visión y explicación en relación con otros conceptos históricos, que les permite avanzar a partir de este hecho, distinguiéndose por analogías y diferenciaciones más construidas. Por tanto, se hace necesaria una intervención para enriquecer la especificidad de ambos procesos y con ello sus diferencias, así como dar una mejor secuencialidad del modelo y consolidar el conocimiento que poseen los sujetos.

De manera que la indagación de los modelos explicativos sobre la respiración vegetal llevada en este estudio presenta que este fenómeno es concebido por los sujetos de

manera inversa a como lo define el saber científico actual, particularmente en su secuencialidad y en qué sustancias son reactivos o productos de este proceso. Tal concepción se presenta en todos los sujetos, lo que muestra que es un punto problemático de enseñanza/aprendizaje pero, asimismo, de partida para la transformación conceptual del modelo, a partir de la profundización funcional y estructural. Esto apunta a los retos educativos que hoy enfrenta el entendimiento de este fenómeno, para tener un acercamiento crítico y objetivo a las tendencias y problemáticas cotidianas asociadas a estos temas, lo cual es fundamental para lograr un impacto en el conocimiento, de manera que se lleve la ciencia al sujeto mediante la educación y que el aprendizaje de esta repercuta en su manera de ver el mundo (Bahamonde, 2014). En referencia a los modelos según Johnson-Laird (1983), los ítems conceptuales que utilizan para su construcción conceptual acerca de la respiración vegetal son enfocados a desarrollo y energía, estas representaciones exhiben el desafío de poder cambiar esta concepción y mejorar el modelo que, aunque es superficialmente apropiado, aún requiere de estrategias para poder ahondar en factores tanto diferenciales como específicos que consoliden un conocimiento más cercano al actual (Charrier *et al.*, 2006; Gaviria, 2006).

## Relación modelo de respiración vegetal y contaminación ambiental

En esta última discusión se describe el reconocimiento de ambiente y la capacidad de inferencia al momento de explicar y predecir las afectaciones a ambos fenómenos de la investigación desde su cotidianidad. Se delimitan tres grandes grupos de indagación, el primero, referente al énfasis de la respiración-fotosíntesis, en el que varios sujetos (1, 3 y 5) dan una aproximación acerca de que el impacto por una condición ambiental en este proceso genera una afectación a la producción energética, lo cual se corrobora con las observaciones de Azcón (2000), quien describe que al haber una alteración en el proceso respiratorio-fotosintético se va a producir una disminución de la energía y por ende del desarrollo vegetal. Por otro lado, todos los sujetos reconocen el daño en los vegetales, según el estado del ambiente, analizando las hojas, mencionan síntomas concretos tales como el marchitamiento, cambio de colores y caída. Todos estos hacen referencia a la afectación vegetal denominada clorosis, en donde las plantas por algún tipo de estrés o efecto físico, químico o biológico pierden sus pigmentos y terminan en un deterioro de los tejidos de las hojas (Silva *et al.*, 2017).

El segundo grupo en este contexto es la identificación de la contaminación ambiental según sus percepciones, en donde todos mencionan que las características del aire

contaminado se evidencian cuando es granuloso, con gran cantidad de polvo, mientras que el agua se ve turbia y densa. Estas características son propias de contaminación del aire tanto por polución como por sustancias químicas densas como sulfuros y gases derivados del amoníaco, mientras que el agua al poseer componentes químicos residuales y de materia orgánica tiende a volverse viscosa, todas ellas consecuencia del efecto de las curtiembres en el ambiente (Gaitán *et al.*, 2007).

Se establece, finalmente, como tercer grupo, el reconocimiento de las plantas como elementos fundamentales del ecosistema. En este grupo se dispone, a partir de los experimentos mentales, que haya un reconocimiento de cómo las plantas cumplen funciones clave como restaurar el oxígeno, permitiendo que se mantenga la vida. Por tanto, se infiere que en conjunto los sujetos son capaces de mostrar los vegetales como productores primarios energéticos y reguladores de gases. Bajo este proceso también se podrían explicar los procesos de aclimatación de las plantas, en razón de que si varía su mecanismo de respiración o fotosíntesis, podrán adaptarse a diferentes climas, asociándolo con el ejemplo del cactus o frailejón. Estos fenómenos de adaptación se ven influenciados por la dinámica de respiración-fotosíntesis que se va especializando de acuerdo al ambiente donde la planta se encuentre, lo que ha resultado en variaciones como los procesos C3, C4 y CAM (Smith y Dukes, 2013). Ligado a esto, algunos sujetos (el 1 y el 5) mencionan o representan plantas dentro de su cotidianidad, como los frailejones que son especies del ecosistema que se caracterizan por la regulación de agua en los páramos de la región y otras de uso tradicional, como el caballero de la noche (*Cestrum nocturnum*) que son especies que emanan un olor agradable, usualmente dispuestas en calles o casas de la localidad (Sierra y Amarillo, 2014).

Los modelos que relacionan respiración vegetal y fotosíntesis con el factor del ambiente se pueden inspeccionar de la misma manera que desde lo conceptual, que este modelo es apropiado según sus enunciados y esquematizaciones, pero hace falta una indagación más exhaustiva para poder argumentar los efectos de un factor ambiental en estos procesos fisiológicos. Se involucra, entonces, una interpretación de situaciones ambientales más complejas, en donde estimular la capacidad predictiva y explicativa del modelo es fundamental para su enriquecimiento (Bahamonde, 2014). Con esto también sería posible articular el rol de plantas específicas que le traen un beneficio al ambiente y a su conservación. Es claro que esto es significativo para los sujetos que aparte de enunciarlo por escrito también lo representan gráficamente. Además, se debe tener en cuenta que el componente ambiente, que juega un papel crucial según la experiencia y la cotidianidad

del individuo, involucra la manera en que es descriptivo y objetivo según esta relación (Quintanilla *et al.*, 2010), lo cual lleva a preguntarse si los sujetos al describir y asociar el factor ambiental con los procesos fisiológicos vegetales lo hacen desde el conocimiento escolar, el cotidiano-experiencial o si es una conjunción de ambos, por la capacidad y criterios que utilizan en sus explicaciones. Esto queda como posible cuestión para futuros estudios que permitan dilucidar esta observación.

## Consideraciones para la enseñanza/aprendizaje

Como primera sugerencia, se requiere profundizar los contenidos sobre los aspectos microscópicos que se involucran en la respiración-fotosíntesis, que llevarían al sujeto a situarse de manera concreta y estructuralmente correcta en los procesos, a partir de actividades de reconocimiento de estas estructuras, así como de su importancia para las plantas. Junto con esto se debe hacer una discusión exhaustiva sobre el papel de la clorofila en el proceso, porque a partir de este pigmento se lleva a cabo la explicación interdisciplinar con la química e incluso con la física, sobre el fenómeno de incidencia solar y producción de energía. Esto permitiría al individuo enriquecer la noción de producción del proceso, así como del por qué es fundamental el color en los vegetales.

La segunda sugerencia se dirige a encontrar relaciones entre la respiración vegetal y la fotosíntesis que permitan delimitarlas. Se propone para esto, realizar en este contenido una explicación más centrada que incluya el concepto de fotorrespiración y respiración celular vegetal, lo cual permite dilucidar en gran medida no solo la diferencia de ambos procesos sino también exponer la realidad sobre el cómo se lleva a cabo tanto el proceso diurno como el nocturno, bajo una mirada bioquímica, haciendo énfasis en cómo funcionan los fotosistemas de la planta y el ciclo de Krebs y Calvin. A partir de ello se podrían responder las preguntas emergentes de los sujetos: ¿De dónde proviene la producción de energía? ¿Por qué existe una fase lumínica y otra oscura? ¿Qué procesos químicos y biológicos se hacen en cada fase? Con esto se puede alimentar la cuestión de por qué las plantas se aclimatan a diferentes ambientes y explicar la diversificación de las plantas C3, C4 y CAM.

Como tercer y último ítem se propone realizar una mayor cantidad de test gráficos y experimentos mentales en estos procesos de enseñanza, en donde los individuos puedan poner a prueba cómo se ha transformado su entendimiento de los procesos. Estos deben ser aplicados a situaciones cotidianas o cercanas al aula, para

establecer un puente de relación entre la teoría y lo real contextual del sujeto, modelando su pensamiento dentro y fuera del aula.

## Conclusiones

Quedan expuestos los diversos conceptos y representaciones de los sujetos los cuales se evidencian en las características del modelo explicativo que poseen. Este modelo carece de estructuración tanto esquemática como teórica, no solo desde la biología, también de otras disciplinas de las ciencias naturales como la química y la bioquímica, debido a que se presentan múltiples obstáculos conceptuales tanto de manera gráfica como escrita. Esto involucra que las concepciones de los sujetos se encuentren aún en una visión clásica del fenómeno, cuando mencionamos esto queremos expresar que aún se explica según los postulados científicos que estuvieron vigentes durante los siglos XVII y XVIII, periodos históricos donde se fundamentaron principalmente los principios científicos de la respiración vegetal y de la fotosíntesis.

La clave de poder enriquecer el modelo de los sujetos está en reconocer más componentes que estructuran ambos procesos, lo cual resultaría en un modelo integrador del fenómeno, como se maneja actualmente en el ámbito científico. Aunque, a día de hoy, sigue indagándose, al encontrar nuevas funciones y estructuras desde diversas ramas de investigación, por tanto, el modelo de respiración vegetal se encuentra en constante evolución, pero aún describe y emplea esas visiones pasadas que representan la importancia de la historicidad del fenómeno. Esto lleva a remarcar la importancia de rastrearlas en la educación de las ciencias naturales, en especial de la biología, generando nuevas alternativas didácticas que permitan una intervención a estos modelos explicativos, capacitando al estudiantado no solo para comprender este proceso, sino también para nutrir su capacidad explicativa y predictiva frente al avance científico actual.

Se debe incorporar al contexto ambiental un ámbito cotidiano, en donde el sujeto pueda aplicar su progresión del modelo y del proceso de respiración vegetal; adicionalmente, que con ello pueda identificar las repercusiones de las condiciones del ambiente en el fenómeno. De esta forma, se logra complementar las representaciones, y con ello la capacidad de representar y consolidar su concepción, funcionalidad y estructuración hacia lo real. Asimismo es importante desarrollar este apartado desde sus vivencias bajo nociones positivas como la importancia de los vegetales para la vida, y negativas como el efecto de los contaminantes sobre las plantas tanto física como fisiológicamente. Identificar a su vez el estado de los elementos del ambiente en varios niveles, potencializando el

reconocimiento de su entorno de una manera más directa, de modo que genere en los individuos la formación de una conciencia ambiental que transforme sus criterios y forma de actuar. Afianzar su modelo, no solo dentro del ámbito del aula, también con un aprendizaje significativo para sus acciones y experiencias tanto individuales como colectivas, de manera que se articule la enseñanza con la vida diaria. Al emplear la didáctica y los modelos explicativos para este cometido, más que herramientas, son la manera en que los docentes podemos redefinir las metodologías de la enseñanza y el análisis del aprendizaje, tan necesarios para abordar la complejidad de las problemáticas de la actualidad.

## Referencias

- Azcón, J. (1982). *Relationships between photosynthesis, respiration and carbohydrate levels in wheat leaves* [Tesis doctoral, The Australian National University].
- Azcón, J. (2000). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill Interamericana.
- Bahamonde, N. (2014). Pensar la educación de la biología en los nuevos escenarios sociales: la sinergia entre la modelización, naturaleza de la ciencia, asuntos socio-científicos y multirreferencialidad. *Bio-grafía*, 7(13), 87-98.
- Bravo, A. y Ariza, Y. (2014). Una caracterización semanticista de los modelos científicos para ciencia escolar. *Bio-grafía*, 7(13), 25-34.
- Cárcamo, H. (2005). Hermenéutica y análisis cualitativo. *Cinta de Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*, 23, 204-216.
- Camposeco, N., Robledo, V., Ramírez, F., Valdez, L., Cabrera, M. y Mendoza, R. (2018). Efecto del portainjerto en el índice y densidad estomática de pimiento morrón *Capsicum annum* var. *annuum*. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(15), 555-561.
- Carreazo, D., García, L., Corredor, J. y Sastoque, J. (2017). *Efectos en la salud asociados a la exposición ambiental a productos químicos generados en la industria del curtido en una población del barrio San Benito y su área de influencia durante el 2017* [Tesis de grado, Universidad de Ciencias Aplicadas Ambientales].
- Carril, E. P. (2011). Fotosíntesis: Aspectos Básicos. *Reduca (Biología)*, 2(3), 1-47.
- Chamizo, J. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7(1), 26-41.
- Charrier, M., Cañal, P. y Rodrigo, M. (2006). Las concepciones de los estudiantes sobre la fotosíntesis y la respiración: una revisión sobre la investigación didáctica en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de la nutrición de las plantas. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(3), 401-410.
- Collalti, A., Tjoelker, M., Hoch, G., Mäkelä, A., Guidolotti, G., Heskell, M. ... y Prentice, I. (2020). Plant respiration: controlled by photosynthesis or biomass? *Global Change Biology*, 26(3), 1739-1753.
- Dusenge, M., Duarte, A. y Way, D. (2019). Plant carbon metabolism and climate change: elevated  $\text{CO}_2$  and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration. *New Phytologist*, 221(1), 32-49.
- El Tiempo-Redacción. (1992, 17 de octubre). *San Benito: En riesgo ambiental*. <https://bit.ly/30ovCoR>
- Gaitán, M., Cancino, J. y Behrentz, E. (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería*, 26, 81-92.
- Garnica, S. y Acosta, R. (2012). Conocimiento didáctico del contenido sobre fotosíntesis de dos profesores de los grados sexto y noveno de educación básica secundaria en un colegio privado en Bogotá-Colombia. *Bio-grafía*, 5(8), 50-76.
- Gaviria, E. (2006). *Evolución de los modelos explicativos de la fotosíntesis a través de las representaciones externas* [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia].
- Gest, H. (2002). History of the word photosynthesis and evolution of its definition. *Photosynthesis research*, 73(1-3), 7-10.
- González, E. (2014). *La contaminación y el proceso de la fotosíntesis*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencias conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Bio-grafía*, 7(13), 37-66.
- Hill, J. F. (2012). Early pioneers of photosynthesis research. *Photosynthesis*, 34, 771-800.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Harvard University Press.

- Márquez, C., Roca, M., Gómez, A., Sardá, A. y Pujol Villalonga, R. M. (2004). La construcción de modelos explicativos complejos mediante preguntas mediadoras, 53, 71-81.
- Pietsch, T. (2015). *Cuvier's history of the natural sciences: nineteen lessons from the sixteenth and seventeenth centuries*. Publications scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle.
- Plaxton, W. y Podestá, F. (2006). The functional organization and control of plant respiration. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(2), 159-198.
- Puigdomènech, P. (1986). *Enciclopedia de las Ciencias. Las plantas, el mundo de la botánica*. Orbis S.A. p. 19.
- Quintanilla, M., Daza, S. y Merino, C. (2010). *Unidades didácticas en Biología y Educación Ambiental. Su contribución a la promoción de competencias de pensamiento científico*, vol. 4. Fondecyt.
- Rendón, U., Moncada, P., Higuera, A., Cano, C. y Arana, C. (2005). Reflexión acerca de los modelos mentales y la formación cognitiva de los profesionales en educación. *Lasallista de investigación*, 2(1), 61-63.
- Rodríguez, C., Losada, C. y Barros, S. (2014). El modelo de nutrición vegetal a través de la historia y su importancia para la enseñanza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(1), 2-12.
- Sánchez, V. (2016). *Importancia de la fotosíntesis para la vida en la Tierra* [Tesis de Maestría, Universidad de Jaén].
- Sierra, M. y Amarillo, Á. (2014). Catálogo de la vegetación en jardines domésticos de Bogotá, Colombia. *Biota Colombiana*, 15(1), 10-46.
- Silva, A., Anderson, F., Nowaki, R., Cecílio Filho, A. y Mendoza, J. (2017). Síntomas de deficiencia de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annum* L.). *Agrociencia Uruguay*, 21(2), 31-43.
- Smith, N. y Dukes, J. (2013). Plant respiration and photosynthesis in global-scale models: incorporating acclimation to temperature and CO<sub>2</sub>. *Global change biology*, 19(1), 45-63.
- Solarte, M. E., Moreno, L. y Melgarejo, L. M. (2010). VI. Fotosíntesis y pigmentos vegetales En: *Experimentos en fisiología vegetal* (pp. 107-122). Universidad Nacional de Colombia.
- Uyaban, A., Rodríguez, J., Pérez, P., Muñoz, L. 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*, 10(19), 619-629.