



**Controversias científicas como alternativa para promover el pensamiento crítico en contextos escolares. El caso de Watson y Crick vs Rosalind Franklin**

Juan Diego Motato Betancur

Julián Valle Correa

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:  
Licenciado en Ciencias Naturales

Asesores

Dr. Ángel Enrique Romero Chacón.

Mg. Diana María Rodríguez Ramírez

Línea de Investigación:

Relaciones entre Historia, Epistemología y Enseñanza de las Ciencias

Grupo de Investigación:

Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza-ECCE

Universidad de Antioquia  
Facultad de Educación  
Licenciatura en Ciencias Naturales  
Medellín  
2024

<b>Cita</b>	(Motato Betancur & Valle Correa, 2024)
<b>Referencia</b>	Motato Betancur, J.D. & Valle Correa, J. (2024). <i>Controversias científicas como alternativa para promover el pensamiento crítico en contextos escolares. El caso de Watson y Crick vs Rosalind Franklin</i> . [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Grupo de Investigación Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza (ECCE).

Centro de Investigaciones Educativas y Pedagógicas (CIEP).



Centro de Documentación Educación

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **DEDICATORIA**

A quienes se inquietan por la educación y desean aprender, reflexionar y avanzar; a quienes sueñan con que la educación cumpla su rol de transformar realidades; a quienes sueñan con un mundo mejor y se comprometen con su construcción; a quienes la educación ha transformado sus vidas y su realidad. Para todos los profesionales que creen en la educación y en su poder, a ustedes dedicamos este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a nuestras familias, por comprender nuestras ausencias, por comprender que nos perdiéramos paseos y fechas especiales por estar soñando en transformar realidades. A nuestros amigos y compañeros, ya que juntos avanzamos, nos perdimos y nos encontramos, gracias por sus aportes. Gracias a nuestros colegas, a quienes nos motivaron a avanzar y persistir, por ustedes este sueño hoy es una realidad.

Gracias, de corazón.

## Tabla de Contenido

Resumen .....	7
Abstract .....	8
Introducción .....	9
<b>1. Planteamiento del problema .....</b>	<b>12</b>
<b>2. Justificación .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Objetivo general .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>4. Antecedentes .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1 Enseñanza del ADN.....</b>	<b>18</b>
<b>5. Marco Conceptual .....</b>	<b>26</b>
<b>5.1 La Naturaleza de las Ciencias (NOS) y su relación con la historia .....</b>	<b>26</b>
<b>5.2 El uso de la HC como recurso para la enseñanza de la NOS en contextos escolares .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3 Una Controversia socio-cultural: el caso de Watson &amp; Crick vs Rosalind Franklin .....</b>	<b>35</b>
<b>5.4 Pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias .....</b>	<b>37</b>
<b>6. Metodología .....</b>	<b>41</b>
<b>6.1 Paradigma investigativo y método .....</b>	<b>41</b>
6.2 El caso y su contexto .....	42
6.3 Técnicas e instrumentos de registro de la información .....	43
6.4 Sistematización y análisis de la información.....	45
6.5 Red de Categorías.....	46
6.6 Criterios de credibilidad.....	47
6.7 Propuesta pedagógica (secuencias didácticas) .....	49
6.8 Consideraciones éticas .....	54
<b>7. Hallazgos.....</b>	<b>55</b>

7.1 La controversia científica como facilitador para la comprensión del ADN y su estructura .....	55
7.2 La controversia científica como evidencia de la influencia de las relaciones interpersonales entre científicos para la construcción del conocimiento. ....	62
7.3 La controversia científica como estrategia para fortalecer las habilidades argumentativas, basado en los procesos dialógicos y dialécticos.....	72
<b>10. Conclusiones</b> .....	79
<b>11. Consideraciones finales y perspectivas del trabajo</b> .....	82
12.Referencias.....	84
<b>Anexos</b> .....	90
Anexo 1. Cuestionario KPSI .....	90
Anexo 2. Cuestionario de preguntas abiertas.....	92
Anexo 3. Matriz de análisis de datos.....	95

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> .....	18
<b>Tabla 2</b> .....	20
<b>Tabla 3</b> .....	24
<b>Tabla 4</b> .....	32
<b>Tabla 5</b> .....	45
<b>Tabla 6</b> .....	46
<b>Tabla 7</b> .....	47

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> .....	27
<b>Figura 2</b> .....	36
<b>Figura 3</b> .....	48
<b>Figura 4</b> .....	49
<b>Figura 5</b> .....	56
<b>Figura 6</b> .....	56
<b>Figura 7</b> .....	61
<b>Figura 8</b> .....	63
<b>Figura 9</b> .....	64
<b>Figura 10</b> .....	69
<b>Figura 11</b> .....	72
<b>Figura 12</b> .....	73

## Resumen

Este Trabajo de Grado se constituye en el informe final del proyecto de investigación adelantado por los autores en el marco de la Práctica Pedagógica de la Licenciatura en Ciencias Naturales, de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). Su objetivo fue analizar cómo el uso de controversias científicas puede servir como una alternativa para el fortalecimiento del pensamiento crítico en estudiantes de grado noveno, de la Institución Educativa Alfonso Upegui Orozco de la ciudad de Medellín. El proyecto planteó la importancia de incentivar posturas críticas de y sobre la ciencia. Dentro de los elementos discutidos se explicitaron algunos asuntos asociados al sesgo de género presentes en las dinámicas científicas, al igual que la diferencia de interpretación a un mismo fenómeno. Para la comprensión del fenómeno de estudio, se realizó una propuesta de aula basado en el enfoque didáctico y en prácticas científicas, en el cual se adelantó un ejercicio de recontextualización de la controversia acaecida entre Watson & Crick vs Rosalind Franklin sobre la estructura del ADN.

La metodología se basó en el paradigma cualitativo y el enfoque metodológico fue el estudio de caso instrumental. A partir del diseño e implementación de diversas técnicas como cuestionarios y grupos focales, fue posible identificar cambios en la perspectiva de los participantes sobre la ciencia. En particular se destaca la comprensión de elementos epistémicos asociados a la estructura del ADN, al igual que asuntos no epistémicos vinculados al rol de la mujer en la ciencia. Además, se identificó un refinamiento en los procesos discursivos (dialógicos y dialécticos) asociados al pensamiento crítico al momento de presentar posturas acerca del tema.

**Palabras clave:** Naturaleza de la ciencia, controversias científicas, estructura del ADN, pensamiento crítico y procesos discursivos.

## **Abstract**

This Degree Project constitutes the final report of the research project carried out by the authors within the framework of the Pedagogical Practice of the Bachelor's Degree in Natural Sciences, at the University of Antioquia (Medellín, Colombia). Its objective was to analyze how the use of scientific controversies can serve as an alternative to strengthen critical thinking in ninth grade students at the Alfonso Upegui Orozco High School in the city of Medellín. The project raised the importance of encouraging critical positions of and about science. Within the elements discussed, some issues associated with the gender bias present in scientific dynamics were made explicit, as well as the difference in interpretation of the same phenomenon. To understand the phenomenon of study, a classroom proposal was made based on the didactic approach based on scientific practices, in which an exercise of recontextualization of the controversy that occurred between Watson & Crick vs Rosalind Franklin on the structure of DNA was carried out.

The methodology was based on the qualitative paradigm and the methodological approach was the instrumental case study. Based on the design and implementation of various techniques such as questionnaires and focus groups, it was possible to identify changes in the participants' perspective on science. In particular, the understanding of epistemic elements associated with the structure of DNA is highlighted, as well as non-epistemic issues linked to the role of women in science. Furthermore, a refinement was identified in the discursive processes (dialogical and dialectical) associated with critical thinking when presenting positions on the topic.

**Keywords:** Nature of science, scientific controversies, DNA structure, critical thinking and discursive processes.



## Introducción

La enseñanza de las ciencias en Colombia atraviesa por grandes dificultades, algunas de ellas están vinculadas con el enfoque metodológico utilizado y actividades poco diversificadas que derivan en una enseñanza tradicional con una visión de la ciencia positivista. La metodología tradicional basada en la memorización y acumulación de conocimientos presenta grandes fallas al momento de adquirir habilidades en los estudiantes y se convierte finalmente en el cumplimiento de contenidos curriculares con poco significado para los estudiantes. Actualmente con la aparición de nuevos modelos educativos se exige la actualización del sistema educativo, para que este responda a las nuevas necesidades que el contexto exige, particularmente se reclama por una educación científica que involucre la necesidad de tomar conciencia, posturas y actitudes críticas, por esto es necesario que la educación promueva el pensamiento crítico, debates éticos, reflexiones ambientales y sociales, esto con el objetivo de evitar desarrollando un sistema educativo obsoleto que no brinda herramientas a los estudiantes para afrontar los desafíos del siglo XXI.

Debido a lo anterior, en este trabajo se plantea como posible solución el uso de controversias histórico-científicas que permitan al estudiante conocer la historia del proceso de construcción del conocimiento científico, sin embargo, se ve necesario aclarar que esta historia debe dejar de lado los anacronismos y realmente trascender a una historia socio cultural que permita a los estudiantes evidenciar asuntos epistémicos y no epistémicos que influyen en el proceso de construcción de conocimiento y a través de estas tensiones paralizan, modifican o se impulsa dicho proceso. La adecuada integración de las controversias histórico-científicas en el sistema educativo es necesaria para generar una educación científica que realmente promueva herramientas a los estudiantes para enfrentar los desafíos de este siglo. Sin embargo, es posible encontrar algunos desafíos al momento de implementar estos modelos, empezando con la posible resistencia al cambio en los profesores, directivos y otros al adoptar nuevos enfoques, además se destacaban la falta de recursos y formación docente, por último, la desarticulación de esta temática con los documentos curriculares enunciados por el Ministerio de Educación Nacional (MEN).

Teniendo en cuenta lo anterior, el MEN (2016), expresa que la educación en Colombia sigue anclada en un modelo tradicional que enfatiza en la memorización de datos sin fomentar la reflexión crítica ni la comprensión contextualizada de los conceptos. Esta carencia limita la capacidad de los estudiantes para desarrollar habilidades críticas y participar de manera informada en la sociedad. Frente a este panorama, surge las reflexiones metacientíficas

apoyadas en la historia como alternativa para resolver estos asuntos, en esta línea Cortez, Latorre y Hernández (2016) afirman que la historia proporciona un contexto para entender cómo se han desarrollado las ideas y teorías en el tiempo, así como las controversias y debates que las rodean, de este modo, la integración de esta perspectiva a contextos escolares se configura en una alternativa para promover una educación más contextualizada, crítica y relevante para los estudiantes, tal y como lo sostienen diversos autores contemporáneos (Aduriz-Bravo, 2002-2007; Acevedo, García y Aragón, 2016-2017; Izquierdo et al, 2016; Amador-Rodríguez, 2019; Rodríguez-Romero, 2023).

La inclusión de la historia y epistemología (HYE) de las Ciencias Naturales en la educación, es una alternativa para el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes. No se trata sólo de transmitir conocimientos sino de entender el contexto histórico en el cual se desarrollan los mismos y las razones o sucesos que envuelven el desarrollo de la ciencia entendiendo que, esta perspectiva, proporciona un contexto para entender cómo se construyen, se someten a validación y surgen los conocimientos. Un ejemplo de esto se evidencia en la controversia de la estructura del ADN<sup>1</sup>, donde Watson y Crick se encuentran enfrentados con Rosalind Franklin, en esta se pueden evidenciar asuntos epistémicos asociados con la forma y composición química del ADN y a la vez se evidencian asuntos no epistémicos como el papel de la mujer en la ciencia, las relaciones entre científicos, contexto socio-político, entre otros que se encuentran presentes en la controversia.

Teniendo en cuenta lo dicho hasta el momento se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los aportes del uso de la controversia científica acerca de la estructura del ADN, al desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de nivel medio?, con el fin de dar respuesta a esta pregunta se plantea el propósito de la investigación fue analizar la manera en la que el uso de controversias científicas acerca de la estructura del ADN podría favorecer el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de noveno grado de una institución educativa del municipio de Medellín.

Para el análisis e interpretación de la información, se examinaron los enunciados, participaciones, aportes y posturas de diez estudiantes a través del análisis de contenido, donde se reveló cómo los estudiantes integran aspectos epistémicos y no epistémicos presentes en la controversia trabajada. Esto, contribuye a una comprensión más profunda de la naturaleza de la ciencia (NOS<sup>2</sup>) contextualizando el conocimiento científico y promoviendo la formación de

---

<sup>1</sup> Ácido desoxirribonucleico

<sup>2</sup> NOS hace referencia a Naturaleza de las ciencias NDC, por sus siglas en inglés se presenta como NOS Nature of Science

ciudadanos críticos y éticamente responsables, capaces de enfrentar los desafíos científicos y tecnológicos de la sociedad contemporánea.

## 1. Planteamiento del problema

Según Martínez (2018), "la educación en Colombia sigue anclada en un modelo tradicional que enfatiza la memorización de datos sin fomentar la reflexión crítica ni la comprensión contextualizada de los conceptos" (p.3). Esta carencia limita la capacidad de los estudiantes para desarrollar habilidades críticas y participar de manera informada en la sociedad.

El área de Ciencias Naturales se identifica como una de las áreas fundamentales en el sistema educativo (MEN, 2006); sin embargo, se evidencian problemas significativos en su enseñanza, especialmente en lo que respecta al desarrollo del pensamiento crítico y la comprensión contextualizada de la naturaleza del conocimiento científico.

Como se viene discutiendo, en algunos contextos escolares el enfoque curricular del área de Ciencias Naturales tiende a centrarse en la transmisión de contenidos conceptuales, dejando de lado aspectos fundamentales como la historia y epistemología de las ciencias (Campanario & Moya, 1999). Esta falta de atención al contexto histórico y epistemológico del conocimiento científico limita la comprensión de los estudiantes sobre la NOS y su capacidad para desarrollar un pensamiento crítico sólido.

Procesos deficientes, hacen que no se considere el desarrollo de la historia y epistemología de las ciencias en la enseñanza de las Ciencias Naturales se refleja en una educación descontextualizada y centrada únicamente en la memorización de hechos y fechas (Cortez, Latorre, & Hernández, 2016). Este enfoque tradicional no promueve la reflexión crítica ni la comprensión de cómo se construye y valida el conocimiento científico en el contexto histórico y social.

La ausencia de una perspectiva histórica contribuye a la desconexión entre los conceptos académicos y la realidad de los estudiantes, perpetúa estereotipos y prejuicios, y restringe el desarrollo de habilidades críticas esenciales para el pensamiento crítico y la participación ciudadana (García y Aragón, 2016-2017)

Con lo que se ha mencionada hasta aquí, se hace necesario destacar la influencia de la historia de la ciencia HC<sup>3</sup>, en esta línea, Cortez, Latorre y Hernández, (2016) afirman que "la historia proporciona un contexto para entender cómo se han desarrollado las ideas y teorías a lo largo del tiempo, así como las controversias y debates que las rodean" (p.4). Integrar la historia y el contexto sociohistórico en el currículo escolar es fundamental para promover una

---

<sup>3</sup> Historia de la Ciencia, HC de aquí en adelante.

educación más contextualizada, crítica y relevante para los estudiantes, como lo sostienen diversos autores contemporáneos. Un hecho histórico que permite ejemplificar las bondades de las reflexiones históricas es la controversia científica que ha suscitado el descubrimiento del ADN, dado que a Rosalind Franklin no le fue otorgado el reconocimiento que se merecía entre otros asuntos, por la cultura sexista y prejuicios existentes en aquella época dejando de lado el rol y papel de la mujer en tan magno descubrimiento; no obstante, en años posteriores es que su papel en el descubrimiento del ADN ha sido reconocido sin que esta parte de la historia adquiera la notoriedad necesaria y se invite a la reflexión histórica de cómo grandes descubrimientos han sido manipulados y controlados reprimiendo el papel de la mujer en estos. Este hecho sin lugar a duda debe dar lugar a un análisis histórico y por ende permitir la reflexión crítica en los estudiantes.

Con base en lo anterior, de acuerdo con lo expuesto por García-Huidobro y Cox (2018), "en el contexto actual de la educación colombiana, es crucial adoptar enfoques pedagógicos que no solo promuevan el desarrollo de habilidades académicas, sino que también fomenten el pensamiento crítico, la creatividad y la capacidad de adaptación ante un mundo en constante cambio"(p.28) esto permite que las personas puedan reflexionar acerca de su realidad con argumentos concretos y posteriormente, generar estrategias para mejorar sus condiciones en un contexto determinado. Esta perspectiva resalta la necesidad de implementar estrategias que preparen a los estudiantes para enfrentar los desafíos del siglo XXI y contribuir de manera activa al desarrollo de la sociedad colombiana.

A partir de las dificultades planteadas anteriormente, resulta crucial abordar estas problemáticas con estrategias pedagógicas que permitan superar las limitaciones del enfoque educativo actual. Se propone así desarrollar un enfoque didáctico basado en prácticas científicas que fomenten la participación de los estudiantes en ejercicios contextuales a partir de situaciones de la vida cotidiana y de aspectos históricos basados en controversias científicas; con el ánimo de comprender el contexto en los cuales surge el mismo, el impacto que tiene para los actores que participan y para la humanidad en sí, además de las repercusiones futuras que de ellos pudieran derivarse.

En el desarrollo de la práctica pedagógica, se han observado algunas actitudes y situaciones que invitan al análisis y se relacionan con la propuesta investigativa que aquí se presenta. Se ha observado cómo el adelanto de algunos temas en el área de Ciencias Naturales que invitan al debate genera mayor interés, mayor curiosidad y más participación por parte de los estudiantes, que aquellas actividades que se limitan a la socialización de conocimientos. Es de anotar que existen algunos temas que pueden despertar poco interés y motivación en los

estudiantes tales como la memorización de conceptos relacionados con el ADN en la cual no se evidencia la evolución del conocimiento científico. esto puede deberse a ciertas inclinaciones particulares, no obstante, el hecho de acudir a diversas estrategias puede favorecer en gran medida a resignificar la forma en que los estudiantes participan de los procesos de aprendizaje y la manera de exponer el conocimiento en el aula.

## 2. Justificación

Las Ciencias Naturales, es un área fundamental del sistema educativo colombiano que se orienta en diversos niveles de educación. Algunos de sus contenidos representan un desafío para los estudiantes quienes en muchas ocasiones no demuestran interés ni agrado por adquirir los conocimientos presentados en dicha área; es así que debido a dificultades detectadas en la enseñanza de las Ciencias Naturales y la posibilidad de establecer relación de éstas con el desarrollo del pensamiento crítico y la comprensión contextualizada de la naturaleza del conocimiento científico, se considera necesario intervenir esta situación con el ánimo de mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje.

La inclusión de la HYE de las Ciencias Naturales en la educación es una alternativa para el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes. No se trata sólo de transmitir conocimientos sino de entender el contexto histórico en el cual se desarrollan los mismos y las razones o sucesos que envuelven el desarrollo de la ciencia entendiendo que, esta perspectiva, proporciona un contexto para entender cómo se construyen, se someten a validación y surgen los conocimientos; al realizar este tipo de análisis, se promueve un pensamiento crítico más profundo y reflexivo, se fortalecen habilidades de argumentación y análisis, y se genera una comprensión más amplia y contextualizada de la ciencia y su proceso de construcción.

Este enfoque histórico basado en controversias científicas se presenta como un insumo para promover el desarrollo de habilidades del pensamiento crítico en los estudiantes; además el reconocer el rol de la mujer en hechos históricos significativos invita a fortalecer la autoestima y la capacidad de participar en la ciencia sin restricción de género, enfatizando en la importancia de resignificar el rol de género en el mundo actual. Se espera que esta estrategia despierte el interés de los estudiantes por adquirir conocimientos científicos, generando un impacto positivo en su proceso de aprendizaje. Como sugiere Bonet (2005), la historia y filosofía de las ciencias ofrecen recursos importantes para iniciar un diálogo desde la ciencia escolar, introduciendo a los estudiantes en actividades científicas llevadas a cabo por personas "reales", con sus propias motivaciones y expectativas.

La historia narrada a través de controversias científicas como dinamizador de las clases, se justifica no solo por su capacidad para mejorar la comprensión de los estudiantes sino también por su potencial para generar interés y mejorar actitudes crítico-argumentativas, contribuyendo así a la formación de ciudadanos reflexivos capaces de enfrentar diversas situaciones (Pabón & Muñoz, 2014). Esta estrategia pedagógica ofrece una oportunidad para

enriquecer el proceso educativo y abordar de manera efectiva las deficiencias identificadas en el sistema educativo colombiano.

En el contexto actual de la educación colombiana, donde se busca promover una formación integral de los estudiantes y prepararlos para enfrentar los desafíos de un mundo cada vez más complejo y cambiante, resulta imperativo adoptar enfoques pedagógicos innovadores que potencien el desarrollo de habilidades cognitivas, críticas y socioemocionales; sumado a ello reconocer que existen controversias científicas otorga a través de la reflexión mayor credibilidad al proceso entendiendo el mismo como algo disciplinar en el cual confluyen múltiples actores. La introducción de controversias científicas como herramienta didáctica no solo contribuye a enriquecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en el área de Ciencias Naturales, sino que también sienta las bases para una educación más participativa, reflexiva y centrada en el estudiante, alineada con los principios de una sociedad democrática y pluralista. Por tanto, la implementación de estas estrategias no solo beneficiará el desarrollo académico de los estudiantes, sino que también promoverá su formación como ciudadanos activos y críticos, capaces de contribuir positivamente al progreso de la sociedad colombiana.

Dado a todo lo anterior, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los aportes del uso de la controversia científica acerca de la estructura del ADN, al desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de nivel medio?



### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Analizar la manera en que el uso de controversias científicas acerca de la estructura del ADN favorece el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de noveno grado de una institución educativa del municipio de Medellín.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Examinar los cambios en los procesos discursivos de los estudiantes (asociados a la comprensión de la estructura del ADN), a partir del diseño de una secuencia didáctica fundamentada en la controversia científica entre Rosalind Franklin y Watson-Crick.
- Identificar las contribuciones de una secuencia didáctica fundamentada en la controversia científica sobre la estructura del ADN, al desarrollo de habilidades asociadas al pensamiento crítico en estudiantes de noveno grado.

#### 4. Antecedentes

Se seleccionaron 13 unidades de análisis, (entendidas como todo aquel material bibliográfico de interés), que se distribuyen en artículos científicos de revista, tesis de grados, libros, entre otras, las cuales fueron extraídas de bases de datos como Dialnet, Scielo, Redalyc y motores de búsqueda como Google Académico, cuyo rango temporal es de once años (entre el 2012 hasta el 2023) y se usaron las siguientes palabras clave y ecuaciones de búsqueda: controversias científicas para la enseñanza, scientific controversies for teaching, argumentación y enseñanza, argumentation and teaching, enseñanza del ADN, DNA teaching, pensamiento crítico en la enseñanza, critical thinking in teaching, naturaleza de las ciencias, nature of science. A partir de las unidades de análisis, se definen tres núcleos temáticos: Enseñanza del ADN, controversias histórico-científicas en la enseñanza de las ciencias y uso de la historia a través de controversias científicas para las habilidades del pensamiento crítico; en la información se tiene en cuenta las ecuaciones de búsqueda, el contexto en el cual se desarrolla (internacional, nacional o regional-local) para luego realizar un análisis por núcleo temático y su aporte a la presente investigación.

##### 4.1 Enseñanza del ADN

Al realizar la búsqueda en las bases de datos descritas anteriormente, se hallan cinco unidades de análisis de las cuales se seleccionaron tres, las cuales cumplían con criterios como la vigencia y desarrollo en contextos escolares. En la tabla 1, se describen algunos elementos relevantes.

**Tabla 1**

*Núcleo temático 1 Enseñanza del ADN*

<b>Referentes</b>	<b>Contexto temporal</b>	<b>Espacial</b>	<b>Motor de búsqueda</b>
Cortez, Latorre y Hernández	2016	Colombia	Dialnet
Bustos, García y Hernández	2017	Colombia	Dialnet
Branton	2012	Estados Unidos	ProQuest

*Nota:* fuente, elaboración propia.

De estas unidades de análisis, dos son halladas en el contexto nacional y una coincidencia específica en el panorama internacional. Es importante tener en cuenta el contexto colombiano ya que es en el mismo donde se realiza esta investigación; esto es relevante porque

se da a entender que hay cierto interés en estudiar cómo se da la enseñanza de este concepto desde distintas perspectivas y cómo se dinamiza o cambian estos modelos de enseñanza, haciendo énfasis en la historia que es propia de este trabajo. Las unidades de análisis son recientes, datan de 8 años atrás, no obstante, también indican que no se hayan otros trabajos similares y da cuenta de cierta área de vacancia en esta propuesta en cuanto a tema de estudio.

Cortez, Latorre y Hernández (2016), presentan una propuesta didáctica para la enseñanza del ADN en estudiantes de educación media; en esta fue posible concluir que la enseñanza de las ciencias a través del componente histórico no solo favorece y minimiza la fractura conceptual, sino que posibilita el análisis de los protagonistas y situaciones de carácter social, político y económico determinantes en el momento de la deducción de la estructura del ADN.

Los autores exponen que hay conceptos muy abstractos que pueden tornar la enseñanza de las ciencias como algo monótono y sugieren el aprovechamiento de la historia de las ciencias como un componente más dinámico en las aulas de clase. Lo anterior, nace como una propuesta didáctica para la Maestría en Didáctica de las Ciencias de la Fundación Universidad Autónoma de Colombia y es dirigida a estudiantes de educación media (Cortez, Latorre y Hernández, 2016)

Bustos, García y Hernández (2017), pretenden describir la experiencia al utilizar un enfoque histórico de la ciencia para enseñar la temática de ADN en grado séptimo del colegio Marsella en Bogotá, Colombia. Se implementó una unidad didáctica, que permitió que los estudiantes evidenciaran algunos personajes que dieron lugar al conocimiento actual que se tiene del ADN, además de reconocer el rol de la mujer en estos sucesos y se reflexiona en torno al contexto histórico y su importancia para el desarrollo de la ciencia.

Por otro lado, Branton (2012) menciona que una enseñanza basada en la investigación respecto al ADN promueve un mejor desarrollo del conocimiento en este concepto que las clases tradicionales. Las actividades basadas en la investigación fueron presentaciones en powerpoint, experimentos, notas guiadas y hojas de trabajo en donde posteriormente fueron evaluados ambos grupos tanto en una prueba de conocimientos previos antes de la ejecución de la secuencia y de los conocimientos finales. Los resultados arrojaron en estas pruebas fueron significativamente más altas que los estudiantes en las clases tradicionales.

Los autores, consideran que la Naturaleza de las ciencias (NOS) como perspectiva de enseñanza de las Ciencias Naturales, ofrece diversas posibilidades de trabajo escolar dado que

la ciencia es presentada como una actividad humana relacionada con aspectos sociales, políticos, económicos y culturales; de ahí su impacto en el contexto en el cual se desarrolla. Además, el estudio de la NOS se convierte en una posibilidad para fortalecer diversas habilidades al interior del aula y permitir al docente fortalecer su rol en el ejercicio de su labor educativa.

Los aportes de las unidades de análisis son significativos en cuanto a la estrecha relación del eje temático y los hallazgos, dado que dan pie para soportar el presente trabajo. Aspectos como la NOS como una perspectiva de enseñanza de las Ciencias Naturales y sus posibilidades de trabajo escolar en la educación básica secundaria es relevante, dado que no sólo favorece, sino que propende por la calidad conceptual y facilita el análisis de los protagonistas y su rol en los diferentes contextos en los cuales se dio la deducción de la estructura del ADN. Más allá del dominio conceptual que pueda darse, se invita a los estudiantes a reflexionar acerca de la importancia de los contextos históricos, socioculturales y políticos que influyen de manera directa en los descubrimientos científicos; un hecho significativo que cabe destacar, es reconocer el rol de la mujer en estos sucesos y su importancia para el desarrollo de la ciencia, invitando a que los estudiantes a que valoren que el reconocimiento científico puede darse más allá del género, no obstante, los contextos históricos y culturales influyen en gran medida en que se asuman éstos. En las unidades de análisis, se destaca la implementación de propuestas didácticas como estrategia significativa que motiva y favorece el aprendizaje.

#### 4.2 Controversias histórico-científicas en la enseñanza de las ciencias

Al realizar la búsqueda en las bases de datos descritas al inicio de este apartado, se seleccionaron 4 unidades de análisis. En la tabla 2, se describen algunos elementos relevantes.

**Tabla 2**

*Núcleo 2 Controversias histórico-científicas en la enseñanza de las ciencias*

<b>Referentes</b>	<b>Contexto temporal</b>	<b>Espacial</b>	<b>Motor de búsqueda</b>
Díaz y Jiménez	2012	España	Redalyc
Aragón, Acevedo y García.	2018	España	Redalyc
Acevedo, García y Aragón	2017	España	Redalyc
Muñoz	2020	Colombia	Redalyc
Dunlop y Veneu	2019	Inglaterra	Eric

*Nota:* fuente, elaboración propia.

Al analizar en conjunto las cinco unidades de análisis que componen este núcleo temático, se evidencia que un punto común de los autores es el análisis que se realiza al conocimiento en aras de que el mismo sea contextualizado y por ende reflexionado; para ellos, el conocimiento debe ser validado y asumido por el grupo social en el cual se desarrollan cada una de las investigaciones posterior a este proceso de análisis.

Díaz y Jiménez (2012) exponen la definición de controversia socio-científica y estudian la relación existente entre las temáticas de controversias que surgen en la prensa y en la literatura didáctica y su uso posible en el contexto escolar. Como metodología recurren al análisis documental. A manera de conclusión, se evidencia que en la actualidad debido a los acuerdos científicos se hace más compleja la aparición de controversias científicas lo que dificulta a los docentes trabajar sobre las controversias, por ello es necesario generar actividades que permitan generar interés en el alumnado; es así como, es necesario contar con conocimientos científicos que permitan hacer frente a las nuevas fronteras científicas que surgen en la actualidad.

También en España en la Universidad de Sevilla, Aragón, Acevedo y García (2018) abordan la comprensión de la naturaleza de las ciencias (NOS) por parte de estudiantes de bachillerato y profesorado, pero en este caso, tratan la controversia de Watson & Crick vs Rosalind Franklin, controversia que es de interés en este artículo. Los autores en este trabajo realizan un estudio comparativo del aprendizaje de la NOS mediante la lectura de la controversia entre el profesorado de biología y geología de la Universidad de Cádiz y estudiantes de 2º de bachillerato de una institución secundaria de Cádiz. Esta lectura recoge fragmentos del papel de Rosalind Franklin con la intención de mostrar el lado humano de la ciencia que conlleva las ideas, reflexiones, entre otros aspectos.

Los resultados globales revelan que los dos colectivos de estudiantes alcanzaron una mejoría notable en la comprensión de los aspectos de NOS tratados, lo que pone de manifiesto el potencial didáctico de la actividad para aprender sobre NOS. No obstante, también reflejan algunas diferencias cualitativas entre los estudiantes del Máster Universitario en profesorado de Educación secundaria (MAES<sup>4</sup>) y los estudiantes de segundo grado de bachillerato (BAC) (Aragón, Acevedo y García, 2018, p. 769)

---

<sup>4</sup> La sigla hace referencia a Máster Universitario en profesorado de Educación secundaria, MAES por sus siglas en inglés tal y como se presenta en el documento original.

Los autores señalan que, en los resultados, resaltan la influencia que tuvo el grupo clase, dado que allí se debatieron las ideas de los grupos que fueron plasmadas en los informes iniciales.

Acevedo, García y Aragón (2017), pretenden explicar la naturaleza de las ciencias NOS a través de la disgregación en dos componentes: aspectos epistémicos y no epistémicos de la naturaleza de las ciencias en donde evaluaron unas propuestas, las cuales consistían en la implementación de textos con contenido de controversias científicas para observar que tan viables pueden ser para la implementación en grados de secundaria. Este trabajo se divide en cuatro momentos principales: El primero trata de analizar las principales tendencias acerca de la introducción de la NOS a la educación científica; el segundo trata del uso de las controversias científicas como herramienta para la enseñanza en este trabajo de grado; en tercer lugar se organizan los aspectos epistémicos y los no epistémicos para aplicar a la propuesta; por último se indican los aspectos metodológicos y las propuestas evaluativas para identificar las dificultades que tuvieron los estudiantes.

Dentro de las conclusiones, señalan que una comprensión más amplia sobre la naturaleza de las ciencias se puede dar en contextos complementarios al de la historia de la ciencia “(...) junto al análisis de controversias de HDC<sup>5</sup>, sería interesante analizar controversias científicas actuales, a fin de que los estudiantes encuentren similitudes y posibles diferencias entre ellas respecto a determinados aspectos de NOS (Acevedo, García y Aragón, 2017, p. 154) los autores además proponen formular preguntas que inviten al análisis del por qué un mismo fenómeno puede tener varias miradas; este artículo permite identificar asuntos relevantes para esta investigación, en particular que podría constituirse como una estrategia para el desarrollo del pensamiento crítico.

Otra investigación relevante es la de Muñoz (2020), quien trabajó con estudiantes de pregrado para la formación docente en matemáticas y física de la Universidad de Antioquia; allí crean una propuesta pedagógica para la formación ciudadana y reflexiones meta-científicas a raíz de la controversia entre Ptolomeo y Galileo de los sistemas planetarios; la autora sugiere que la sociedad más allá de formar personas con conocimientos científicos fundamentados, debe favorecer unas habilidades sociales desarrolladas que permita una convivencia más armónica entre las personas. En este trabajo se reprocha que los conocimientos y esta misma formación ciudadana se enseñan desde unos cimientos dogmáticos donde aquellos

---

<sup>5</sup> Historia de la Ciencia

conocimientos son ajenos a una realidad social, lo que sería descontextualizado para lo que se requiere con el alumnado.

Por último Dunlop y Veneu (2019) trabajaron con 18 profesores de Inglaterra en diferentes etapas de su carrera en dónde a través de entrevistas semiestructuradas, encontraron una carencia del uso de las controversias socio-científicas e históricas durante sus clases; los autores, mencionan que cómo tal las usan pero de una manera complementaria para explicar ciertos datos, pero que no es un pilar clave para enseñar las temáticas abordadas y las tratan de manera informal fuera del plan de estudios ya que daban prioridad al contenido disciplinar. Los investigadores sugieren que abordar las controversias socio-científicas e históricas ayudan a comprender las ciencias y la naturaleza de las ciencias tanto en profesores como en estudiantes y también que sería importante tener en cuenta estas controversias para el diseño de las mallas curriculares inglesas.

Dentro de las conclusiones se resalta la relación entre la formación ciudadana y la formación científica dada la necesidad de reflexión sobre la naturaleza social de los seres humanos, al considerar que los conceptos científicos son tan importantes como las formas de construcción, validación y la relación de estos con la sociedad.

Según estas unidades de análisis, se examina el rol de las controversias histórico científicas en los procesos de desarrollo de la ciencia, es así como la NOS contribuye a comprender el porqué de un concepto, su evolución histórica, los protagonistas que se involucran en dicho estudio, su naturaleza y la incidencia que puede tener en un contexto determinado. Este análisis permite ir más allá que el simple aprendizaje del concepto, por el contrario, permite comprender el mismo desde una perspectiva integradora facilitando su comprensión. Para los autores de cada una de las unidades de análisis, el contexto juega un papel determinante en la adquisición de los aprendizajes y el desarrollo de las controversias científicas, dado que es el mismo contexto quien puede generar en la mayoría de los casos el surgimiento de las controversias que en otros espacios o con otros autores no brotarían.

### **4.3 Uso de la historia a través de controversias científicas para las habilidades del pensamiento crítico**

Al realizar la búsqueda en las bases de datos descritas al inicio de este apartado, se seleccionaron 3 unidades de análisis. En la tabla 3, se describen algunos elementos relevantes.

**Tabla 3**

*Uso de la historia a través de controversias científicas para las habilidades del pensamiento crítico*

<b>Referentes</b>	<b>Contexto temporal</b>	<b>Espacial</b>	<b>Motor de búsqueda</b>
Lopez	2012	México	Dialnet
Archila y Truscott	2020	Colombia	Springer link
Giri y Paily	2020	India	Eric

*Nota:* fuente, elaboración propia.

Para este núcleo temáticos, los hallazgos no fueron significativos en cantidad, dado que se destaca sólo tres unidades de análisis específicas. No obstante, de manera indirecta en los núcleos de análisis se observa la relevancia del estudio de los casos como estrategia para el desarrollo del pensamiento crítico. No fue posible hallar otro tipo de información relacionada con el uso de controversias científicas para el desarrollo del pensamiento crítico; sin embargo, en estas unidades de análisis se soporta que las controversias científicas permiten conocer el origen, el desarrollo histórico, los escenarios y contexto que dieron lugar al surgimiento de un concepto o descubrimiento, lo cual sin lugar dudas contribuye a adquirir argumentos confiables en cuanto a toma de posturas frente al surgimiento de la ciencia y del conocimiento en general.

En México en la Universidad autónoma del estado de Morelos se destaca el aporte de López (2012), la autora expone la importancia del desarrollo de habilidades del pensamiento crítico en la escuela para los estudiantes tanto en su vida académica como personal. En este estudio, se menciona que en la escuela se enseña cómo el enfoque pedagógico se dirige a la adquisición de conocimientos disciplinares donde estos desarrollan las capacidades cognitivas e intelectuales del alumnado pero que, aunque se incorporan postulados de otros autores, no es posible garantizar el desarrollo del pensamiento crítico con esta misma pedagogía. El objetivo de la escuela no debe ser solo la adquisición de estos conocimientos disciplinares, sino también que el estudiante tenga autonomía intelectual, responsable de su crecimiento y desarrollo cognitivo.

Dentro de las conclusiones, López (2012) considera que es un desafío para las instituciones de cualquier nivel educativo implementar estrategias de enseñanza para el desarrollo de habilidades cognitivas, metacognitivas y disposicionales que favorezcan en el estudiante el desarrollo del pensamiento crítico.



Por otro lado, están Giri y Paily (2020) hablan de la importancia de la argumentación científica para promover el pensamiento crítico. Ellos investigaron la efectividad del patrón argumental de Toulmin en la argumentación científica y quisieron verificar que tan efectivo es enseñar ciencias bajo una mirada argumental, además su intención fue promover de una mejor manera el pensamiento crítico que en una enseñanza bajo una mirada tradicional. En donde trabajaron con 50 estudiantes de duodécimo grado en donde lo dividieron en dos grupos, uno con la enseñanza bajo una mirada argumental y otro bajo enseñanza tradicional. Los resultados que obtuvieron es que es más levemente más eficaz el desarrollo del pensamiento crítico en el grupo con la mirada argumental. Si bien no es un artículo que mencionen controversias histórico-científicas, tratan de dos aspectos fundamentales en este trabajo y son la argumentación y el pensamiento crítico.

Por último, es importante mencionar a Archila y Truscott (2020) quienes utilizan la controversia histórica acerca de la fiebre puerperal por Philipp Semmelweis, ya que, en el siglo XIX el riguroso lavado de manos fue un elemento clave para controlar esta enfermedad. El objetivo de los investigadores con esto es que el caso de Semmelweis y la fiebre puerperal, la consideran como una controversia científica histórica crucial que puede usarse como trampolín para promover la argumentación de los estudiantes universitarios. Esto surge debido a las necesidades de la Organización para el desarrollo económico y cooperativo (OCDE) donde sugieren invertir más esfuerzos en promover la argumentación como componente esencial para la ciudadanía. Este estudio se realizó a través de grabaciones y respuestas escritas en 124 estudiantes de biología en donde también se realizaron debates donde se promueve el pensamiento crítico y la argumentación.

En cuanto a la enseñanza del ADN en contextos escolares, se encuentran mayormente estudios relacionados con los asuntos epistémicos y no abordan asuntos de la controversia. No obstante, la naturaleza de las ciencias se convierte en una oportunidad para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula a partir del análisis y trabajo con la historia de la ciencia a través de controversias histórico-científicas.

Con base en lo expuesto anteriormente, es posible afirmar que, se cuenta con información relevante acerca del uso de controversias histórico-científicas dónde toman situaciones o problemáticas científicas modernas y controversiales más no relacionadas con el desarrollo del pensamiento crítico; sin embargo, este uso de las controversias se toma cómo una de las mejores maneras de narrar la historia de la ciencia en la escuela y se relaciona con el desarrollo de habilidades del pensamiento crítico cómo los procesos argumentativos.

Los antecedentes mencionados reafirman que el estudio de las ciencias a partir de su historia favorece el desarrollo del pensamiento crítico al permitir la reflexión y el análisis de hechos en contextos determinados; la estrategia del uso de controversias histórico-científicas para el desarrollo del pensamiento crítico es el escenario ideal para el trabajo con estudiantes y alcanzar las metas definidas en esta propuesta investigativa. Los aportes de las diferentes unidades de análisis favorecen la reflexión y el reconocimiento del ADN como un tema de posible interés para los estudiantes, ya que, por un lado permite reconocer la estructura de base de los seres vivos y la discusión del ADN como estrategia para promover el aprendizaje y la implementación de propuestas didácticas que impactan en el entorno escolar y, por el otro, el uso de las controversias en el aprendizaje de las ciencias como manera de conocer el origen de los sucesos y su trasegar histórico.

## **5. Marco Conceptual**

En este apartado se encuentran los distintos referentes teóricos bajo los cuales se sustenta este trabajo. Está dividido en cuatro núcleos temáticos que se enlazan entre sí para comprender el fenómeno de estudio de una forma holística. Se discutirá sobre: la Naturaleza de las Ciencias (NOS) y su relación con la historia, el uso de la HC como recurso para la enseñanza de la NOS en contextos escolares, una Controversia socio-cultural: el caso de Watson & Crick vs Rosalind Franklin, pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias.

### **5.1 La Naturaleza de las Ciencias (NOS) y su relación con la historia**

Para comprender el papel que juega la NOS en este trabajo y cómo puede ser discutida a través de la HC, se hace necesario presentar algunas definiciones rastreadas en la literatura. Para Adúriz- Bravo (2001) la NOS es el “conjunto de contenidos meta científicos con valor para la educación científica” (p. 3). lo cual se considera relevante, ya que según el mismo autor menciona que este concepto es asociado con contenidos que son meramente científicos y relacionados con la actividad curricular.

Para lograr esta relación de la NOS, apoyada u auxiliada por la historia, primero se debe entender la definición que de la NOS se presentan desde diversas miradas. Adúriz-Bravo (2007), define la NOS como “conjunto de contenidos meta científicos con valor para la educación científica (...) provenientes principalmente de la filosofía de la ciencia y en menor medida de la historia y sociología de la ciencia, seleccionados intencionadamente por su valor para la educación científica” (p.12) lo cual se considera relevante dado que el autor hace una

crítica a la forma tradicional del currículo y propone que se otorgue relevancia al contexto histórico y sociológico que lo genera sin que se descuide el carácter científico, por el contrario su aporte pretende integrar dichos elementos como estrategia para robustecer su impacto.

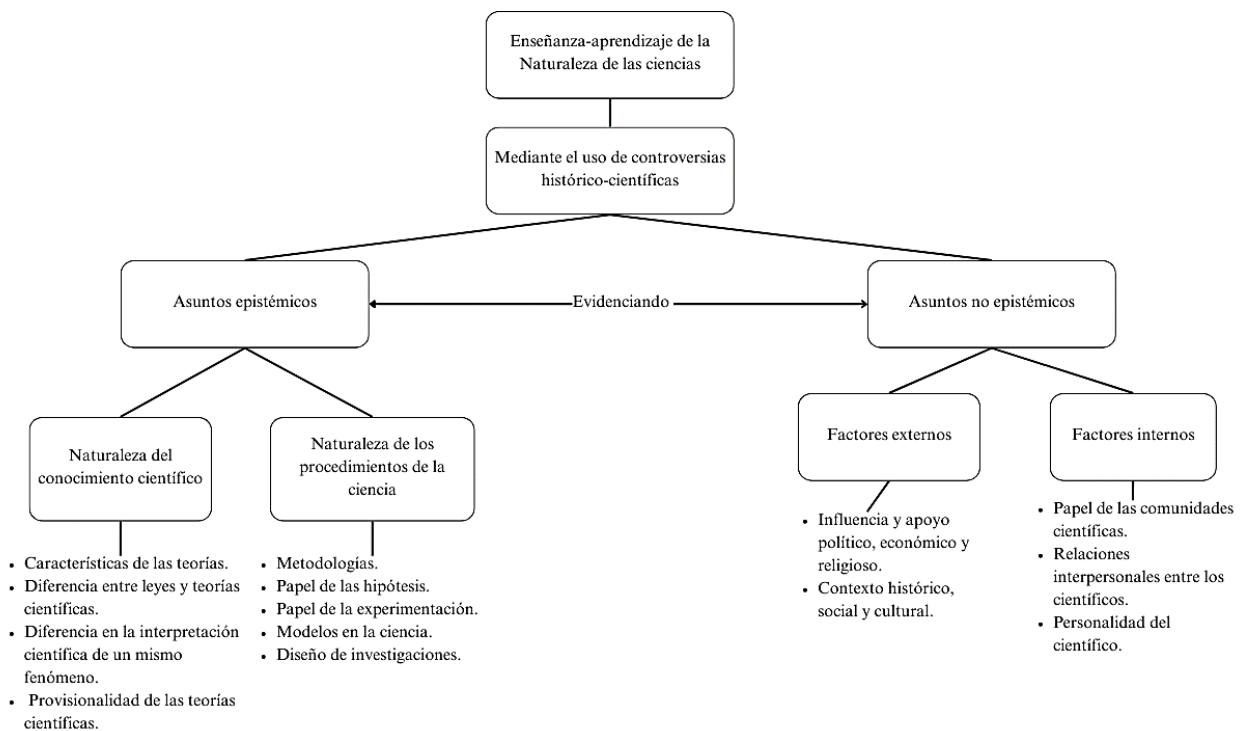
De otro lado Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo (2007) definen la NOS como “[...] un conjunto de contenidos provenientes principalmente de la filosofía de la ciencia y en menor medida de la historia y sociología de la ciencia, seleccionados intencionadamente por su valor para la educación científica” (p.29) bajo esta mirada, los autores privilegian es el análisis epistemológico, su naturaleza, sin considerar tan relevante aspectos históricos o sociológicos.

Por otro lado, también se retoma la definición de Acevedo y García (2016) que definen la NOS como “(...) un meta-conocimiento sobre la ciencia, que surge de las reflexiones interdisciplinarias hechas desde la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia por expertos en estas disciplinas, así como por algunos científicos y educadores de ciencias” (p.205), los autores dejan claro que el concepto de NOS es dinámico y se manifiesta de varias maneras, por lo cual es difícil definir con precisión su concepto, no obstante es posible afirmar “(...) que trata de todo aquello que caracteriza a la ciencia como una forma especial de construcción de conocimiento” (Acevedo y García, 2016, p.205)

Siguiendo esta línea, los autores proponen como una forma de incluir la NOS en contextos de formación la disgregación de las reflexiones meta científicas en dos elementos; elementos epistémicos y no epistémicos.

### **Figura 1**

*Enseñanza- Aprendizaje de la NOS*



*Nota:* En la ilustración se presenta una descripción de los componentes del proceso de Enseñanza- Aprendizaje de la NOS. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Acevedo-Díaz & García-Carmona (2017) y Rodríguez-Ramírez y Romero-Chacón (2023).

Los asuntos epistémicos se pueden definir como aquellos que se enfocan en el contenido disciplinar en donde se tienen en cuenta los trabajos en lo concerniente a la construcción del conocimiento, teorías, construcciones conceptuales, entre otros. En este trabajo los asuntos epistémicos que se resaltan es el trabajo colaborativo entre las comunidades científicas cómo lo son el trabajo de Rosalind Franklin en la Universidad de Cambridge en la elaboración de la fotografía 51 (ver *Ilustración 2*) dado que en ella se fundamenta la postura de Rosalind Franklin frente a la estructura del ADN, su composición (bases nitrogenadas) y como éstas se enlazan formando la doble hélice. También otro asunto epistémico que resaltar es el mismo trabajo de Watson & Crick con sus modelos de ADN y la presentación del modelo final que les otorgó el premio nobel de fisiología o medicina de 1953. Estos dos asuntos se desarrollan más adelante en este trabajo.

Los asuntos no epistémicos son aquellos elementos que discuten y explicitan factores internos y externos a la ciencia, así como la influencia directa de éstos en la forma como se construye y valida el conocimiento científico. Algunos de ellos son, los factores políticos, rol de la mujer en la ciencia relaciones interpersonales entre los científicos y cómo influyen estas dos últimas en las relaciones de ciencia y género (Rodríguez y Romero, 2023 tomado de Acevedo, et al. 2017). Un ejemplo de estos elementos se puede evidenciar en la controversia

sobre la estructura del ADN, en particular las situaciones que se desarrollaron ante el presunto robo de la fotografía 51 de la Universidad de Cambridge por parte del laboratorio de Cavendish, otro asunto, que se explicita es la invisibilización del trabajo de Rosalind Franklin por asuntos de género (invisibilización el rol de la mujer en la ciencia [Valls-Llovet, 2016] y las barreras que han obstaculizado el acceso de la mujer a la misma [Waksman, 2005] debido a sesgos o concepciones), así como también, la relación entre Rosalind Franklin, Watson & Crick, Raymond Gosling y Maurice Wilkins.

Con base en lo descrito anteriormente, se detectan tensiones en cuanto a la definición de la NOS dado que en la primera se privilegia el análisis epistemológico, mientras que en la segunda centra la atención en el papel del contexto histórico y sociológico. Sin duda, este panorama presenta de forma muy resumida un tema que ha sido objeto de investigación desde hace años, sin embargo, dado las intenciones de este trabajo se encuentra afinidad por la definición que presenta los autores Acevedo-Díaz & García-Carmona (2017), ya que identifica en esta perspectiva una línea potente para llevar reflexiones metacientíficas a contextos de educación media. Además, se constituye en un recurso que invita a que las prácticas docentes se transformen dejando de lado la enseñanza tradicional dándole paso a una enseñanza basada en la NOS, ya que, según Bustos, García y Hernández (2017) este componente favorece que los y las estudiantes reconozcan los procesos históricos, necesidades e intereses que han dado lugar al desarrollo del conocimiento científico a nivel social, político, económico, incluso personal, como también que identifiquen y caractericen las implicaciones sociales del mismo.

## **5.2 El uso de la HC como recurso para la enseñanza de la NOS en contextos escolares**

Para iniciar este apartado, se hace necesario mencionar la importancia de las prácticas científicas para la enseñanza de las ciencias y en particular para la enseñanza de la estructura del ADN. Arana-Cuenca et al (2024) resalta el protagonismo de estas, ya que sitúa al estudiante en el centro del proceso de enseñanza-aprendizaje; expresa que mediante la observación y la acción que se realizan en estas prácticas permiten tener una mejor interacción con su proceso y así lograr resolver situaciones de la vida cotidiana desde la teoría que se imparte en otras clases y así transformar ese conocimiento.

En la misma línea que se discutió anteriormente Acevedo, et al. (2017) y Rodríguez y Romero (2023) proponen como una alternativa para trabajar asuntos asociados a la NOS y discutir elementos sobre la HC y el enfoque didáctico basado en prácticas científicas. Esta propuesta incluye 4 elementos constitutivos, basados en lo expuesto por García-Carmona (2021) a saber: objetivos epistémicos y no epistémicos, diseño de actividades *ad hoc*, un plan de evaluación apropiado y la trasposición didáctica. A continuación, se detallan estos elementos ajustados a las particularidades de esta propuesta:

1. *Objetivos de aprendizaje, de orden epistémicos y no epistémicos.* Para los autores, los objetivos de orden epistémico se asumen como aquellos que se enfocan en el aprendizaje de contenido disciplinar teniendo en cuenta la construcción del conocimiento, teorías, conceptos, entre otros. Los objetivos de orden no epistémico tienen que ver con elementos sociológicos relacionados con la dinámica científica; en este trabajo se resaltan aquellos asociados al contexto socio-cultural, algunos factores políticos, percepción de la mujer en la ciencia, relaciones interpersonales entre los científicos y cómo influyen éstos en las relaciones de ciencia y género. Su intención es poner en juego procesos cognitivos, habilidades procedimentales, así como conocimientos de ciencia y sobre la naturaleza de tales prácticas.
2. *Diseño de actividades ad hoc.* Se diseñaron para que tuvieran relación con el cumplimiento de la propuesta didáctica, es decir que atendieran al asunto o fin determinado para el cual fueron creados. Las actividades escolares que se desarrollan están orientadas para alcanzar los objetivos de aprendizaje. Dentro de las actividades que se diseñan en este trabajo, se establece un claro enlace con la discusión sobre NOS en dos niveles, como se indicó anteriormente (Ilustración 1): el primero, apunta a la naturaleza de los procedimientos, en particular el rol que juega la experimentación en la comprensión de los fenómenos. Rodríguez- Ramírez y Romero-Chacón (2023) expresan que una de las bondades de incorporar la experimentación cualitativa y exploratoria en la enseñanza de las ciencias y en particular, en esta perspectiva, es la posibilidad de que los estudiantes puedan construir y manipular instrumentos científicos, interpretar diversas situaciones y visualizar diferentes respuestas ante un problema o situación. Es así como la experimentación favorece la adquisición del aprendizaje, entendiendo que esta perspectiva “(...) potencializa las relaciones entre docente-estudiante y estudiante-estudiante, situación que favorece el trabajo colaborativo y posibilita una interacción discursiva y la co-construcción reflexiva” (Rodríguez- Ramírez y Romero-Chacón, 2023, p.438). El segundo nivel se relaciona

con el desarrollo de actividades enfocadas a la identificación explícita de asuntos sociológicos.

3. *Un plan de evaluación apropiado.* Desde esta perspectiva la evaluación se entenderá de tipo formativa, es decir que responde al proceso de aprendizaje desarrollado y, por ende, presenta estrecha relación con el mismo y es acorde con los objetivos y temática propuestos. Es de anotar que la evaluación formativa se basa en un ejercicio de retroalimentación continuo que permite la toma de decisiones al detectar las carencias del desempeño del estudiante durante el proceso académico con el fin de intervenirlas sin esperar hasta el final, todo con el ánimo de regular el aprendizaje del alumno (Martínez del Campo, 2016) es así como a partir de la evaluación formativa, los autores de esta propuesta realizan retroalimentación al estudiante a partir del tema que acaban de socializar, valorar si los participantes están comprendiendo el contenido que se ha tratado y hacen énfasis en el proceso más que en el resultado promoviendo la autoevaluación.
4. *La transposición didáctica* de aspectos comunicativos, éticos, organizativos, normativos, económicos, etc., propios de la actividad científica. Es entendido como el tránsito que se hace entre el conocimiento científico de origen y las adecuaciones que el docente realiza para su comprensión.

En este último elemento (transposición didáctica) Rodríguez y Romero (2023) proponen el cambio de este concepto por el de la recontextualización, como un ejercicio que posibilita el análisis y la reconfiguración de algunos elementos disciplinares extraídos de casos paradigmáticos en el desarrollo históricos de la ciencia, para ser adaptados a contextos escolares. Estos Episodios Científicos Históricos -ECH-, son “problematizados y abordados en la enseñanza a la luz de ciertos contextos de análisis, a saber: el *contexto disciplinar*, el *contexto meta científico* y el *contexto pedagógico*. Los ECH seleccionados corresponden a fragmentos de narrativas científicas (textos de primera fuente), cuyo contenido está en estrecha relación con la temática objeto de investigación” (p.438), que para el caso particular se realiza el ejercicio de recontextualización de la controversia entre Rosalind Franklin Vs Watson & Crick.

El *contexto disciplinar* es la dimensión en la que se analizan los contenidos científicos que presenta el episodio. El *contexto meta científico* es aquel en el cual se abordan reflexiones históricas, epistemológicas, o sociológicas del episodio. En el *contexto pedagógico*, por su parte, se reflexiona sobre los saberes didáctico-pedagógicos necesarios para que el profesor

adquiera una visión crítica y transformadora de su práctica educativa. En la tabla 4 se ejemplifica el ejercicio realizado en el proyecto:

**Tabla 4**  
*Recontextualización de saberes*

<b>Contenido disciplinar</b>	<b>Reflexión metacientíficas</b>	<b>Contexto pedagógico</b>
Estructura del ADN	<p>La controversia científica como como facilitador para la comprensión del fenómeno natural.</p> <p>Relaciones interpersonales entre científicos.</p> <p>Construcción social del conocimiento.</p>	<p>Reflexión sobre la naturaleza de las ciencias como alternativa para el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes.</p> <p>Comprensión de elementos epistémicos asociados a la estructura del ADN, así como asuntos no epistémicos vinculados al rol de la mujer en la ciencia.</p> <p>Procesos discursivos (dialógicos y dialécticos) asociados al pensamiento crítico al momento de presentar posturas acerca del tema (ADN).</p> <p>La historia como insumo para la comprensión de fenómenos relacionados con la NOS.</p>

*Nota:* En la tabla se expresa uno de los contenidos disciplinares abordados en la investigación y las correspondientes temáticas discutidas en los diferentes contextos de análisis.

La HC es importante para la enseñanza porque proporciona contexto, desarrolla el pensamiento crítico, muestra los procesos científicos, establece conexiones interdisciplinarias y motiva a los estudiantes. Al entender cómo se ha construido el conocimiento científico, los estudiantes adquieren una perspectiva más completa de la ciencia y pueden involucrarse de manera más significativa en su aprendizaje (Izquierdo, Et al, 2016).

También la HC incluye la tarea de seleccionar los conocimientos y organizarlos para que, generación tras generación, perduren. A su vez la HC ayuda a la contextualización del conocimiento ya que proporciona un contexto histórico que permite a los estudiantes comprender cómo se ha desarrollado el conocimiento científico a lo largo del tiempo. Esto ayuda a los estudiantes a comprender mejor los conceptos científicos, sus fundamentos y las razones detrás de ellos y también favorece al desarrollo del pensamiento crítico al explorar la historia de las ciencias, ya que los estudiantes tienen la oportunidad de analizar y evaluar las teorías científicas pasadas y sus implicaciones. Esto fomenta el pensamiento crítico y la capacidad de cuestionar y reflexionar sobre el conocimiento científico actual.



Continuando con lo anterior, es importante mencionar los tipos de historia encontrados en el aula de clase, para esto Rodríguez-Ramírez y Romero-Chacón (2023) retomando a Izquierdo, et al (2016), mencionan cinco tipos de historia encontradas en el aula de clases: la hagiográfica, anacrónica, diacrónica, recurrente/sancionada y la sociocultural.

*Hagiográfica:* En este tipo de historia, se escoge a un personaje principal que se enaltece de los logros dejando atrás las demás comunidades científicas u otros contribuyentes al conocimiento. Para este caso, se podría mencionar cómo ejemplo la invisibilización de Rosalind Franklin y su equipo de Cambridge con el poco reconocimiento que tuvo en los estudios del descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN y el protagonismo máximo de Watson & Crick como los principales investigadores de este descubrimiento.

*Anacrónica:* No se tiene en cuenta el contexto sociocultural en donde suceden los hechos científicos, en donde presentan la ciencia como un producto inequívoco, no se tienen en cuenta consensos científicos y tampoco se le da relevancia a minorías que aportaron al desarrollo de este conocimiento. En este tipo de historia, se relacionan únicamente contenidos disciplinares del ADN relacionados con sus fechas de descubrimiento.

*Diacrónica:* Narra los hechos desde una perspectiva del presente, mostrando los hechos más relevantes acerca de un concepto científico de una manera cronológica, sin desmeritar los hechos del pasado. Se tienen en cuenta los modelos construidos del ADN y cómo se ha transformado con el tiempo sin ahondar mucho en los contextos socio-culturales de la época.

*Recurrente/sancionada:* En esta se tienen en cuenta los hechos positivos en la construcción científica, demeritando los otros pasos o aportes que no tuvieron tanto éxito. Esto pudiendo dar a entender que la construcción científica es algo perfecto que no tienen equivocaciones. Como ejemplo se puede tener en cuenta la propuesta del primer modelo de Watson & Crick de la triple hélice, que más adelante se menciona con mayor claridad.

*Socio-cultural:* Este tipo de historia tiene en cuenta todos los aspectos en relación de la construcción de un conocimiento científico; cómo el contexto social, cultural, temporal e histórico de los hechos. Se tienen en cuenta también todos los personajes y aportes tanto los que han tenido éxito y relevancia, como los que no han tenido dicho protagonismo, pero igual aportaron. En este caso se tiene en cuenta todos los hechos históricos, propuestas científicas y personajes que influyeron en el estudio del ADN, Este proyecto se enmarca en una narración de este tipo porque la intención es resaltar las diferencias de interpretación a un mismo fenómeno, la provisionalidad de las teorías, la importancia de los modelos en las ciencias, el papel de las comunidades científicas y el sesgo sexista en la ciencia.

Para narrar la HC en contextos educativos, se presentan las controversias histórico-científicas como una forma de presentar una historia de tipo socio-cultural. En este trabajo, se asume una controversia como una discusión de opiniones entre dos o más personas acerca de un tema determinado. Respecto a la controversia científica, para Arribalzaga (2018) es innegable el desarrollo de la ciencia y el carácter racional-empírico del conocimiento que aplica dos teorías científicas que tratan de modo diferente el mismo tema o sistema de problemas; es allí donde surge el debate no sólo sobre cual se acerca más a la realidad, sino si sus consecuencias y prácticas son equivalentes así difieran en lo conceptual. Según el autor, la base de la controversia tiene en cuenta aspectos epistémicos, históricos y sociales que ratifiquen el punto de encuentro entre la disputa y los postulados de la naturaleza de la ciencia. Siguiendo con el autor las características de la controversia son:

- No quedan confinadas a las preguntas iniciales.
- Se propagan rápidamente en extensión y profundidad.
- Pueden adoptar una posición en conflicto diametralmente opuesta a la inicial.
- Cuestionan presupuestos fácticos, metodológicos y conceptuales básicos de los participantes.
- Busca una interpretación de datos, lenguaje, teorías, métodos, cuestionamientos (hermenéutica).
- Dado el carácter dinámico, el cuestionamiento de los presupuestos es constante.
- Libertad hermenéutica (apertura de la confrontación de ideas). (p.122)

Es así como, para las controversias, el acudir a la argumentación se convierte en una necesidad, dado que la argumentación científica favorece el desarrollo de dimensiones cognoscitiva, procedimental y actitudinal, necesarias en los procesos de enseñanza-aprendizaje que se desarrollan en la escuela (Espinosa Freire, 2020), es decir que la base del postulado se analiza y se prioriza al momento de realizar cuestionamientos, es por ello que se comprende el contexto dialógico en el cual se genera el proceso argumentativo, se revisan los puntos de vista que constituyen el argumento, las posturas que se desencadenan de éste (contraargumento) (Molina y Carlino, 2014), y los resultados que surgen en este proceso dialógico y dialéctico.

La argumentación presenta relación con dos conceptos indispensables: el desarrollo de habilidades para la vida y el desarrollo del pensamiento crítico; para Parra et al (2021) el desarrollo de habilidades para la vida posee un valor interior y se convierte en la base para promover la inteligencia emocional, la salud y el bienestar integral de las personas y de igual

manera, el pensamiento crítico permite a las personas (en este caso específico a los estudiantes) apropiarse de la información existente en la sociedad, analizar afirmaciones, creencias y evaluar su pertinencia o validez de acuerdo al contexto en el cual se presenten.

Promover la capacidad de argumentar y la criticidad debe ser una labor fundamental en la escuela, por ello los debates y la creación de historietas se convierten en una estrategia efectiva para alcanzar este fin; así, los profesores acuden al uso de instrumentos y estrategias didácticas como las mencionadas con anterioridad como una manera de organizar sus clases, pero también como alternativa para construir conocimiento y generar otros significados a los conceptos curriculares (Linares, García y Martínez, 2016)

### **5.3 Una Controversia socio-cultural: el caso de Watson & Crick vs Rosalind Franklin**

La controversia discutida en este trabajo se desarrolla entre Watson & Crick vs Rosalind Franklin, lo anterior se enlaza con los lineamientos curriculares y el plan de área del contexto donde se desarrolla la investigación a partir de la estructura del ADN, temática que se trabaja en los últimos períodos del año escolar. Por otro lado, esta controversia permite mostrar asuntos epistémicos como los distintos modelos de estructura del ADN y otros conocimientos científicos y también los no epistémicos como lo son el contexto, trabajo en equipo, rol de la mujer en la ciencia, entre otros.

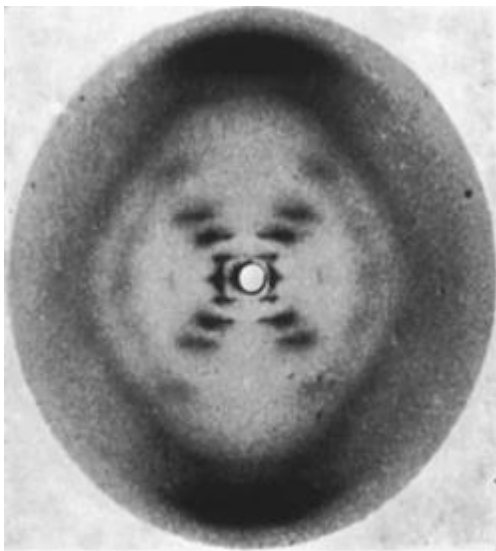
La controversia entre Watson & Crick (investigadores de la Universidad de Cavendish) y Rosalind Franklin (investigadora del Kings College) es acerca de la estructura del ADN enmarcada en la década del 1950 en el Reino Unido. En esta no sólo se muestra los pasos de la construcción de modelos del ADN como por ejemplo el modelo teórico de tres hélices logrado por Watson & Crick hasta lo que se conoce hoy en día como el modelo final de doble hélice, sino también abordan cuestiones de género en la ciencia (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016).

En la época donde se desarrolla la controversia, la estructura del ADN era un gran tema de interés para lograr avanzar en los estudios de la genética, la biología molecular y sobre todo entender los misterios inobservables de la vida. En la controversia se distinguen dos equipos investigadores, intrigados por este enigma: por un lado, James Watson y Francis Crick quienes eran físicos teóricos que trabajaron en el campo de la biología molecular; su enfoque innovador fue la construcción de modelos físicos basados en datos experimentales previos (como el modelo de triple hélice mencionado anteriormente); de otro lado, el equipo conformado por Rosalind Franklin, Maurice Wilkins y Raymond Gosling (este último se menciona en la literatura y hacía parte del equipo sin que sea explícito su rol en el mismo). Es necesario indicar

que Rosalind Franklin era química experta en la técnica de la cristalografía de los rayos x; en 1953, después de estudiar la difracción de rayos X de las fibras de ADN proporcionadas por Franklin, Wilkins y Gosling, fue posible capturar la famosa fotografía 51 (ver ilustración 1) en donde se presentan las pistas cruciales de la estructura del ADN para así llegar a un modelo final. Esta fotografía fue entregada por Wilkins al equipo de Watson y Crick sin el consentimiento de Rosalind, lo cual desata la polémica.

## **Figura 2**

*Fotografía 51 donde se muestran las pistas claves para definir la estructura del ADN*



*Nota:* Fuente, extraído de <https://blogthinkbig.com/fotografia-51>

Watson y Crick propusieron un modelo de triple hélice, donde situaban los grupos del azúcar y el fosfato hacia el interior de la estructura y las bases nitrogenadas se disponían hacia el exterior de la molécula unidas por enlaces de magnesio. De este modelo, Franklin señala los errores químicos de su estructura al no tener en cuenta los datos de la fotografía 51 y que, gracias a estos datos, Franklin sugería que esta estructura debía ser de forma helicoidal. A partir de estas observaciones, Watson & Crick plantearon el modelo de la doble hélice del ADN donde este modelo sugería que el ADN estaba formado por dos cadenas helicoidales que se enrollaban entre sí, con las bases nitrogenadas (adenina, timina, citosina y guanina) emparejándose en el interior de la hélice. Esta estructura permitía la replicación precisa del ADN y explicaba cómo la información genética se transmitía de una generación a otra. Este modelo de doble hélice se publicó en la revista *Nature* en abril de 1953, y gracias a él en 1962

reciben Watson, Crick y Wilkins el premio nobel. En este no se reconocen los aportes de Rosalind Franklin e incluso años después, Watson (1993) en el libro *‘La doble hélice: una reseña autobiográfica sobre el descubrimiento del ADN’* se realiza una descripción misógina de Franklin al ser poco femenina y refiriéndose a ella como “Rosy”, siendo este un apodo por el cual no se conoce, finalmente sólo se agradece por algunas contribuciones realizadas por Franklin en el Kings College (Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón-Méndez, 2017).

#### **5.4 Pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias**

El pensamiento crítico hace referencia a la capacidad de las personas de analizar y evaluar la consistencia de los razonamientos de sí mismos o de los demás. Es por ello que a partir del pensamiento crítico se cuestiona, se analiza, se interpreta, se evalúa y se tiende a emitir un juicio acerca de lo que se observa, se lee, se escucha, se dice o se escribe. Para Facione (2007) el pensamiento crítico es "un proceso de razonamiento reflexivo y metacognitivo que implica habilidades y disposiciones para analizar, evaluar y construir argumentos de manera lógica y sistemática"(p.8) donde implica un enfoque consciente y reflexivo hacia el razonamiento. Es así como la criticidad, invita a las personas a dar cuenta de sus actos dado que implica la capacidad de defender sus posturas a través de argumentos pertinentes y acordes con el contexto en el cual surgen (Patiño, 2014)

Se trata de no pensar de manera deliberada y considerar diferentes perspectivas antes de llegar a conclusiones o tomar decisiones porque es un trabajo reflexivo y autodirigido en donde siempre gira en torno a una información, problema, conceptos que pertenece a un contexto o situación determinados. También involucra tanto habilidades cognitivas como actitudes o disposiciones en la cual se fortalece en tener una mentalidad abierta, ser curioso, ser reflexivo y estar dispuesto a considerar diferentes puntos de vista. El autor menciona también que este pensamiento crítico se desglosa en varias habilidades en las cuales se destacan las siguientes tres en este estudio y son: Flexibilidad al considerar alternativas y opiniones (dado que todas las personas cuentan con diferentes percepciones acerca de un hecho en particular y por ende la flexibilidad invita a escuchar y tener en cuenta otras opiniones que pudieran influenciar en la propia comprensión del hecho observado), Comprensión de las opiniones de las otras personas (implica comprender las razones que motivan sus percepciones y las causas que las originan) y Prudencia al postergar, realizar o alterar juicios (esto significa respetar que no todas las opiniones o percepciones son iguales, pero eso no significa que sean excluyentes o que se genere conflicto, por ello la idea es conciliar).

Estas habilidades implícitamente están relacionadas con los procesos argumentativos porque mencionan un diálogo en donde se ponen en juicio opiniones de distintas personas a raíz de una temática. Es aquí donde Leitão. (2012) menciona que, más allá de la estructura de este argumento y su solidez, los procesos argumentativos permiten mostrar las contrapropuestas a unas ideas contrarias; la argumentación es un proceso que implica una voz y distintas voces con sus puntos de vista ya sean divergentes o similares. También propone que el argumento aparte de ser discursivo es también cognitivo, cultural, epistémico, dialógico y dialéctico.

- *Cognitivo*: porque se da la oportunidad de inferir, explicar, definir, deducir, analizar, entre otras, las premisas de un tema en discusión.
- *Epistémico*: Porque este discurso, construcciones propias e intercambio con el otro permiten y potencian la construcción del conocimiento y afirmaciones.
- *Dialógico*: Permite la construcción de nuevos conocimientos a partir de ideas similares en un proceso cognitivo entre un emisor y un receptor.
- *Dialéctico*: Permite la construcción de nuevos conocimientos a partir de ideas divergentes desde los argumentos y premisas tanto del emisor como receptor.

La capacidad de argumentar requiere de un análisis que permita comprender el contexto dialógico en el cual se genera la discusión, revisar los diferentes puntos de vista del argumento y las posturas o contraargumentos que los mismos desencadenan y, por ende, los resultados del proceso teniendo en cuenta la noción dialéctica (Molina y Carlino, 2014). Es así como la enseñanza de las ciencias a través de su historia posibilita el análisis de sus protagonistas y las situaciones que viven a partir de elementos como el contexto social, político y económico que fueron determinantes en el surgimiento de la estructura del ADN (Cortez, Latorre y Hernández (2016).

Para efectos de este trabajo, el proceso argumentativo *cognitivo* se acerca a la búsqueda investigativa y presenta estrecha relación con el pensamiento crítico dado que, a través del desarrollo de las controversias histórico-científicas, se genera la oportunidad de inferir, explicar, definir, deducir, analizar, entre otras, las premisas de un tema controversial como lo es, en este caso, la enseñanza del ADN. De otro lado, el argumento al ser *dialógico* permite que diversos participantes se involucren en el proceso tal y como ocurre al interior del aula de clase, al favorecer que el proceso cognitivo se de en la relación comunicativa entre dos o más personas quienes comparten ideas acerca del tema en cuestión; además el argumento al ser

*dialéctico*, favorece construir nuevos conocimientos a partir del debate, la argumentación de nuevas ideas basadas en las premisas de quienes participan en el proceso y fulgen como emisor o receptor. Siguiendo con Leitão (2012) el debate crítico se configura como

(...) un enfoque crítico-racionalista orientado a la resolución de disputas, mediante la argumentación. Este cambio de orientación —de la mera persuasión (debates tradicionales) a la búsqueda de una resolución crítica de un conflicto de opinión (debate crítico)— implica importantes contrastes en cuanto a la definición de la situación inicial que da lugar a cada tipo de debate y los objetivos perseguidos en cada caso.” (p. 29)

De acuerdo con la autora, el debate crítico se compone de las siguientes fases:

Fase de confrontación: es cuando la existencia de una diferencia de opinión se vuelve clara para los participantes en una situación discursiva.

Fase de apertura: se definen los roles de protagonista y antagonista, con relación al punto de vista formulado en la fase anterior, y se deja claro el compromiso de los participantes de resolver la disputa a través de la argumentación.

Fase de argumentación: puede verse como el núcleo de una discusión crítica. Es aquí donde el protagonista defenderá su punto de vista ante las dudas, preguntas y desafíos del antagonista.

Fase final: finalmente queda claro si la disputa se ha resuelto o no, si esta resolución se manifiesta por el cambio o el abandono del punto de vista inicial del protagonista. (Leitão, 2012)

Con base en lo anterior, se infiere que el debate crítico implica un objetivo claro en su desarrollo, de ahí que se configuren unos pasos que favorezca su alcance, además del rol que deben de cumplir los involucrados. El debate crítico es una herramienta valiosa para el crecimiento intelectual y la construcción de un pensamiento crítico en el ambiente escolar; es a través de éste que es posible fomentar la capacidad de reflexionar sobre diferentes puntos de vista, cuestionar ideas preestablecidas y llegar a conclusiones fundamentadas. Además, promueve el respeto por las opiniones de los demás y la capacidad de comunicarse de manera efectiva.

En esta línea, la fundación Omar Dengo, presenta las competencias del siglo XXI y proponen su aprendizaje y evaluación; para los autores de esta propuesta, se llaman “COMPETENCIAS DEL SIGLO XXI a las destrezas, conocimientos y actitudes necesarios para enfrentar exitosamente los retos de esta época, y que nos invitan a reformular nuestras principales aspiraciones en materia de aprendizaje y a hacerlas más relevantes para esta nueva era” (Bujanda Bujanda et al, 2014, p. 11) las autoras, definen el pensamiento crítico como la “capacidad de interpretar, analizar, evaluar, hacer inferencias, explicar y clarificar significados” (p. 44) y además indican que el pensamiento crítico se basa en el razonamiento lógico, la capacidad de trabajar con conceptos, tener conciencia y perspectiva de los puntos propios y de otras personas, además del desarrollo del pensamiento sistémico (Bujanda Bujanda et al, 2014)

De otro lado Paul y Elder (2003) resaltan la importancia del pensamiento crítico en la escuela para el desarrollo de habilidades del razonamiento crítico; enfatizan en la importancia de éste en los estudiantes al permitirles desarrollar la capacidad de identificar y evaluar argumentos, reconocer sesgos y falacias, analizar evidencias, formular preguntas relevantes y construir argumentos lógicos. Lo anterior presenta gran relevancia para esta propuesta dado que se favorece el desarrollo de habilidades para la resolución de problemas, lo cual implica una visión crítica del fenómeno a resolver en aras de hallar las soluciones más ‘pertinentes’ para cada caso.

Con base en el caso de este trabajo, que es la historia de la estructura del ADN a través de algunas controversias histórico-científicas, se observa relación estrecha dado que se favorece el análisis, la reflexión, es posible realizar inferencias, explicaciones, dar definiciones o acercarse a ellas, deducir, entre otras acerca de un tema o asunto en particular como lo es la enseñanza del ADN, de esta manera se favorece a adquisición de un saber a partir de la comprensión de este.



## **6. Metodología**

Con base en lo anterior, considerando el planteamiento del problema y los objetivos propuestos en la investigación, en este capítulo se define la metodología que enmarca el desarrollo de este proyecto. Aquí se presenta el paradigma investigativo y el método, las formas de registro y los criterios de análisis de la información, la red de categorías, los criterios de credibilidad, la propuesta pedagógica (secuencias didácticas) y las consideraciones éticas.

### **6.1 Paradigma investigativo y método**

El paradigma que se asume para el desarrollo de esta investigación es el cualitativo. El paradigma cualitativo “(...) se fundamenta en una perspectiva interpretativa centrada en el entendimiento del significado de las acciones de seres vivos, sobre todo de los humanos y sus instituciones (busca interpretar lo que va captando activamente)” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.42). Los mismos autores expresan que el “Enfoque cualitativo utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación” (p.7). Se considera pertinente este paradigma para el desarrollo de esta investigación en la medida que permite un acercamiento con la realidad y se favorece su análisis, además en este estudio cualitativo el acercarse al contexto de los participantes favorece la comprensión de ideologías individuales (Hernández, Fernández y Baptista, 2014)

Es así como la búsqueda investigativa se caracteriza por tener una toma de datos no numéricos donde se pueden describir fenómenos complejos bajo una mirada subjetiva, buscando así la realidad social y cultural de sus participantes, y favorece entender las acciones de los sujetos a investigar. Este estudio es apropiado para este trabajo, ya que se trabaja en un contexto educativo para evaluar la eficiencia de la controversia entre Rosalind Franklin vs Watson & Crick como recurso didáctico para fortalecer habilidades del pensamiento crítico y la enseñanza del concepto del ADN, donde no se considerarán resultados numéricos sino esas concepciones y argumentos de los estudiantes durante el estudio.

Es de destacar que el enfoque cualitativo concibe en su esencia un conjunto de prácticas interpretativas que lo transforman y lo convierten en un cúmulo de representaciones, entre ellas naturalistas (estudia fenómenos y seres vivos en ambientes naturales) e interpretativo porque da sentido a los fenómenos conforme a los significados que las personas les otorgan

(Hernández, Fernández y Baptista, 2014); esta última característica es la que será tenida en cuenta en este proceso.

A través del paradigma cualitativo-interpretativo, se analizan los procesos argumentativos de los estudiantes mediante debates y otras actividades que también son escritas y que se pueden encontrar algunas expresiones, se construye conocimiento, se conocen y analizan sus posturas, así como se puede sumergirse en su contexto para establecer el punto de vista externo del investigador (Gurdián-Fernández, 2007)

Complementariamente, el tipo de método que se asume en esta investigación es *Estudio de caso* de tipo instrumental, que según Stake (2007) se centra en una investigación intensiva y detallada de un fenómeno dentro de su contexto real. Se considera adecuado este método de estudio de caso dado que a través de este se trata de comprender lo que los participantes comunican desde sus perspectivas y entendimiento de la controversia y aquí el investigador funciona como un intérprete del contexto para darle un nuevo significado a aquellos diálogos de los participantes, sus individuos y las dinámicas que se manejan en el contexto mediante el análisis y la observación de este.

## **6.2 El caso y su contexto**

El contexto donde se desarrolla la investigación es la Institución Educativa Alfonso Upegui Orozco, ubicada en el barrio Robledo de la ciudad de Medellín; la zona en la cual se ubica esta institución es en la zona Occidental corregimiento de San Cristóbal, vereda Pajarito (es decir que se encuentra en una zona limítrofe), en su mayoría de estratos 1, 2, y 3; es una población semi-rural, que nace debido a procesos de reubicación dados en la ciudad.

La institución educativa es de carácter oficial, allí se desarrolló la práctica pedagógica de los investigadores. La institución cuenta con aproximadamente 1200 estudiantes con edades comprendidas entre los 3 y 18 años. La institución ofrece educación en niveles preescolar, básica primaria, secundaria y media académica y técnica, promoviendo el pensamiento analítico y crítico a través de estrategias pedagógicas centradas en proyectos e investigación escolar.

La propuesta pedagógica de la Institución adopta un enfoque crítico-social-cognitivo, basado en el constructivismo, con un currículo integrado y una metodología centrada en

proyectos. Este enfoque busca el desarrollo integral e interdisciplinario del individuo, alineado con las demandas de la sociedad, el trabajo, la comunidad y el conocimiento práctico<sup>6</sup>.

Como participantes se acudieron a 10 de estudiantes del grado 9-2°. Dentro de los criterios de selección se encuentran:

- Manifestar su deseo de participar en la investigación de manera activa.
- De acuerdo con la participación activa y habilidades comunicativas demostradas durante curso.

El proyecto se enmarca en las temáticas planteadas en el Proyecto Educativo Institucional PEI y en los planes de área de la institución. Las actividades relacionadas con la investigación se realizan en los horarios de clase de este grupo con la participación completa y el acompañamiento del docente cooperador, Teniendo en cuenta las habilidades argumentativas a fomentar, los participantes debían asumir una postura la cual en este momento se llamará postura A (a favor de Watson y Crick), a esta pertenecen los estudiantes identificados con los códigos: A1, A2, A3, A4 y A5; y Postura B (a favor de Rosalind Franklin), a esta postura pertenecen los estudiantes codificados con B1, B2, B3, B4 y B5; posterior a la letra asignada se les asigna un número entre uno y cinco con el cual se identifica el participante y con este se mostrará su opinión en los diferentes instrumentos de análisis de la información.

### **6.3 Técnicas e instrumentos de registro de la información**

Es de anotar que este enfoque cualitativo-interpretativo permite, a través de los instrumentos de registro de la información, conocer e interpretar los datos aportados por los participantes. Entre las técnicas de recolección de información se acude al cuestionario y al grupo focal, a continuación, se describe cada una de ellas.

El *cuestionario* se define como “(...) un conjunto de preguntas diseñadas para generar los datos necesarios con el propósito de alcanzar los objetivos de un proyecto de investigación” (Bernal, 2016, p.245). Para García et al (2006) un cuestionario hace alusión a “(...) los documentos que recogen de forma organizada los indicadores de las variables implicadas en el objetivo de la encuesta” (p.232)

---

<sup>6</sup> Tomado del Proyecto Educativo Institucional PEI de la Institución Educativa Alfonso Upegui Orozco "Educación con calidad humana"

Según la respuesta que se espera del encuestado, las preguntas pueden ser abiertas o cerradas. Abiertas, debido a que las posibles respuestas no están preestablecidas, cada entrevistado responde con sus propias palabras. Aportan mucha información, pero su codificación posterior puede suponer grandes dificultades. Cerradas, las que se especifican de antemano las posibles respuestas alternativas. Por lo general, presentan categorías exhaustivas y mutuamente excluyentes, aunque dependiendo de la naturaleza de lo que se estudia, en ocasiones, el encuestado podrá seleccionar si es necesario más de una opción. También es frecuente combinar ambas opciones (abiertas y cerradas), presentado preguntas con un abanico de respuestas acompañadas de un ítem abierto cuando no se tiene la certeza de contemplar todas las opciones de respuesta (García et al, 2006).

Con el objetivo de conocer las ideas previas de los estudiantes en cuanto a la temática del ADN, identificar sus perspectivas iniciales sobre algunos asuntos epistémicos y no epistémicos, se utilizó la estrategia del *cuestionario KPSI* (Knowledge and Prior Study Inventory) que en español traduce: “Inventario de Conocimientos y Estudios Previos”; este tipo de cuestionarios, no busca que el participante responda sobre un conocimiento específico, por el contrario busca que el participante evalúe su nivel de conocimiento sobre determinado tema. Son cuestionarios diseñados para evaluar el nivel de conocimiento y los estudios previos que tienen los participantes sobre un tema específico antes de participar en una actividad o estudio relacionado con dicho tema (ver *Anexo 1, cuestionario KPSI*). De otro lado, en este proceso se presenta también un cuestionario abierto con el objetivo de desarrollar una guía de laboratorio (ver *Anexo 2, Cuestionario abierto guía de laboratorio*)

Otra técnica es el *Grupo focal*, la cual es una técnica “(...) que consiste en una entrevista grupal dirigida por un moderador a través de un guion de temas o de entrevista. Se busca la interacción entre los participantes como método para generar información” (Prieto y March, 2002, p. 104); es de anotar que el grupo focal pretende que los estudiantes expresen con libertad sus puntos de vista y percepciones frente al tema de análisis. Como instrumento se acude a la guía de socialización y un guion del Modelo de Debate Crítico -MDC-; para la socialización, la guía consiste en la formulación de una serie de preguntas cerradas a partir de las cuales los estudiantes guían la exposición de una creación gráfica (historieta) y la presentan a sus compañeros; para el guion del MDC, se planteaban los ejes temáticos que constituían la base del debate a partir de las fases definidas por Leitão (2012): Fase de confrontación (posturas A y B); Fase de apertura (se formula la pregunta, se definen los roles de posturas a favor y en contra y son los estudiantes quienes argumentan su punto de vista); Fase de argumentación: es

el núcleo de discusión frente a cada pregunta. Los estudiantes defienden su punto de vista a partir de la pregunta y contraargumentan el postulado inicial); Fase final, queda claro si la disputa se ha resuelto o no a partir de la argumentación de las partes y si ha sido posible establecer un consenso.

Cada una de las técnicas se codifica, tal y como se expone en la tabla 5 de la siguiente manera:

**Tabla 5**

*Codificación de las técnicas e instrumentos*

<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Código asignado</b>
Cuestionario	El cuestionario KPSI	KPSI1 y KPSI2
	Cuestionario de preguntas abiertas	LAB1
Grupos focales o de discusión	Guía de socialización	HADN
	Guion debate crítico	Deb

*Nota:* en la tabla se describen los códigos asignados para las técnicas de investigación y el instrumento de recolección asociado.

#### **6.4 Sistematización y análisis de la información**

El análisis de datos se realizó de manera rigurosa y ordenada. La información se salvaguardó con cuidado en los formatos tanto digitales como escritos que sirvieron para almacenarla, posteriormente se procede a transcribirla siendo fiel a la fuente que la emite; los datos se consignarán en una matriz de análisis de datos construida en una hoja de cálculo, (Ver *Anexo 3. Matriz de Análisis de Datos*) lo cual facilitará su visualización y análisis para realizar trazabilidad y triangular la información.

En este estudio se privilegia el análisis de contenido, el cual, de acuerdo con Piñuel (2002) hace alusión “(...) al conjunto de procedimientos interpretativos de productos comunicativos como mensajes, textos o discursos” (p.2). Los cuales provienen de procesos singulares de comunicación y que se encuentran debidamente registrados en técnicas de tipo cualitativo o cuantitativo, cuyo objeto es el procesamiento de datos relevantes basados en las condiciones en que se han producido aquellos textos o las condiciones que pudieran darse para su empleo posterior. Dicho contenido se asume que se encuentra ‘guardado’ por ende, al revisar ‘por dentro’ se devela su contenido o significado, es decir que al tomar en cuenta los datos de

análisis se genera una nueva interpretación o un nuevo conocimiento (Piñuel, 2002). En este caso, la Unidades de Análisis (en adelante UA) hace referencia a la manera en que se segmenta el corpus en la medida en que se lee, se escucha o visualiza; es decir, la UA hace referencia al segmento de ese corpus o contenido que se relee, se re escucha o se re-visualiza, en este caso hace alusión a las voces de los estudiantes.

La información registrada fue categorizada en tópicos, a partir de los cuales se recoge y se organiza la información. Cada categoría denota un tópico, y así mismo las subcategorías detallan ese tópico en microaspectos. Estas categorías pueden ser apriorísticas (construidas a partir del marco conceptual y antes del proceso recopilatorio de la información-conceptos objetivadores) o emergentes (es decir que surgen a partir de la indagación-conceptos sensibilizadores) (Cisterna, 2005)

La obtención y el tratamiento de la información se realizó de manera simultánea; para el registro de la información se acudió a cámaras, video, celulares y otras herramientas que se convierten en pretexto para dialogar acerca del tema en cuestión. Otras evidencias son el consolidado del material escrito y las entregas realizadas por los estudiantes y los resultados de las encuestas.

### 6.5 Red de Categorías

Las UA seleccionadas se organizaron en una matriz de análisis con el fin de observar con mayor detalle la relación entre las categorías y los indicios pertenecientes a cada una. Inicialmente, se dispone de una tabla donde se evidencian las categorías apriorísticas propuestas y sus respectivos indicios (*Ver Tabla 6*). Posteriormente, se presenta la matriz con algunos ejemplos de las UA seleccionadas en correspondencia con los indicios. La matriz completa de los indicios y unidades de análisis seleccionadas se encuentra en los anexos (*ver Anexo 3. Matriz de análisis de datos*)

**Tabla 6**  
*Categorías e Indicios*

Categorías	Indicios
La controversia científica como facilitadora para la comprensión del ADN y su estructura (C1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza elementos discutidos en la controversia para explicar el concepto de la estructura ADN.</li> <li>• Utiliza modelos científicos escolares para representar la estructura del ADN.</li> <li>• Realiza prácticas experimentales para comprender algunos elementos asociados a la controversia</li> </ul>

Categorías	Indicios
La controversia científica como escenario de manifestación de relaciones interpersonales (C2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconoce la diversidad de perspectivas en el proceso de construcción de conocimiento.</li> <li>• Identifica algunas causas de exclusión de la mujer en el campo científico y tecnológico.</li> <li>• Utiliza ejemplos que permiten evidenciar la invisibilización de la mujer en la ciencia.</li> </ul>
La controversia científica como estrategia para fortalecer las habilidades argumentativas (C3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valora los aportes de sus compañeros para la construcción de nuevos argumentos.</li> <li>• Elabora replicas a los contra-argumentos propuestos por otro compañero.</li> <li>• Realiza preguntas y contra-preguntas en el transcurso de un debate</li> <li>• Reconoce que los argumentos divergentes contribuyen a consolidar sus propias ideas.</li> </ul>

*Nota:* en la tabla se muestran las categorías apriorísticas propuestas y sus respectivos indicios.  
Fuente: elaboración propia.

**Tabla 7**  
*Matriz de Análisis. Fragmento*

Categorías	Indicios	Unidad de Análisis
C1	Realiza prácticas experimentales para comprender algunos elementos asociados a la controversia	B3: "Es importante tener las fresas maceradas porque para hacer el procedimiento, es necesario hacerlo con el jugo"
C2	Reconoce la diversidad de perspectivas en el proceso de construcción de conocimiento.	Deb-A4: Watson y Crick se basaban más en su experiencia, datos experimentados y con su modelo de tres hélices fue el modelo no oficial más cercano.
C3	Reconoce que los argumentos divergentes contribuyen a consolidar sus propias ideas.	KPSI1p (2)-B2: Todas las ideas son respetables y válidas mientras sean en base a un buen argumento

*Nota:* en la tabla 7 se presenta la relación entre los indicios y las UA. Estas UA se encuentran relacionadas con los indicios pertenecientes a cada una de las categorías y se retomarán para su análisis en el capítulo de hallazgos.

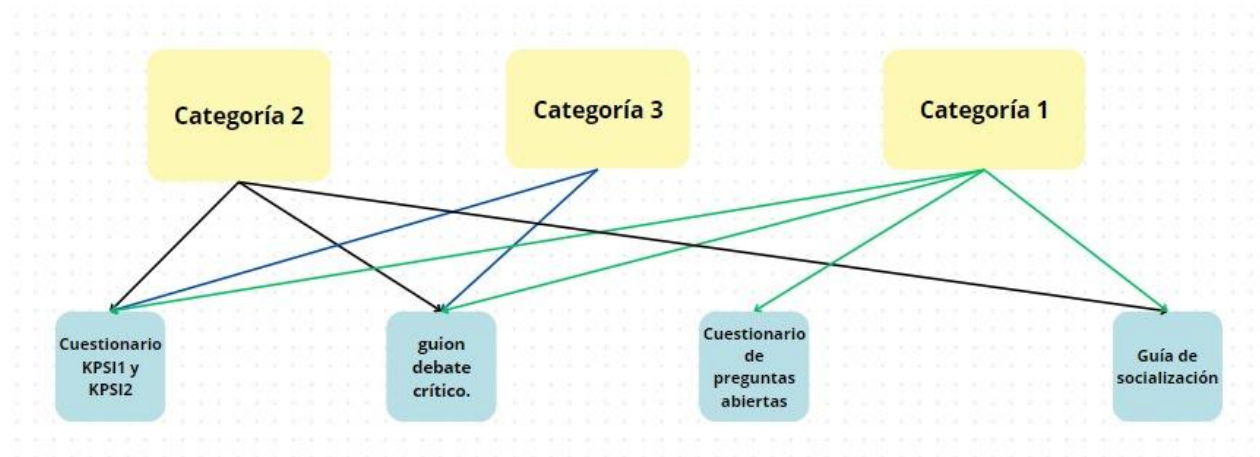
## 6.6 Criterios de credibilidad

En las investigaciones de carácter cualitativo es importante tener un cuerpo riguroso que respalde la fiabilidad de la información y cómo esta es tratada en el análisis. Para ello es necesario realizar el proceso de triangulación de la información, que según Cisterna (2005) consiste en un cruce dialéctico de la información que se haya registrado en el estudio, tanto de las categorías como de los instrumentos que se utilizan. Con los datos registrados se realiza *la triangulación*, la cual consiste en un proceso basado en la confrontación y validación de la información obtenida a través de las técnicas e instrumentos seleccionados. Para Benavidez y

Gómez (2005) “La triangulación se refiere al uso de varios métodos (tanto cuantitativos como cualitativos), de fuentes de datos, de teorías, de investigadores o de ambientes en el estudio de un fenómeno” (p.119); la triangulación involucra el uso de diversas estrategias para estudiar un mismo fenómeno y por ende el uso de varios métodos como entrevistas, talleres, grupos focales; al realizar este proceso se supone que el uso de varias técnicas suma al proceso y permite visualizar un mismo fenómeno desde diversas perspectivas y así aumentar su validez. De acuerdo con Mora (2005) “A través del proceso de triangulación se llega a contrastar y a validar la información obtenida mediante diversas fuentes”. Este proceso permitirá comparar entre sí los datos relacionados con la búsqueda investigativa, de tal manera que se considere la triangulación entre instrumentos, la triangulación con el marco conceptual y la Validación con expertos.

Si surgen inconsistencias en la información, esto no debe generar incredulidad en el proceso, debido a que esto se da con el objetivo de “(...) analizar el papel de la fuente que produjo los datos en el fenómeno observado y las características que la acompañaban en el momento en el que el fenómeno se observó (...)” (Benavidez y Gómez, 2005). A continuación, en la *ilustración 3*, se presenta el esquema de triangulación para esta investigación.

**Figura 3**  
*Proceso de triangulación*



*Nota:* Elaboración propia. En el proceso de triangulación se relacionan las categorías con los instrumentos diseñados para registrar la información, donde la información correspondiente a cada categoría es registrada por varios instrumentos.

En el proceso de triangulación se relacionan las categorías con los instrumentos diseñados para registrar la información. Se observa las relaciones entre la categoría 1 con todos los instrumentos, la categoría 2 con los cuestionarios KPSI, el guion del debate y la guía de la



socialización de la historieta, ya que, en la exposición de ellos, se formulaban preguntas acerca del rol de la mujer en la ciencia. Se aprecia la relación entre los cuestionarios, el debate crítico y la guía de la socialización de la historieta. Vale aclarar que los cuestionarios KPSI se relacionan con las tres categorías, ya que las preguntas de este se construyen a partir de éstas.

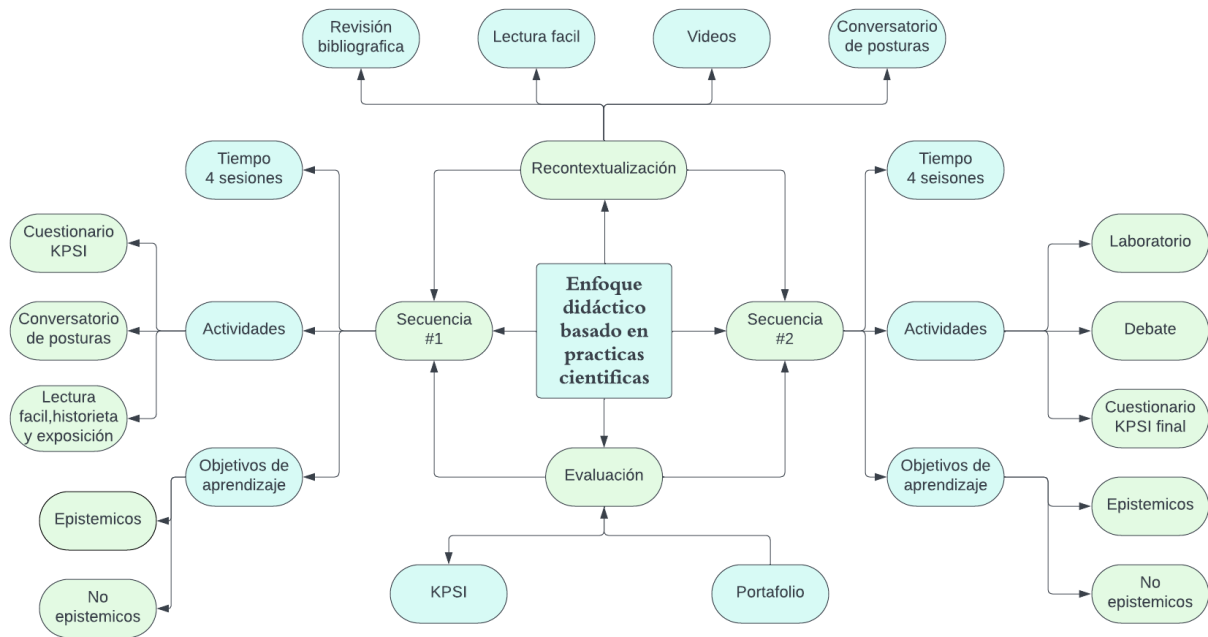
### **6.7 Propuesta pedagógica (secuencias didácticas)**

Para aplicar las técnicas e instrumentos anteriormente mencionados, se planteó una propuesta de enseñanza que permitiera evidenciar la HC desde un punto de vista sociocultural y que permita visualizar el contexto (social, cultural, temporal e histórico) considerando los aspectos de la construcción del conocimiento científico, como sus personajes y aportes tanto los exitosos y relevantes, como aquellos que no han tenido protagonismo, pero que de igual manera aportaron a la construcción del conocimiento; esta historia se evidencia en la controversia científica del ADN, que será un eje articulador entre la formación en ciencias y el desarrollo del pensamiento crítico para analizar las posturas de los estudiantes alrededor del papel de la mujer en la ciencia y los aspectos epistémicos y no epistémicos existentes en el proceso de desarrollo de conocimiento.

Es de anotar que Osborne (2014) considera que la participación en prácticas científicas escolares solo tendrá sentido si: a) las mismas ayudan a los estudiantes a desarrollar una comprensión amplia y profunda de lo que saben y de cómo lo saben y de los constructos que guían la práctica de la ciencia; (b) constituye un medio más efectivo para desarrollar ese conocimiento; y (c) presenta una imagen más auténtica de la ciencia. Es importante mencionar que para el diseño de las secuencias didácticas se ha retomado la propuesta de García-Carmona (2020) pero adecuándola: la trasposición didáctica se ha cambiado por el concepto de recontextualización (Rodríguez y Romero, 2023)

#### **Figura 4**

*Estructura de las secuencias didácticas basadas en prácticas científicas*



*Nota:* En la figura se presenta la estructura de la propuesta de Secuencias didácticas basada en prácticas científicas y su relación con cada una de las secuencias. Fuente elaboración propia

De acuerdo con lo anterior, se consideró necesario dividir las actividades en dos secuencias didácticas las cuales incluyen el proceso de recontextualización; en ellas se observa lo siguiente: cuestionario KPSI, conversatorio de posturas de la controversia (Watson & Crick vs Rosalind Franklin), texto de recontextualización, historieta diseñada por los participantes y su exposición (lo anterior a partir de los componentes del enfoque didáctico basado en prácticas científicas presentes en cada una de las secuencias: objetivos epistémicos y no epistémicos, evaluación formativa, diseño de actividades Ad hoc, Transposición didáctica-Recontextualización).

La primera secuencia titulada ¿Qué sabemos del ADN y su historia? tuvo una duración de cuatro sesiones, cada sesión correspondía a una hora de la semana y tuvo como objetivos los siguientes:

**Objetivo epistémico:** Comprender la estructura del ADN a través del análisis del caso de Rosalind Franklin y el modelo de doble hélice.

**Objetivos no epistémicos:**

- Establecer mediante consenso los modos y criterios para comunicar y debatir sobre los diferentes resultados o conclusiones de una controversia científica.

- Participar en debates sobre los hallazgos y conclusiones de la controversia sobre la estructura del ADN, distinguiendo los argumentos científicos (basados en pruebas, de causa-efecto, etc.) de los de otra naturaleza (emotivos, éticos de autoridad, etc.), aunque valorando también la importancia de estos últimos en la persuasión de ideas o posicionamientos científicos.

A continuación, se describe el proceso de recontextualización a partir de las actividades Ad hoc diseñadas para esta primera secuencia:

- *Conversatorio de posturas*: Como actividades de recontextualización se cuenta con el conversatorio/debate de las dos posturas. Los investigadores realizan un conversatorio en un lenguaje muy coloquial para que los participantes tuvieran un mejor acercamiento con lo que es un debate y a la controversia. Se usaron textos hechos de propia autoría basados en fuentes secundarias como el texto de Acevedo-Díaz, García-Carmona (2017).
- *Historieta*: este producto fue realizado a mano por los participantes, quienes a partir de imágenes prediseñadas debían construir la historieta relacionada con la controversia. A partir de ella, se comentan los aspectos relevantes y posteriormente se realiza exposición de las creaciones (historietas); para esto se utilizó un guion de socialización que sirvió como derrotero para la actividad; para la construcción de este guion, como fuente secundaria se acudió al libro publicado por Acevedo-Díaz & García-Carmona (2017) llamado *Controversias en la historia de la ciencia y cultura científica* dado que en el capítulo 6 se aborda la controversia ‘Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN’; como ejes centrales a abordar en el conversatorio se destacan: Innovación, publicación rápida, buen entendimiento y modelización teórica por parte de Watson & Crick y la propuesta inicial de la estructura, la difracción de rayos x y la invisibilización de la mujer en la ciencia caso de Rosalind Franklin. Como fuentes secundarias se tuvo en cuenta el conocimiento que tienen los investigadores acerca de lo que es una controversia, sus características e implicaciones, además de aspectos éticos que deben tenerse en cuenta en este tipo de ejercicios (el respeto por el uso de la palabra y las opiniones de los demás, la capacidad de argumentar y valores como la tolerancia y el respeto)
- *Cuestionario KPSI Inicial*: consta de once preguntas que permitirán obtener información sobre las ideas previas de los estudiantes respecto a la historia del ADN, el papel de la mujer en la ciencia y la importancia de los procesos dialógicos y

dialecticos para la construcción del conocimiento. Este cuestionario utiliza una escala que acude al reconocimiento del estudiante como evaluador de su propio conocimiento, calificándolo en uno de los siguientes aspectos: 1. No lo sé, 2. He oído hablar de ello, pero no se casi nada, 3. Sé algo, 4. Lo sé, pero no puedo explicarlo, 5. Lo sé y podría explicarlo a un compañero, al seleccionar esta última opción los participantes debían argumentar la razón de esta respuesta para demostrar su conocimiento.

- *Evaluación:* para este proceso se tienen en cuenta el cuestionario KPSI inicial dado que, si bien fueron instrumentos diseñados para recoger información, también sirvieron como elemento para comparar las respuestas dadas por los estudiantes y su avance posterior al desarrollo temático. Sumado a ello se tuvo en cuenta las respuestas al guion de socialización que permitía evidenciar avances en los estudiantes, además se utilizó un portafolio, que recopilaba las actividades desarrolladas por los estudiantes y su evolución. Es de anotar que la evaluación al ser formativa, permite la retroalimentación temática durante todo el proceso y valorar si el contenido es asimilado durante las actividades.

La segunda secuencia titulada viaje a través del tiempo, el ADN: un debate molecular corresponde a las actividades de desarrollo donde se pondrán en evidencia los conocimientos y habilidades adquiridas por los participantes desde la primera secuencia. Estas habilidades serían la apropiación del conocimiento acerca de la controversia, tanto los conocimientos disciplinares acerca de la estructura del ADN como el desarrollo de las habilidades del pensamiento crítico asociadas a la argumentación mediante procesos dialógicos y dialécticos (Leitao, 2012). A continuación, se presentan los objetivos tanto epistémicos como no epistémicos de esta secuencia y posterior a estos, la descripción de las actividades realizadas.

**Objetivos Epistémicos:** comprender la composición del ADN, su estructura química y su función biológica a través de la experimentación.

**Objetivos no epistémicos:**

- Elaborar estándares de cooperación y colaboración intra- e Inter equipos para participar en debates y otras actividades científicas, intercambiar ideas y planteamientos de indagación, etc.
- Manejar técnicas básicas (lenguaje verbal, gestual, oratoria, estética, etc.) para la presentación en público de los resultados de un debate acerca de la controversia.

A continuación, se describe el proceso de recontextualización a partir de las actividades Ad hoc diseñadas para la segunda secuencia:

- *Laboratorio*: En este laboratorio se realiza una práctica acerca de la extracción de ADN de frutas con el objetivo de reconocer o acercar a los participantes a prácticas asociadas al trabajo científico con relación del ADN. Por otro lado, esta práctica permite a los participantes indagar algunas características de la distribución del material genético en frutas como la fresa, el mango, el banano, entre otras. Esta práctica se realiza bajo la mirada de la experimentación cualitativa exploratoria. Al respecto, Montoya & Rodríguez (2022) invitan a “(...) abordar la enseñanza de las Ciencias Naturales desde una perspectiva que ubique a los hechos como objetos de estudio, donde sean los sujetos con su carga cultural e histórica los que construyan explicaciones para los fenómenos estudiados” (p.55). Esto es importante mencionarlo, ya que la guía o manual de este laboratorio se aleja de las guías convencionales y por el contrario invita al participante a ser dueño y responsable de la construcción de su práctica de laboratorio, al ser posible relacionar los conceptos teóricos vistos en clase con la práctica.
- *Debate*: éste se realizó en torno a los siguientes núcleos temáticos:
  1. Eficiencia en la investigación (modelos estructurales del ADN, publicaciones, trabajo científico).
  2. Relaciones interpersonales. (relaciones entre Watson & Crick, Rosalind Franklin, Maurice Wilkins y Gosling)
  3. Contexto sociocultural. (papel de la mujer en la ciencia, relaciones de género, ¿derecho al Nobel?)
- *Cuestionario KPSI Final*: Este es igual al cuestionario inicial y se realizó para evidenciar los avances generados con la implementación de la propuesta didáctica.
- *Evaluación*: para este proceso se tienen en cuenta los cuestionarios KPSI (inicial y final) los cuales sirvieron como insumo para comparar las respuestas dadas por los estudiantes y su avance posterior al desarrollo temático. La evaluación formativa, favorece la retroalimentación durante el desarrollo de las actividades y valorar si el contenido es asimilado durante las mismas. Sumado a lo anterior se tuvo en cuenta un portafolio, que recopilaba las actividades desarrolladas por los estudiantes y su evolución.

## **6.8 Consideraciones éticas**

Con el propósito de alcanzar los objetivos propuestos, los investigadores presentarán la información con claridad y transparencia, bajo los criterios de respeto, responsabilidad, flexibilidad, apertura al cambio, valoración de la información y del dato, además de calidez. Se generará confianza para que cada uno de los participantes exprese sus apreciaciones y plantee sus posturas, invitando a la argumentación para que las ideas tengan solidez y rigor en esta labor. La información aportada es utilizada sólo para los fines definidos en la investigación sin que los participantes adquieran contraprestación alguna; sus nombres serán remplazados con seudónimos, excepto que ellos mismos propongan lo contrario o algo diferente. El nombre de los participantes se mantiene en privado con el fin de salvaguardar su identidad, acudiendo de esta manera al dato y no a la persona que lo emite.

La información registrada se utilizó únicamente con fines académicos relacionados con este proyecto sin que genere perjuicio alguno para los participantes. Así ha sido entendido por la comunidad educativa de la Institución Educativa a quien se le socializó un consentimiento informado para realizar la investigación.

Complementando lo anterior, se consideró el protocolo y consentimiento informado retomado del grupo ECCE (Estudios Culturales sobre la Ciencia y su Enseñanza), en donde los acudientes de los participantes debían firmarlo para hacer parte en la investigación. La estructura de este documento se basa en presentar la introducción, el procedimiento, los beneficios, los riesgos, la confidencialidad y los datos de los investigadores para contextualizar a los acudientes acerca de la investigación. (Ver *Anexo 4. Protocolo y Consentimiento Informado*)

## **7. Hallazgos**

En este apartado se muestran los resultados de análisis de la información registrada. Para este mismo análisis se tuvo en cuenta la red de categorías e indicios la cual permite realizar un mejor análisis y clasificación de esta información, ya que estas hablan de aquellos aspectos epistémicos, no epistémicos y el fortalecimiento de las habilidades del pensamiento crítico. A continuación, se procede a mostrar los hallazgos de las respectivas categorías de análisis e indicios de esta investigación.

### **7.1 La controversia científica como facilitador para la comprensión del ADN y su estructura**

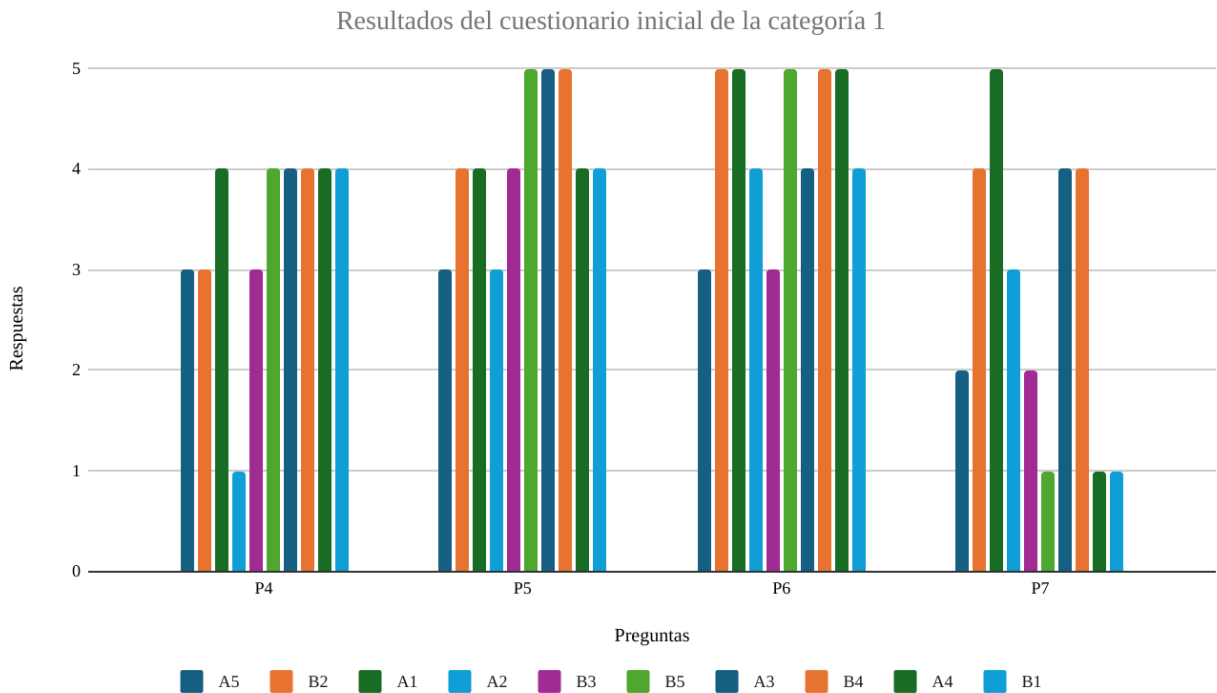
Esta categoría surge de la necesidad de ir más allá de enseñar la controversia en sí misma, dado que es importante no dejar atrás el asunto teórico que motiva esta controversia y es el estudio y comprensión del ADN. La intención de este apartado es conocer cómo ciertos elementos de la controversia sirven para la enseñanza de los conceptos del ADN, a través de prácticas experimentales, debates en los cuales se entrelazan aspectos epistémicos y se analizan qué tan pertinentes fueron estos elementos para la construcción de este conocimiento. Por esto mismo, es importante saber cómo los participantes aprenden acerca de la estructura del ADN y sus procesos mediante una enseñanza y secuencias construidas bajo la mirada de la controversia, en donde se promueve el aprendizaje a partir de experimentos, textos de apoyo, videos y la narración del trabajo científico hecho por estos investigadores protagonistas de la controversia.

En este apartado se analizan las respuestas de los participantes en las actividades realizadas como: Los cuestionarios KPSI1 y KPSI2, el experimento de extracción de ADN (LAB) en frutas con las respuestas de la guía construida bajo el enfoque cualitativo exploratorio, la historieta (HADN) y los debates (Deb). En este último se encuentran argumentos de los estudiantes acerca de los modelos de la estructura del ADN que se han mostrado durante la controversia. Los indicios elaborados para esta categoría son:

- Utiliza elementos discutidos en la controversia para explicar el concepto de la estructura ADN.
- Utiliza modelos científicos escolares para representar la estructura del ADN.
- Realiza prácticas experimentales para comprender algunos elementos asociados a la controversia

A continuación, se presentan los resultados de los cuestionarios KPSI inicial y final con referencia a las preguntas que hacen parte de esta categoría 1. En la figura 5, se presentan los resultados del KPSI inicial de la categoría 1:

**Figura 5**  
*Respuestas gráfico KPSI1 Categoría 1*

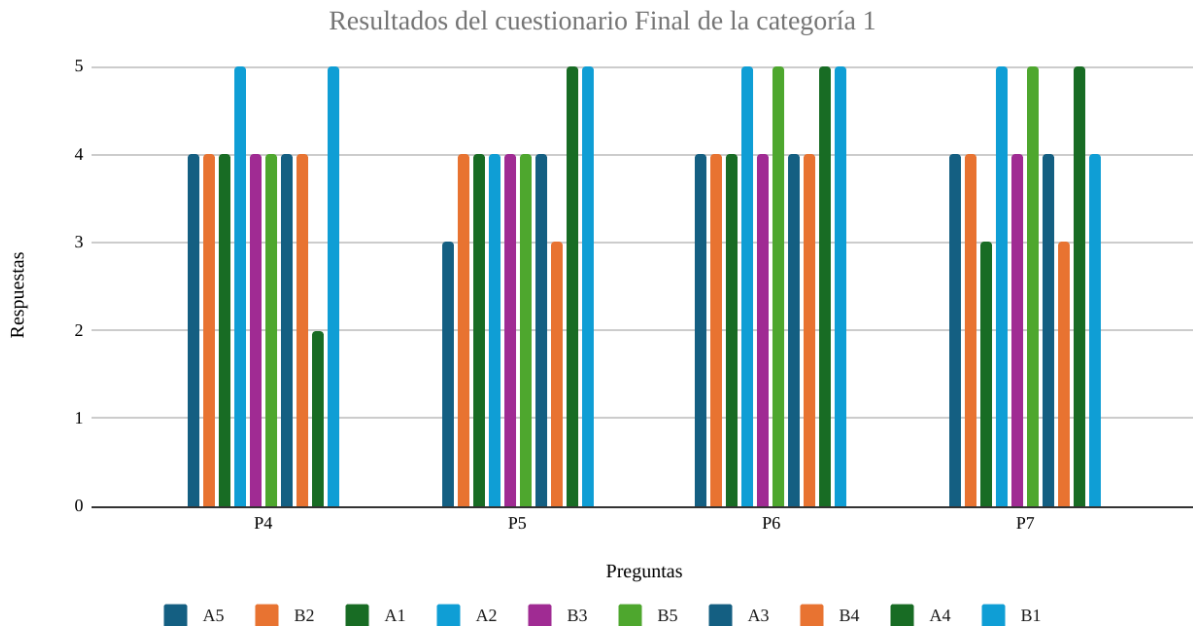


**Nota:** En la figura se presentan los resultados del KPSI1. El Eje 'X' corresponde a las preguntas relacionadas con la categoría P4 a P7. El eje 'Y' corresponde a las respuestas dadas por los participantes (marcados con color) y obedecen a los siguientes criterios señalados de 1 a 5 así: 1. No lo sé; 2. He oído hablar de ello, pero no se casi nada; 3. Sé algo; 4. Lo sé, pero no puedo explicarlo; 5. Lo sé y podría explicarlo a un compañero.

En contraste con lo anterior, en la figura 6 se presentan los resultados del KPSI2 de la categoría 1, se tienen en cuenta las mismas preguntas formuladas en el KPSI inicial de la misma categoría y posteriormente se realiza el análisis:

**Figura 6**  
*Respuestas gráfico KPSI2 Categoría 1*





**Nota:** En la figura se presentan los resultados del KPSI1. El Eje 'X' corresponde a las preguntas relacionadas con la categoría P4 a P7. El eje 'Y' corresponde a las respuestas dadas por los participantes (marcados con color) y obedecen a los siguientes criterios señalados de 1 a 5 así: 1. No lo sé; 2. He oído hablar de ello, pero no se casi nada; 3. Sé algo; 4. Lo sé, pero no puedo explicarlo; 5. Lo sé y podría explicarlo a un compañero.

Las preguntas formuladas en esta categoría son las siguientes:

P4 ¿Sabes que el ADN está conformado de una estructura química compleja?

P5 ¿Reconoces que el ADN cumple funciones biológicas como la herencia de rasgos?

P6 ¿Sabes cómo se representa la estructura del ADN?

P7 ¿Conoces alguna historia sobre cómo se construyó el modelo del ADN?

En las figuras se puede evidenciar un progreso respecto a la comprensión de la estructura de ADN, enfatizando mucho más en la última pregunta relacionada con la historia del estudio de este concepto. Esto indica que los participantes en sus clases anteriores sí sabían de conceptos de la estructura del ADN, pero sin tener en cuenta los elementos históricos de este tema, evidenciando así la presunta ausencia del componente histórico en las clases de ciencias. Es así como gracias a las respuestas de los estudiantes se ratifica la importancia de la historia de las ciencias para la enseñanza que expone Izquierdo Et al, (2016) dado que muestra de los procesos científicos y el establecimiento de conexiones interdisciplinarias y de motivación para los estudiantes. Por otro lado, los resultados obtenidos frente a las demás

preguntas propuestas en los KPSI se ubican en el criterio 4 (Lo sé, pero no puedo explicarlo); por un lado, se considera positivo el aumento dado que se observa avances en la adquisición del conocimiento; sin embargo en otros casos, estudiantes que estaban en el criterio 5, bajaron al 4, esta situación puede deberse a que algunos participantes se sienten más cómodos en expresar sus ideas de manera verbal que escrita, por ende sí lo saben explicar de acuerdo al criterio 5 pero se evidencia esto más adelante en los resultados de la guía para la socialización referente a la historieta (HADN) y al cuestionario de preguntas abiertas referente a la práctica de laboratorio (LAB).

Un ejemplo de este progreso respecto a la estructura del ADN es la del participante B1 en la pregunta 4 (¿Sabes que el ADN está conformado de una estructura química compleja?). En el KPSI 1 responde: lo sé, pero no puedo explicarlo, en el KPSI2 responde: lo sé y podría explicarlo a un compañero, con la siguiente justificación: “la estructura del ADN contiene bases nitrogenadas que se enlazan específicamente, por ejemplo, la timina, guanina, adenina, citosina” (KPSI1B1-P4). Para ejemplificar más este avance del estudiante, se observa que en la pregunta 5 (¿Reconoces que el ADN cumple funciones biológicas como la herencia de rasgos?) el estudiante en el KPSI 1 responde: lo sé, pero no puedo explicarlo, en el KPSI2 responde: lo sé y podría explicarlo a un compañero, con la siguiente justificación: “el ADN contiene la información genética que decide que rasgos heredamos de nuestros padres” (KPSI2B1-P5). Lo anterior es relevante y es posible que sea debido a las actividades de recontextualización donde se mencionan aspectos claves de esta estructura cuando se analiza la fotografía 51 y que se explican las bases nitrogenadas y la doble hélice.

Tal como lo mencionan Izquierdo Et al, (2016) “Al entender cómo se ha construido el conocimiento científico, los estudiantes adquieren una perspectiva más completa de la ciencia y pueden involucrarse de manera más significativa en su aprendizaje” (p.43), sumado a ello cambian la manera en que interiorizan los conceptos y de comprender su naturaleza. Al respecto Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón-Méndez (2017) a partir del estudio desarrollado en un proceso similar, afirman que el análisis crítico y reflexivo de las controversias de la HC se convierten en una estrategia didáctica eficiente para aprender acerca de la NOS, es así como a partir de estos hallazgos se corrobora esta postura y se asume como necesario su implementación en otros nuevos procesos de aprendizaje.

Conviene retomar los aportes de los participantes en el debate, relacionados con la controversia científica. Aunque en el debate el tema central fue los conceptos acerca de la

estructura del ADN, los aportes de los estudiantes se relacionan más con los procesos que se llevaron a cabo para el estudio de dicha estructura, el contexto histórico que los rodeo y los hechos que dieron pie al surgimiento del concepto. A continuación, se presentan las siguientes UA:

Para esta parte del debate, se mencionaban los modelos del ADN donde el participante A4 dice: “Ciertamente el modelo de triple hélice que produjeron Watson y Crick fue el más cercano y coherente cuando no había otros”.

B2: "En base a los estudios de Rosalind Franklin. Es correcto decir que el modelo de triple hélice es químicamente incorrecto, y en base a esto Rosalind Franklin, En 1952. Publicó un informe científico(...) donde publicó sus estudios y mediciones exactas que le permitirán llegar al modelo de doble hélice”. (...) Retomando a la importancia del modelo de tres hélices, el participante A4 dice: “En ese momento era el más cercano...Más aproximado”

B1: De hecho, eso es mentira porque Franklin había propuesto el modelo de doble hélice antes de que Watson & Crick propusieran el de triple hélice”

B3: “En esa estructura de tres hélices, Rosalind hizo muchas observaciones y se dio cuenta que no era nada viable ya que tenía muchos errores que había que tener en cuenta”. (DEBB3)

De acuerdo con las anteriores UA, si bien no se debate acerca de las bases nitrogenadas, si se menciona el proceso en el que cambiaban los modelos y sus errores químicos, pero también sus beneficios al ser un primer acercamiento de la estructura que tuvo el modelo de triple hélice. Un hallazgo para destacar es que el participante B2 obtuvo información de fuentes externas denotando así interés hacia la temática al tratar de indagar por sus propios medios acerca de la controversia, este hecho hace parte del indicio “Utiliza elementos discutidos en la controversia para explicar el concepto de la estructura ADN”, involucrando otras fuentes de consulta de manera independiente. En términos generales se observa que los participantes demuestran interés en la temática y en la forma en que estos modelos estructurales cambian de acuerdo con las posturas.

En la actividad relacionada con la extracción de ADN en frutas, se dieron aportes significativos no solo con la estructura del ADN, sino también con la importancia en las funciones biológicas. Por ejemplo: ante la pregunta ¿Podemos extraer ADN de las fresas? ¿Por qué?, se presenta la respuesta del participante A1: “Si, porque las fresas son una extensión del

ser vivo que es la planta, por ende, contiene el ADN de la planta” LABA1, también: “sí, ya que esta tiene semillas con proteínas y material genético (...) y gracias a esto, salen las semillas” LABA2, “si se puede porque proviene de una planta y las plantas son seres vivos, por lo tanto, tienen ADN” LABB1. De lo anterior se deduce que los participantes establecen la relación ADN- ser vivo, pero no realizan un énfasis en que la fruta es el cuerpo sexual de la planta. En cuanto al indicio, la UA pertenece al siguiente: *Utiliza modelos científicos escolares para representar la estructura del ADN*. Es pertinente este indicio, ya que, aunque no es parte de la estructura, se menciona la importancia biológica del ADN, reconociendo esta molécula como característica exclusiva de un ser vivo. Nótese cómo lo anterior presenta estrecha relación con lo expuesto por Romero-Chacón et al (2017) acerca de la propuesta de enseñanza de las ciencias en torno a la experimentación, lo cual constituye un proceso de recontextualización de saberes, ligado de manera estrecha a lo que se denominaría construcción de la historicidad de las ciencias.

En el laboratorio fue posible evidenciar el conocimiento que tienen los participantes acerca del funcionamiento y la estructura del ADN y su aplicabilidad en algunos ejercicios de la vida diaria. Se pretendía en este laboratorio que los estudiantes identificaran fibras de ADN en estructuras comunes a través de un acercamiento a prácticas científicas; si bien no se contaba con elementos avanzados para el análisis de estas muestras, fue posible que, a través de la experimentación, se realizaran ejercicios prácticos que favorecieron la generación de hipótesis frente a los resultados observados y elementos manipulados en el laboratorio. Los estudiantes realizaron algunas predicciones y establecieron usos de algunos materiales a partir de su composición. Por ejemplo, al preguntarles ¿por qué se usamos detergente y no otro líquido?, los estudiantes responden que “se utiliza porque el detergente nos ayuda a desengrasar la membrana ya que es muy grasosa” (LABB1), otro aporte muy similar es el del participante A2: “creo que nos ayuda a verlo más claro ya que les quita la grasa a todas las células”. Es importante mencionarlo, ya que reconoce que la membrana celular está compuesta por fosfolípidos que son un tipo de grasa, a su vez el detergente tiene la función de quitar impurezas y grasas, por lo cual es útil en este proceso y podría romper su membrana por la afinidad química.

Por otro lado, es importante ver las siguientes UA correspondientes a la selección de las frutas, se preguntó a los participantes el por qué se eligieron fresas y no otras frutas; el participante A2 responde: “Es que [la fresa] tiene mejor densidad y se podrá ver mejor gracias a todos sus cromosomas”, (B4): “porque tiene más cromosomas”, (B2) “la fresa tiene más

facilidad de aparear los cromosomas”. Los participantes son conscientes de la densidad del material genético de acuerdo con la agrupación de los cromosomas, ya que los cromosomas de las fresas se aparean de forma  $4n$  (lo cual le da una mayor densidad y, por ende, tendría una mayor visibilidad) comparado con los humanos que son  $2n$  (y se agrupan por par de cromosomas), dando como resultado una mejor visión del enrollamiento de los cromosomas como se puede ver en la ilustración 7.

**Figura 7**  
*ADN de la fresa*



*Nota:* Fuente propia

Frente a este asunto, Romero-Chacón et al (2017) consideran preciso superar la mirada clásica acumulativa del conocimiento que sobrevalora la dimensión teórica sobre la experimental y propender mejor por una visión integradora en la cual la teoría y la práctica no sean dimensiones separables en la construcción del conocimiento. Es así como la experimentación cobra relevancia en los procesos de aprendizaje dado que no puede asumirse ésta como una derivación de la teoría, por el contrario, debe verse como un proceso integrador necesario que favorece la adquisición del saber.

Otro ejemplo se relaciona con los aportes de la pregunta ¿qué función cumple el alcohol y por qué es necesario enfriarlo? Obteniendo las siguientes UA: “el alcohol ayuda a sacar el ADN de la célula de la fresa” (LABB3), “Este hace que el ADN salga” (LABA2), “El alcohol frío ayuda al ADN a salir de la sustancia de la fresa para sacarlo de una forma más fácil” (LABA3) y “el alcohol frío congela las fibras de ADN y tiene una mejor consistencia”. Se observa como los participantes relacionan las propiedades solubles del ADN para la aplicación

en el experimento, lo anterior correspondiente al indicio: *realiza prácticas experimentales para comprender algunos elementos asociados a la controversia se encuentra la siguiente unidad de análisis.*

Por último, se muestran las unidades de análisis respecto a la socialización de la historieta, la cual presenta relación con el instrumento del guion para la socialización y con el indicio *utiliza elementos discutidos en la controversia para explicar el concepto de la estructura ADN.*; algunos participantes mencionan los componentes de la estructura del ADN respondiendo a la pregunta *¿cómo está formada esta estructura?* A3 responde: “De dos hélices y estas líneas (señala las bases nitrogenadas de su historieta)” (HADNA3), B4 indica que “de la doble hélice” (HADNB4). Los participantes pueden identificar las partes de la estructura del ADN desde los elementos vistos en las distintas actividades de recontextualización siendo conscientes de que está formada por una doble hélice y sus bases nitrogenadas.

En conclusión, es posible afirmar que la cantidad más considerable de UA son relacionadas con la experimentación ya que esta se enfoca netamente en esas propiedades químicas del ADN y un acercamiento a los trabajos relacionados con esta molécula. Con base en lo anterior, Rodríguez- Ramírez y Romero-Chacón (2023) expresan que una de las bondades de la EC es la posibilidad que tienen los estudiantes de construir y manipular instrumentos científicos, interpretar diversas situaciones y visualizar diferentes respuestas ante un problema o situación; es así como la experimentación favorece la adquisición del aprendizaje y además “(...) potencializa las relaciones entre docente-estudiante y estudiante-estudiante, situación que favorece el trabajo colaborativo y posibilita una interacción discursiva y la co-construcción reflexiva” (p.438) la experimentación permite a los estudiantes explorar otras maneras de aprender o adaptar las mismas a sus propias necesidades de aprendizaje además de poner en consideración un saber comprobándolo a través de la experimentación. Esto se hace bajo la necesidad de cambiar algunos estilos de enseñanza que puedan mostrar la ciencia de una manera permeada por otros asuntos ya sean históricos, culturales, económicos, entre otros para contextualizar así al estudiante (Ruiz, Beltrán y Barbosa, 2015).

## **7.2 La controversia científica como evidencia de la influencia de las relaciones interpersonales entre científicos para la construcción del conocimiento.**

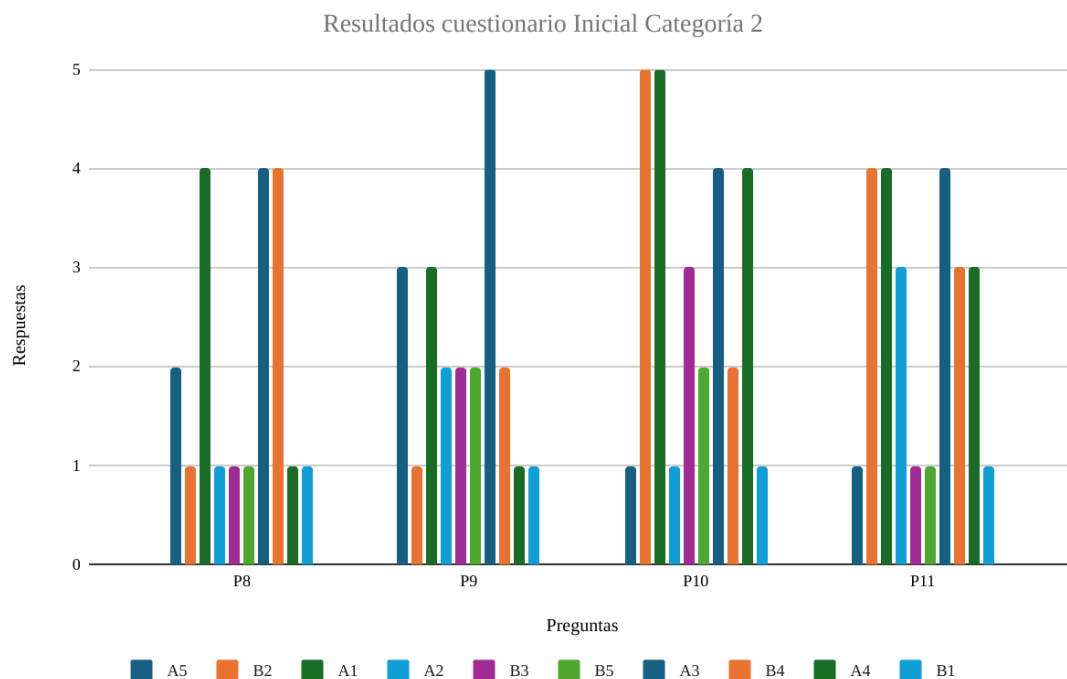
Para esta segunda categoría, es necesario observar las respuestas de los participantes respecto a los asuntos no epistémicos que se tratan en la controversia tales como: el rol de la

mujer en la ciencia (invisibilizarían de los aportes de Rosalind Franklin), el papel de las comunidades científicas (validan los conocimientos, más no investigan a profundidad los métodos con los cuales se generan los mismos), las relaciones interpersonales entre los científicos (en algunos equipos las relaciones eran tensas, mientras que en otras eran fluidas) y el mismo contexto sociocultural que permeaba a la época (se privilegiaba el rol del hombre sobre el de la mujer). Para esto, los instrumentos que ayudaron a comprender el caso fueron los cuestionarios KPSI y el debate, donde se concentran en gran medida los aportes respecto a estos asuntos no epistémicos. Para ello es necesario recordar estos indicios:

- Reconoce la diversidad de perspectivas en el proceso de construcción de conocimiento.
- Identifica algunas causas de exclusión de la mujer en campo científico y tecnológico
- Utiliza ejemplos que permiten evidenciar la invisibilización de la mujer en la ciencia.

A continuación, se presentarán las UA correspondientes a cada indicio y a su vez, cada instrumento relacionado con esta categoría. En primera instancia se presenta los resultados de los cuestionarios KPSI con relación a las preguntas que tienen que ver con esta categoría y que se ilustran a través de las siguientes figuras:

**Figura 8**  
*Respuestas gráfico KPSII Categoría 2*

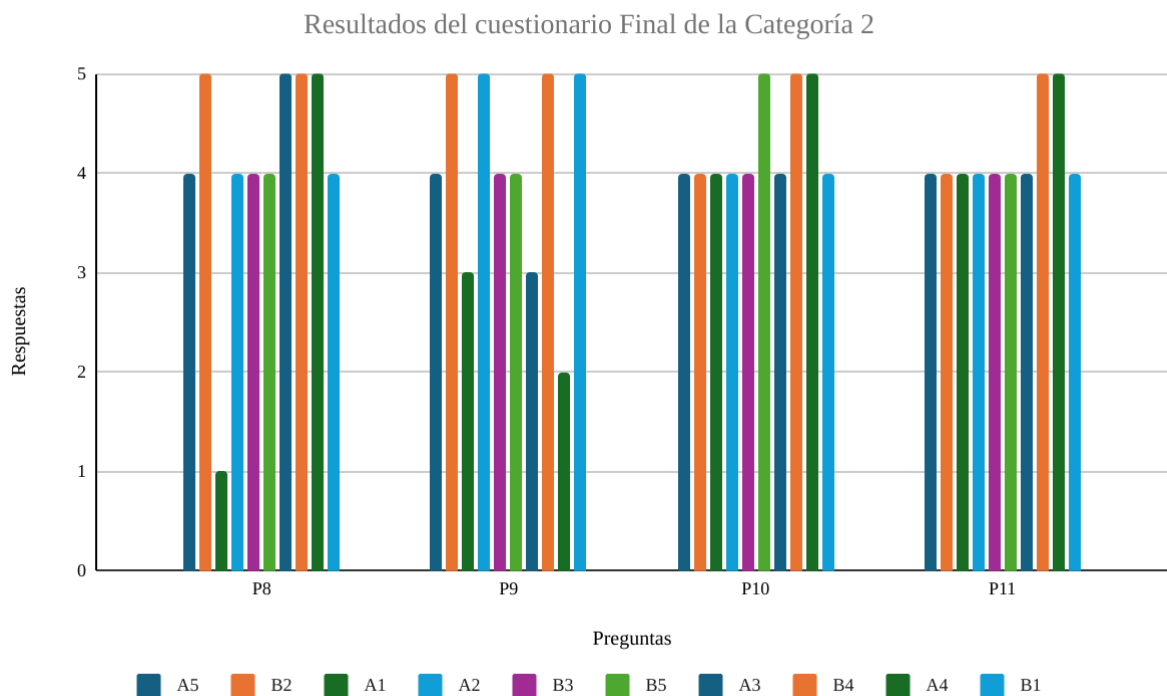


**Nota:** En la figura se presentan los resultados del KPSI1. El Eje ‘X’ corresponde a las preguntas relacionadas con la categoría P8 a P11. El eje ‘Y’ corresponde a las respuestas dadas por los participantes (marcados con color) y obedecen a los siguientes criterios señalados de 1 a 5 así:

1. No lo sé; 2. He oído hablar de ello, pero no se casi nada; 3. Sé algo; 4. Lo sé, pero no puedo explicarlo; 5. Lo sé y podría explicarlo a un compañero.

En esta categoría, se presentan a partir de las figuras 8 y 9 los resultados más significativos respecto a la controversia científica como evidencia de la influencia de las relaciones interpersonales entre científicos para la construcción del conocimiento. En la figura 9 se expresan los resultados para la categoría 2

**Figura 9**  
Respuestas gráfico KPSI2 Categoría 2



**Nota:** En la figura se presentan los resultados del KPSI1. El Eje ‘X’ corresponde a las preguntas relacionadas con la categoría P8 a P11. El eje ‘Y’ corresponde a las respuestas dadas por los participantes (marcados con color) y obedecen a los siguientes criterios señalados de 1 a 5 así: 1. No lo sé; 2. He oído hablar de ello, pero no se casi nada; 3. Sé algo; 4. Lo sé, pero no puedo explicarlo; 5. Lo sé y podría explicarlo a un compañero.

Las preguntas formuladas en esta categoría son las siguientes:

P8 ¿Conoces alguna discusión relevante que haya ocurrido entre científicos a lo largo de la historia de la ciencia?

P9 ¿Reconoces algunas mujeres destacadas en el campo científico y sus contribuciones?



P10 ¿Conoces algunas razones por las cuales las mujeres pueden sentirse excluidas en el campo científico y tecnológico?

P11 ¿Las relaciones interpersonales entre los científicos pueden influir en el trabajo realizado por las comunidades científicas?

Se percibe, en particular, progreso en alto porcentaje de la comprensión respecto a estos asuntos no epistémicos por parte de los estudiantes, evidenciando que dichos asuntos no son vistos normalmente en el aula con el grupo. En efecto y de acuerdo con lo planteado por Páez y Quevedo (2014) las controversias histórico-científicas representan un elemento que posibilita mejorar las prácticas educativas dado que no abarca sólo el concepto, sino que brinda una mirada más integral de la disciplina como tal. Así pues, el trabajo en el aula de controversias posibilita el aprendizaje e indudablemente propenden por el desarrollo de competencias en los estudiantes tanto al momento de adquirir el aprendizaje como en el perfeccionamiento de sus habilidades argumentativas.

En este sentido, una de las UA que se destaca es la expresada por el participante A4 respecto a la pregunta 8 (¿Conoces alguna discusión relevante que haya ocurrido entre científicos a lo largo de la historia de la ciencia?) en el KPSI1 responde con el criterio 4 “lo sé, pero no puedo explicarlo”. Posteriormente, en el KPSI2 se evidencia un avance significativo, dado que el participante conoce el concepto y es capaz de argumentarlo al enunciar: "La controversia de Watson y Crick y Rosalind Franklin, la cual se basa en que Watson y Crick "robaron" la foto 51, la cual los llevaría hasta la estructura del ADN y la controversia está en que no le dieron créditos suficientes a Franklin" (KPSI2-A4) otro ejemplo de este asunto: “Cuando Watson y Crick tomaron sin consentimiento de Rosalind Franklin la foto de la estructura del ADN” (KPSI2-A3) otro ejemplo “el contraincanto<sup>7</sup> (*sic*) entre Watson, Crick y Rosalind Franklin” (KPSI2-B2)

Por consiguiente, en el ejemplo presentado anteriormente, luego de la implementación del proyecto y participar en las actividades propuestas, el participante logra responder a esta pregunta según lo esperado, es evidente que ya tiene un panorama más claro sobre estos aspectos históricos y no epistémicos respecto a la relación entre los científicos para elaborar conocimiento, pues ha analizado el contenido temático, ha debatido acerca del mismo y por ende los conceptos han sido analizados lo que favorece su aprendizaje. En pocas palabras, la controversia científica permite crear interés en los estudiantes por los procesos de aprendizaje

---

<sup>7</sup> El participante hace referencia al ‘enfrentamiento’ entre los científicos mencionados.

mejorando actitudes y aptitudes crítico-argumentativas, en pro de la formación de ciudadanos reflexivos en diferentes situaciones y contextos (Muñoz, 2014) de ahí su pertinencia para su implementación en entornos escolares.

En cuanto al debate crítico, tuvo un gran aporte con respecto a las relaciones interpersonales entre científicos, donde se encuentran las siguientes unidades de análisis:

En este momento del debate se hablaba acerca de qué habría pasado si Watson y Crick no hubiesen podido tomar la fotografía 51 y si hubiese sido posible que no lanzaran su modelo sin necesidad de esta fotografía, ante esto mencionan que gracias a los modelos experimentales podrían llegar al modelo oficial sin necesidad de la foto,

A4 dice: “Watson y Crick se basaban más en su experiencia, datos experimentados y con su modelo de tres hélices fue el modelo no oficial más cercano” (Deb-A4).

B3: ¡Imagínese tenían un modelo de tres hélices y aun así se robaron esa foto! (DEBA3).

A5: No, no la robamos otra cosa es que su compañero no lo hubiera pasado a nosotros sin nosotros pedírsela. (DEBA5).

A3: y no fue un robo porque ellos publicaron su modelo de doble hélice en el mismo número de revista que Rosalind publica la foto 51, entonces esto quiere decir que reconoció a ambos grupos entonces no fue un robo. (DEBA3).

A2: “(...) que esto no hubiera sucedido si los científicos hubieran decidido trabajar unidos y no generar discordia al trabajar en dos equipos” (DEBA2).

B2: “el Kings College publico los estudios de Rosalind Franklin, en base a esto Crick mencionó que sin estos no hubieran podido llegar al modelo de doble hélice, que fue una gran ayuda”.

A3: “es verdad, Si no hay que negar que la foto fue una pieza clave”

B4: “Pero sin esa foto no hubieran hecho nada.”

A5: “No, porque tarde o temprano íbamos a llegar a ese modelo”

Luego de esto, se mencionan algunos aspectos del poco reconocimiento que le dieron a Franklin.

B1: (...) Pero si lo que debieron hacer fue darle el suficiente reconocimiento.

A3: Pero eso no es culpa de Watson y Crick, eso es de los organizadores del Premio Nobel. Ellos enfatizaron el conocimiento que ellas tenían en los rayos X.

A continuación, se da un giro al tema del por qué el favoritismo por Watson & Crick.

B2: “(...)Si bien Watson y Crick tuvieron mayor acogida por el público científico esto se debe a que ambos eran hombres y ambos tenían buena relación (...) el informe científico de Rosalind Franklin donde ella publicó sus estudios casi acertados, estos no fueron acogidos por el simple hecho de ser mujer” (DebB2).

B4: “Ellos no pueden controlar a los organizadores, pero si lo que van a decir en el discurso y debieron darle los créditos al autor que sería Rosalind Franklin” (DebB4).

B1: “(...)Pues de hecho en esa época como muy bien sabemos todos era una época en general machista, entonces el hecho de que era un equipo de hombres le daba más favoritismo hacia un público de científicos que estaba más acostumbrado a que los hombres fueran los que descubrieran las cosas y eso” (DebB1)

A4: “Si bien es una época machista, que eso no se puede negar, dicen que Watson y Crick tomaron la investigación de Franklin para hacer su propio modelo. que ella propuso un modelo de doble hélice antes que ellos. No supo aprovechar bien su investigación y de hecho por eso fue que Watson y Crick propusieron un modelo más correcto y coherente. Por eso, considero que fue más reconocido”. (DEBA4)

Con base en lo anterior, se identifica que el participante reconoce distintos modelos para defender su postura, mencionando la importancia del modelo de las tres hélices para dar acercamientos al modelo conocido, utilizando elementos de la controversia para reforzar su argumento.

El participante responde al otro equipo que el modelo de tres hélices usado por Watson & Crick, inspirado de Linus Pauling, aunque es descontinuado, sirvió para impulsar las investigaciones del ADN y para elaborar mejores modelos que se acoplen a lo que es el ADN. Con motivo de este asunto, conviene mencionar la premisa de Romero-Chacón (2013) quien afirma que “La NdC puede aprenderse ‘mejor’ mediante una enseñanza explícita y reflexiva en diversos contextos de aprendizaje, es decir, puede resultar más efectivo su aprendizaje mediante actividades basadas en procedimientos de la ciencia o en hacer ciencia en la escuela” (p.73) de igual manera, la controversia favorece el poner en escena los aprendizajes al establecer relación con la cotidianidad; de ahí que se considere que la HC no sólo da cuenta de la evolución cognitiva, conceptual y experimental de la ciencia, sino que también a partir de ella se explica la manera en que la ciencia se inserta en la sociedad (Uribe Mendoza, 2017).

Cuando se abordó el asunto sobre las relaciones interpersonales entre los equipos de científicos y su participación en el proceso investigativo, quienes estaban a favor de la postura B manifestaron que eso no era motivo para engañar y ‘robar’ el trabajo de Rosalind [Franklin]”.

Si bien se destaca el aporte científico y el descubrimiento realizado, los participantes tienden a cuestionar las actitudes y posturas de las personas que se vincularon a este descubrimiento, en especial al señalar lo acaecido con Franklin.

En línea con lo anterior, respecto al indicio: *identifica algunas causas de exclusión de la mujer en el campo científico y tecnológico*, es importante tener en cuenta los aspectos relacionados con el rol de la mujer en la ciencia, dado que la reescritura o la mención de sus aportes en diversas disciplinas no siempre es reconocido, debido a los contextos sociales y culturales en los cuales se dieron y por ello, han sido silenciadas; un ejemplo de lo anterior es el caso de Rosalind Franklin, que dio lugar a la controversia científica acerca de del ADN. Tomando como base el reconocimiento dado a Watson & Crick por la comunidad científica debido a su trabajo en el descubrimiento de la estructura del ADN y que por el mismo les fue otorgado el premio Nobel, se indaga en los estudiantes si los científicos tuvieron tal aceptación por el hecho de ser hombres; frente a esta pregunta, los participantes expresan que Watson & Crick no tenían nada que ver con las inclinaciones que tuviese la comunidad científica y organizadores del Nobel para la entrega del premio y los reconocimientos a los actores que tuvieron que ver con el estudio del ADN. Cabe mencionar que en el siglo pasado sólo once premios Nobel fueron otorgados a mujeres en las áreas de ciencia, física y medicina, siendo consistente una diferencia numérica en cuanto a los hombres a pesar de identificar casos documentados de mujeres científicas exitosas (Waksman, 2005) este hecho fue motivo de debate concluyendo que tanto hombres como mujeres deberían tener las mismas oportunidades de sobresalir por su trabajo.

En cuanto al indicio: *Utiliza ejemplos que permiten evidenciar la invisibilización de la mujer en la ciencia*, se puede inferir que para este momento se estaba hablando del contexto histórico respecto al favorecimiento de Watson & Crick por la comunidad científica de acuerdo con sus trabajos para ganar el Nobel, se puede ver que los participantes del equipo a favor de Franklin realizan una crítica a la época ya que los aportes de ella no fueron tenidos en cuenta por su sexo.

Es importante resaltar que las expresiones de los participantes relativas a su concientización del rol de la mujer en la ciencia fueron posible por su abordaje explícito a través de la secuencia didáctica propuesta. Después de observar las UA del debate se perciben los asuntos de género en el contexto sociocultural de la época, ya que se habla mucho de la invisibilización de la mujer en la ciencia con ejemplos muy marcados acerca del favoritismo hacia los hombres respecto a asuntos científicos. Históricamente, “(...) la mujer científica ha



Un tema que genera curiosidad en los estudiantes y que fue recurrente en su discurso, fue la inquietud acerca del rol de la mujer en la ciencia en el mundo actual, sin embargo, dichas cuestiones fueron plasmadas en las historietas que crearon los participantes, demostrando respaldo hacia Rosalind Franklin como eje temático del ejercicio, al tachar de ‘injusto’ la falta de reconocimiento de obtuvo frente a su descubrimiento. Un ejemplo de ello es el siguiente aporte “Principalmente por el machismo de la época y por qué se suponía que las mujeres estaban hechas para trabajos domésticos” (HADNA4), se puede identificar que: en este caso, se le preguntó al estudiante respecto al por qué se daba tanta exclusión a la mujer en el campo científico evidenciando un análisis enmarcado en aspectos éticos frente al comportamiento de los científicos y sus actitudes de discriminación frente a un miembro del equipo de trabajo. Este tipo de reflexiones trasciende aspectos académicos y temáticos y propende por una visión más integral del proceso.

Teniendo en cuenta lo anterior, Valls-Llovet (2016) afirma que para que las mujeres sean tratadas con igualdad deben ser reconocidas en sus diferencias en pro de la defensa de una vida con calidad; es así como el rol de la mujer debe dejar de verse como inferior o minimizado y más bien centrar esfuerzos en la resignificación del papel de las mujeres desde una perspectiva de potencialidades y no de carencias.

Frente al rol de la mujer y su invisibilización histórica, es pertinente ahondar un poco más en este asunto. Waksman (2005) expresa que “la historia pone en manifiesto cómo las oportunidades de las mujeres han variado con el tiempo y con las barreras estructurales e institucionales existentes desde el nacimiento de la ciencia moderna” (p.3); sumado a ello la autora pone en manifiesto cómo los cargos directivos han sido abarcados por hombres mientras que las mujeres ocupan posiciones medias y resalta que el éxito de la ciencia no ha dependido del pensamiento de una sola persona (o de un solo género) y por ende no se debe mirar en su solo camino.

Los estereotipos sexuales desde que se nace asocian a los varones con ciertas características como dominancia, objetividad, racionalización, entre otras; son características favorables para carreras o profesiones relacionadas con ciencia y tecnología, es por lo que las ciencias se consideraban inadecuadas para las mujeres ya que ‘no cumplen’ con las características masculinas (Waksman, 2005). En efecto el mundo necesita del desarrollo científico, por ende, es necesario aprovechar el talento de hombres y mujeres por igual sin que se privilegie el uno sobre el otro, el objetivo debe ser que la ciencia y la tecnología se conviertan en el motor de desarrollo de la sociedad.

Esta actitud de los estudiantes frente a su concientización del rol de la mujer y el destacar aspectos éticos en la manera de respetar el trabajo de Rosalind Franklin como científico, presenta relación estrecha con la adquisición de habilidades para la vida, las cuales constituyen imaginarios sociales fundamentados en los valores éticos que son enseñados en el colegio con el objetivo de aprender a vivir con los demás. De acuerdo con lo planteado por Parra et al (2021) hoy día las habilidades para la vida “(...) poseen un valor intrínseco y se están convirtiendo en un componente importante en la promoción de la inteligencia emocional, la salud y el bienestar integral” (p.16), por ello no se debe dejar de lado este hallazgo, dado que es un aspecto que sobresale en este apartado y al cual los estudiantes otorgan gran relevancia y da cuenta de los procesos de aprendizaje integral que ellos viven, al trascender los contenidos académicos y establecer relaciones con habilidades sociales; incluso les permite debatir en torno a conductas sociales que favorecen el relacionamiento con el medio en que habitan. El hecho de cuestionar los valores éticos de los científicos frente a la controversia dada entre Rosalind y Watson y Crick da cuenta del nivel de desarrollo de competencias psicosociales que poseen los estudiantes.

De acuerdo con lo presentado en esta categoría, se puede suponer también que influye en gran medida el interés de los participantes para aportar más en este tema. Se destaca en este apartado el uso de historietas, lo cual se considera una estrategia que invita a la participación y a recrear el aprendizaje de manera creativa; para Linares, García y Martínez (2016) “La elaboración y utilización de la historieta permite reforzar el aprendizaje de los alumnos, además de que es un recurso de enseñanza aprendizaje innovador que integra diversas habilidades y formas de comunicar distintos temas de los planes de estudio” (p.12) el uso de estos recursos permite también al profesor explorar otras estrategias que invitan a desarrollar la creatividad, ejercitar la capacidad de analizar y comprender e interpretar representaciones gráficas de la realidad. Sumado a ello el debate favorece el desarrollo del pensamiento crítico y el asumir posturas frente a un tema determinado, es así como a medida que los estudiantes participan en las actividades propuestas, adquieren mayor capacidad de argumentación frente al rol de la mujer en la ciencia, la importancia de las relaciones interpersonales y el reconocimiento de los factores no epistémicos y su influencia en la construcción del conocimiento científico, denotando así que las actividades presentadas fueron pertinentes para su desarrollo y por tanto acordes con los objetivos propuestos.

### **7.3 La controversia científica como estrategia para fortalecer las habilidades argumentativas, basado en los procesos dialógicos y dialécticos**

Esta categoría busca entender y analizar cómo los participantes desarrollan sus habilidades argumentativas mediante las actividades desarrolladas durante el proyecto. Cabe mencionar que más allá de esgrimir un argumento, éste debe ser sólido en su estructura, debido a que los procesos argumentativos permiten presentar contrapropuestas frente a unas ideas que son contrarias, para Leitão (2012) la argumentación es un proceso que implica una voz y distintas voces con sus puntos de vista ya sean divergentes o similares, de ahí que se considere la diferencia en el proceso de argumentación, invitando al debate y al conocimiento de un tema o asunto que favorezca el asumir una postura frente a éste. Se pretende que los participantes argumenten evidenciando estos procesos dialógicos y dialécticos, ya sea para mejorar su comprensión y conocimiento del tema o la construcción de elementos comunicativos como construcciones argumentativas y contra preguntas.

Recapitulando, la argumentación es un acto necesario dentro del proceso de enseñanza aprendizaje, Espinosa Freire (2020) indica que “La argumentación científica es una vía para el desarrollo de las dimensiones, cognoscitiva, procedimental y actitudinal del proceso de enseñanza-aprendizaje” (p.106), situación que representa un gran reto para la educación actual, dado que se hace necesario promover en la escuela acciones tendientes a desarrollar en los estudiantes la construcción de posturas propias que favorezcan su capacidad de argumentar y contraargumentar. Para ello, se retoman los indicios correspondientes:

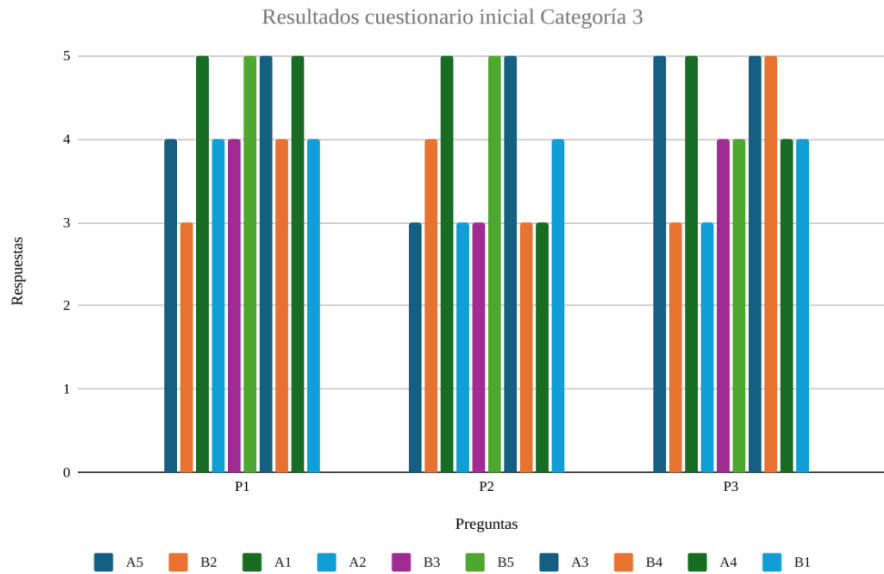
- Valora los aportes de sus compañeros para la construcción de nuevos argumentos.
- Elabora replicas a los contra-argumentos propuestos por otro compañero.
- Realiza preguntas y contra-preguntas en el transcurso de un debate
- Reconoce que los argumentos divergentes contribuyen a consolidar sus propias ideas.

Para esta categoría 3, como instrumentos para el registro de la información se acude al debate, el laboratorio y el cuestionario KPSI; en este último, como se dijo anteriormente, se tienen en cuenta preguntas que consideran los aspectos relacionados con las habilidades del pensamiento crítico tales como los procesos argumentativos, enfatizando en lo dialógico y lo dialéctico cómo lo propone Leitao (2012)

#### **Figura 11**

*Respuestas gráfico KPSII Categoría 3*

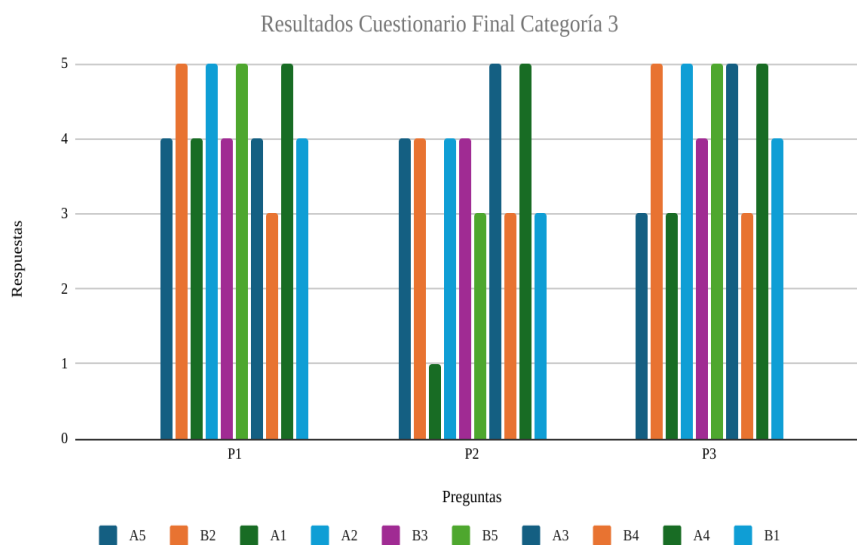




**Nota:** En la figura se presentan los resultados del KPSI1. El Eje 'X' corresponde a las preguntas relacionadas con la categoría P1 a P3. El eje 'Y' corresponde a las respuestas dadas por los participantes (marcados con color) y obedecen a los siguientes criterios señalados de 1 a 5 así: 1. No lo sé; 2. He oído hablar de ello, pero no se casi nada; 3. Sé algo; 4. Lo sé, pero no puedo explicarlo; 5. Lo sé y podría explicarlo a un compañero.

En contraste con lo anterior, en la figura 12 se presentan las respuestas al KPSI2 final respecto a la categoría 3, posteriormente se comparan las respuestas iniciales con las finales y se analizan los resultados.

**Figura 12**  
Respuestas gráfico KPSI2 Categoría 3



**Nota:** En la figura se presentan los resultados del KPSI1. El Eje 'X' corresponde a las preguntas relacionadas con la categoría P1 a P3. El eje 'Y' corresponde a las respuestas dadas por los

participantes (marcados con color) y obedecen a los siguientes criterios señalados de 1 a 5 así: 1. No lo sé; 2. He oído hablar de ello, pero no se casi nada; 3. Sé algo; 4. Lo sé, pero no puedo explicarlo; 5. Lo sé y podría explicarlo a un compañero.

Las preguntas que se formulan en esta categoría son las siguientes:

P1. ¿Reconozco la importancia de escuchar a mis compañeros para conocer sus ideas y éstas me ayudan a construir mis posturas?

P2. ¿Soy capaz de realizar preguntas y contra preguntas a las ideas de un compañero en el transcurso de un debate?

P.3 ¿Reconozco que las ideas contrarias a las mías pueden ayudarme a fortalecer mi conocimiento?

A continuación, se pueden observar las respuestas dadas por el participante B2 a la pregunta número 3 (¿Reconozco que las ideas contrarias a las mías pueden ayudarme a fortalecer mi conocimiento?) de ambos cuestionarios KPSI (tanto el inicial como el final). Ante tal pregunta el participante responde en el KPSI1 lo siguiente: “Todas las ideas son respetables y válidas mientras sean en base a un buen argumento” (KPSI1B2). Aunque no se evidencian indicios de un proceso dialéctico, el participante reconoce la importancia del respeto de las ideas en los debates aclarando que debe ser basada en un buen argumento. Es interesante observar cómo cambia la perspectiva del participante cuando responde a esta misma pregunta en el KPSI2, Luego de la intervención de las demás secuencias, la respuesta es la siguiente: “las ideas contrarias a mis argumentos pueden ser beneficiosas para mi discurso y para elaborar contra preguntas” (KPSI2B2). Con base en lo anterior, se percibe un cambio en lo argumentado por el participante, ya que pasa de sólo respetar ideas, a la transformación de su discurso a partir de las ideas contrarias. Esto se puede leer en Leitao (2012) ya que menciona que más allá de reconocer la diferencia de ideas, es necesario que estas mismas se discutan con todo el respeto.

Por otro lado, se observa a continuación la UA la pregunta 2 de ambos cuestionarios del participante A4; ante la pregunta ¿Soy capaz de realizar preguntas y contra preguntas a las ideas de un compañero en el transcurso de un debate? el participante responde: “Lo he hecho en varias ocasiones, aunque estoy abierto a nuevas ideas siempre trato de verificar la de los otros” (KPSI1 A4). Se aprecia que el participante no privilegia sus ideas o posturas sobre las de sus compañeros máxime cuando éstas presentan alguna diferencia, evidenciando así una cercanía a lo dialéctico. Frente a la misma pregunta, el participante A4 en el KPSI2 responde:

“Para mí es fácil hacer preguntas y contra preguntas, siempre y cuando sea un tema que me interese” (KPSI2A4); a diferencia de la anterior respuesta, en esta pregunta el participante resalta que el interés frente al tema juega un papel determinante a la hora de formular preguntas o contra preguntas frente a un tema determinado, lo cual podría presentar relación no sólo con su motivación sino con el conocimiento que tenga del tema que se esté tratando.

Respecto al debate, se tenía como objetivos: analizar las teorías y evidencias relacionadas con la estructura del ADN, desarrollar habilidades de argumentación y oratoria, fomentar el pensamiento crítico y analítico en los estudiantes; teniendo en cuenta lo anterior, se plantearon tres ejes temáticos:

- Eficiencia en la investigación.
- Relaciones interpersonales.
- Contexto sociocultural.

Se pretende que los estudiantes construyan sus argumentaciones con base en los ejes temáticos y así tengan la oportunidad de inferir, explicar, definir, deducir, analizar, entre otras, las premisas del tema central que es las teorías y evidencias relacionadas con la estructura del ADN. Después de analizar los comentarios de los estudiantes por medio de sus participaciones en el debate y la transcripción de este se obtienen las siguientes unidades de análisis.

B3: “Hay mucho favoritismo entre ellos porque eran hombres y nunca tomaron en cuenta los puntos de vista de Rosalind y sus aportes en la fotografía 51” (DebB3)

A4: “¿ustedes están conscientes que la fotografía que tanto defienden fue tomada por Gosling bajo la supervisión de Franklin?, siendo así no sería machismo ya que la foto la tomo un hombre” (DebA4).

B4: “de todas formas, ¿Como hubiesen podido sacar adelante la investigación de eso sin esa foto?” (DebB4)

A5: “Se sabe que como ellos dos eran muy unidos y eran tan eficaces al publicar, era obvio que ellos iban a sacar primero el modelo correcto, ya que Rosalind pues no era tan eficiente con su compañero por sus relaciones personales” (DebA5).

B1: “De hecho, aunque Franklin tuviera problemas con sus compañeros y aunque llego a hacerlo podría llegar sola a publicar primero y abordar primero el tema de la estructura antes de Watson y Crick” (DebB1).

A4: “Si bien es una época machista, que eso no se puede negar, dicen que Watson y Crick tomaron la investigación de Franklin para hacer su propio modelo, aunque ella propuso

un modelo de doble hélice antes que ellos, no supo aprovechar bien su investigación y de hecho, por eso fue que Watson y Crick propusieron un modelo más correcto y más coherente por eso, considero que fue más reconocido.” (DebA4)

Respecto al indicio: *Realiza preguntas y contra preguntas en el transcurso de un debate* este contrargumento tiene su origen en la posibilidad del estudiante de debatir frente al supuesto del otro equipo del debate quienes esgrimían que hubo discriminación de género hacia Franklin; la pregunta de A4 deja claro que no hubo tal discriminación y, que por el contrario la toma de la fotografía fue un hecho consensuado entre las partes. Se destaca en esta participación la capacidad del estudiante para realizar contra argumentos y utilizar lo dicho por sus compañeros en su contra, con el fin de mantener en pie su postura y defender su punto de vista.

Posteriormente en el debate, los participantes pertenecientes al grupo A (a favor de Watson y Crick) señalan que aparece un colaborador del equipo de Rosalind Franklin, de quien afirman ‘fue él el responsable de tomar la fotografía 51’, dado que se desempeñaba como aprendiz en el laboratorio (Raymond Gosling), expresan que fue él el autor de la fotografía y no Rosalind; este argumento es expuesto con el fin de generar un poco más de debate y avivar la discusión entre ambos grupos, sin que tuvieran certeza de la veracidad de tal afirmación. Aunque la versión de los participantes pretendía sólo activar aún más el debate con un nuevo elemento para la confrontación, se resalta el ingenio y la capacidad para realizar contra-preguntas al equipo contrario basado en lo interiorizado durante su investigación.

El proceso argumentativo, implica un análisis que permita comprender el contexto dialógico en el cual se genera, la revisión de los diferentes puntos de vista (argumento) y las posturas que los mismos desencadenan (contraargumentos) y los diversos resultados que pueden surgir de este proceso teniendo en cuenta la noción dialéctica (Molina y Carlino, 2014). La argumentación presenta estrecha relación con el desarrollo de habilidades cognitivas, las cuales favorecen la comprensión de las consecuencias de las acciones y posibilitan la mirada de los actos, el análisis de resultados y las perspectivas de las personas a futuro; de este grupo de habilidades cognitivas, hace parte el pensamiento crítico (Parra et al, 2021) cuyo desarrollo “(...) permite a los estudiantes tratar adecuadamente la creciente información disponible en la sociedad, analizar afirmaciones o creencias para evaluar su precisión, pertinencia o validez y elaborar juicios basados en criterios que consideren el contexto” (p.2) de ahí que el desarrollo del pensamiento crítico sea inherente a las acciones que se desarrollen para favorecer el rigor académico y el aprendizaje autónomo. Promover la criticidad debe ser una labor indispensable en la escuela, de ahí que los debates sean una actividad fundamental en este proceso.

Al mismo tiempo, también los participantes resaltan y reconocen el buen trabajo en equipo y que estas relaciones interpersonales de los científicos influyen en la producción en su campo. y complementando con lo siguiente: Esto llama la atención ya que mencionan primero los beneficios de realizar un buen trabajo en equipo, sin embargo, tener una relación regular con los compañeros no impide tener una mejor efectividad a la hora de proponer estudios.

También, es importante resaltar la relación de las UA con los siguientes indicios: *“Reconoce que los argumentos divergentes contribuyen a consolidar sus propias ideas”* y *“Elabora replicas a los contra-argumentos propuestos por otro compañero”*. Luego de que el participante A4 pretendiera explicar que los asuntos con la invisibilización en los trabajos de Franklin por ser mujer no era impedimento para seguir avanzando en su modelo y haberlo postulado antes, enfatiza en que debido a que tardó en publicar sus resultados se expuso a que otros se aprovecharan de sus hallazgos. La postura del estudiante en ningún caso pretende responsabilizar a Franklin de lo sucedido, sin embargo, se observa cómo sus argumentos van un poco más allá de señalar culpables y más bien propende por un análisis de los hechos sin que se asuman favoritismos frente a una u otra postura.

En este punto, es fundamental hablar de la argumentación, la cual se concibe como “una práctica discursiva cuya función comunicativa se centra en dirigirse al receptor para lograr su adhesión frente a la idea que se plantea” (Córdova, Velásquez y Arenas, 2016, p.41), es así como se concibe la argumentación como un proceso de alfabetización académica, dado que el conocimiento académico es netamente argumentativo. Por consiguiente, la capacidad de argumentar juega un papel significativo en los procesos de enseñanza, para Leitão (2012) el argumento aparte de ser discursivo es también cognitivo, cultural, epistémico, dialógico y dialéctico; teniendo en cuenta estos dos últimos atributos, el argumento debe ser dialógico, dado que permite la construcción de nuevos conocimientos a partir de ideas similares, y dialéctico porque permite la construcción de nuevos conocimientos a partir de ideas divergentes desde los argumentos; esto se puede apreciar en los ejemplos que se exponen en la parte superior, la argumentación es un proceso, y como tal requiere de diversos factores que coadyuvan a que desarrolle en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Por último, respecto a la inclusión de la historia en procesos de enseñanza aprendizaje, Cortés, Latorre y Hernández (2016) expresan que este hecho ha cobrado mayor relevancia en los últimos años, haciendo énfasis en la posición crítica y analítica que debe asumir el profesor a través de un trabajo organizado y estructurado con el ánimo de articular el plan de estudios con el desarrollo del pensamiento crítico. En este aporte, los contraargumentos dan cuenta de

la capacidad de análisis de los estudiantes, de ahí la importancia del rol del maestro en este proceso dado que, para que se genere una verdadera discusión científica el docente debe ser capaz de generar un verdadero espacio de intercambio de ideas entre los participantes, dando la palabra para que expresen sus ideas y así sea posible llegar a una conciliación frente a la conclusión del tema (Espinoza Freire, 2020).

Es de resaltar que debido al uso de la controversia científica y la estructura de la secuencia didáctica fue posible que los participantes enunciaran reflexiva y críticamente estos aspectos que invitan al debate y al desarrollo de la capacidad argumentativa y por tanto del pensamiento crítico. Patiño (2014) expresa que la criticidad es una tendencia que impulsa a una persona a dar cuenta de sus propios actos y por ello, esto va más allá de la simple justificación, pues implica la capacidad de defender sus propias posturas a través de argumentos pertinentes acordes al contexto y con criterios que los justifiquen. Es así como la capacidad de argumentación en los espacios escolares favorece el asumir posturas de la mano de ejercicios como el aquí presentado.

## 10. Conclusiones

Las propuestas didácticas son estrategias efectivas para el trabajo en los procesos educativos, las mismas van más allá del desarrollo temático, favoreció la articulación con otras herramientas que posibilitan el aprendizaje y el desarrollo de otras habilidades como lo son la capacidad de argumentación y el pensamiento crítico, aspectos que se abordan en esta propuesta, no obstante, las posibilidades son múltiples al permitir la participación de los estudiantes y comunidad educativa en general en los diversos procesos.

Específicamente, el uso de controversias científicas acerca de la estructura del ADN favoreció al desarrollo de habilidades del pensamiento crítico al basarse en características discursivas que corresponden a lo dialógico y lo dialéctico; es a partir de estas estrategias dialógicas como lo es el debate, que este tipo de enfoque y el uso de la HC permiten un intercambio de ideas de acuerdo con dos posturas definidas: una de ellas a favor de Watson y Crick y la otra a favor de Rosalind Franklin. Es a partir de estas posturas que se desarrolla la capacidad de formular preguntas, contra preguntas y contraargumentos y es posible dilucidar asuntos epistémicos y no epistémicos en la HC.

Con referencia a asuntos epistémicos y no epistémicos acerca de la HC y la NOS es posible resaltar en asuntos epistémicos el uso de la controversia, organizada y presentada a través de las secuencias didácticas como estrategia que contribuyó a la comprensión conceptual de la estructura del ADN las actividades de recontextualización fueron fundamentales en los procesos de adquisición de aprendizaje relacionados con asuntos epistémicos y se evidencia cambios significativos en la apropiación conceptual de los estudiantes. Por otro lado, acerca de los asuntos no epistémicos, se puede observar que los elementos de la controversia se centran en su mayoría a aquellos asuntos de género, contexto social, relaciones interpersonales de los científicos, dando por hecho que reúne más elementos no epistémicos que epistémicos; incluso estos mismos se evidencian en los hallazgos que indican un número significativo de UA de estos asuntos.

Sumado a ello, es de gran relevancia para los participantes asuntos éticos en el comportamiento de los científicos expresados en procesos de construcción del conocimiento científico pero tendientes a la discriminación de la mujer en dichos escenarios; para los participantes, este asunto no es menor, por el contrario, presenta estrecha relación con procesos de formación integral basados en la ética, la moral y la promoción de valores que se fomentan en la Institución Educativa Alfonso Upegui Orozco. Los participantes identifican que influyen en el proceso secuencial que llevó al modelo final. No obstante, se resalta el hecho de que no pueden dejarse de lado asuntos no epistémicos tales como el contexto que ha rodeado el rol de la mujer en la ciencia y cómo las características propias de la época pueden influir en las decisiones y desarrollo de conocimientos científicos.

Se esperaba que en el debate fuese posible contar con más UA relacionadas con la Estructura del ADN, sin embargo, los participantes otorgaron relevancia a asuntos no epistémicos, es decir, los estudiantes demostraron mayor interés por los hechos histórico-sociales que rodearon la controversia entre Rosalind Franklin y Watson y Crick, asumiendo posturas éticas ante el asunto manifestando cual hubiese sido la ‘conducta’ más deseada por los involucrados.

Posiblemente, el hecho de generar mayor afinidad con asuntos no epistémicos se basa en la relevancia que otorgan los participantes a procesos históricos, su contexto, sus necesidades e intereses que, de acuerdo con lo mencionado por Bustos, García y Hernández (2017) son aspectos que han dado lugar al desarrollo del conocimiento científico en ámbitos sociales, políticos, económicos o personales, reconociendo la implicación de éstos en los procesos de aprendizaje. Puede afirmarse que es otra manera de aprender, es una manera de trascender el conocimiento y no centrarse sólo en aspectos conceptuales sino ir un poco más allá al comprender los contextos y momentos históricos que dieron pie a la generación del conocimiento y, además establecer relación con otros aprendizajes y formación en valores que han recibido en diversos espacios.





## 11. Consideraciones finales y perspectivas del trabajo

El uso de estrategias didácticas en procesos de aprendizaje debe continuar fortaleciéndose, con el ánimo de generar mayor apropiación conceptual de los ejes temáticos a partir de elementos como la argumentación y el desarrollo del pensamiento crítico; esto permite comprender aún más los conceptos y trascender las temáticas pasando de la simple replicación de contenidos a su análisis y por ende su asimilación.

La NOS y la HC son temáticas que deben abordarse de forma didáctica, de tal manera que se despierte en los entornos educativos el interés por aprender por este tipo de temas y se fomente la vocación científica. Se hace necesario derrumbar mitos como lo ‘aburrida’ que es la ciencia o lo ‘difícil’ que puede ser, las estrategias didácticas serán una gran aliada para esta labor.

Es de destacar en los participantes, la postura ética y reflexiva frente a los comportamientos de los científicos relacionados con el poco reconocimiento de la mujer y su rol en el desarrollo de la ciencia; lo anterior es consecuente con la formación integral que se profesa en la Institución Educativa Alfonso Upegui Orozco, por ello este tipo de formación debe continuar fomentándose y por ende generar estrategias que favorezcan la adquisición de valores y principios morales éticos al igual que la adquisición y desarrollo de habilidades para la vida, lo anterior como condiciones necesarias para la construcción de una sociedad más justa y equitativa.

Si bien dentro del rastreo de antecedentes se encontraron UA significativas que apoyaron teórica y metodológicamente el desarrollo de esta propuesta, en gran medida las pesquisas realizadas remiten a trabajos desarrollados en el panorama internacional; esta situación, invita a considerar la necesidad de desarrollar investigaciones futuras frente a asuntos como lo son la NOS, la HC y el uso de estrategias didácticas en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las Ciencias Naturales, como estrategia para contextualizar el aprendizaje a entornos más regionales y generar más y mejores de estrategias de trabajo al interior de las aulas de clase y de las instituciones.

Como futuros profesionales en el área de las Ciencias Naturales, se hace necesario reflexionar acerca de estos asuntos y su incidencia en los contextos escolares, dado que la dinamización del aprendizaje es una tarea necesaria; por ende, la implementación de diversas metodologías que propendan por el alcance de los objetivos propuestos en los currículos.

La experiencia en la línea de investigación *Relaciones entre Historia, Epistemología y Enseñanza de las Ciencias* ha sido fundamental para el desarrollo y la formación como

docentes de los autores de esta propuesta, al introducirles en nuevas estrategias para enseñar la HC involucrando los aportes de la NOS; además, ofrece grandes oportunidades para involucrar a los estudiantes de manera más activa en el aula, transformando la forma en que perciben y se relacionan con la historia. La integración de enfoques innovadores ha abierto un mundo de posibilidades para fomentar el pensamiento crítico en futuras experiencias de enseñanza-aprendizaje.

Como prospectiva, genera emoción la posibilidad de seguir aplicando este tipo de prácticas en la forma de enseñar HC, esta experiencia ha fortalecido el compromiso de los autores con la educación y ha mejorado su capacidad para inspirar a los estudiantes a explorar la historia de una manera más profunda y significativa adoptando metodologías innovadoras; lo anterior se considera, contribuye a crear un ambiente de aprendizaje estimulante y enriquecedor que preparará a futuros estudiantes a enfrentar los desafíos del mundo actual.

Esta línea de investigación deja abiertas varias áreas de exploración y desarrollo en la práctica docente de los autores de esta propuesta; una de ellas es la continua búsqueda de nuevas herramientas y recursos educativos que complementen y enriquezcan la enseñanza de la historia; además, queda pendiente explorar aún más cómo adaptar estas metodologías innovadoras a diferentes contextos y niveles educativos, asegurando que sean accesibles y efectivas para todos los estudiantes; otra es que se abre la posibilidad de investigar cómo estas estrategias pueden integrarse de manera más holística en el currículo escolar, promoviendo una comprensión más profunda y multidisciplinaria de la HC.

## 12.Referencias

- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A. (2016) «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 13 (1), 3–19.  
[https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59426/Algo\\_antiguo\\_algo\\_nuevo\\_algo\\_prestado\\_Tendencias\\_sobre\\_la\\_naturalez\\_de\\_la\\_ciencia\\_en\\_la\\_educacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59426/Algo_antiguo_algo_nuevo_algo_prestado_Tendencias_sobre_la_naturalez_de_la_ciencia_en_la_educacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Acevedo-Díaz, J., García-Carmona, A. y Aragón-Méndez, M (2017) *Enseñar y aprender sobre naturaleza de la ciencia mediante el análisis de controversias de historia de la ciencia Resultados y conclusiones de un proyecto de investigación didáctica*.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/190375995.pdf>
- Acevedo-Díaz, JA, & García-Carmona, A. (2016). Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia. *Fundamentación de una propuesta basada en la controversia Pasteur versus Liebig sobre la fermentación*. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS* , 11 (33), 203-226.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92447592011>
- Acevedo-Díaz, JA, & García-Carmona, A. (2017). *Controversias en la historia de la ciencia y cultura científica*. Los libros de la Catarata. [https://www.researchgate.net/profile/Jose-Acevedo-Diaz/publication/317066188\\_Controversias\\_en\\_la\\_historia\\_de\\_la\\_ciencia\\_y\\_cultura\\_cientifica/links/5b1e03baaca272021cf581ff/Controversias-en-la-historia-de-la-ciencia-y-cultura-cientifica.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jose-Acevedo-Diaz/publication/317066188_Controversias_en_la_historia_de_la_ciencia_y_cultura_cientifica/links/5b1e03baaca272021cf581ff/Controversias-en-la-historia-de-la-ciencia-y-cultura-cientifica.pdf)
- Adúriz-Bravo, A. (2001). Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias. Tesis doctoral. [En línea.] Publicada por el sitio Tesis Doctorals en Xarxa del Consorci de Biblioteques Universitàries de Catalunya. <http://www.tdx.cesca.es/TDCat-1209102-142933>.
- Adúriz-Bravo, A. (2007) ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Organización de las naciones unidas para la educación la ciencia y la cultura*.  
<https://cmapspublic.ihmc.us/rid=1P1N3358L-743Y59-2G2Y/UI%20AdurizBravo.pdf>
- Amador-Rodríguez, Rafael Y.; Adúriz-Bravo, Agustín (2017) «Concepciones emergentes de naturaleza de la ciencia (NOS) para la didáctica de las ciencias». *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 2017, n.º Extra, pp. 3499-3504, <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/337111>.
- Aragón, M., Acevedo Díaz, J.A. y García Carmona, A. (2018). *Comprensión de estudiantes de bachillerato y de profesorado sobre naturaleza de la ciencia mediante el análisis del caso histórico de “Rosalind Franklin y la estructura del ADN”*. En 28 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales: iluminando el cambio educativo (769-774), A Coruña: Universidad de la Coruña.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6758544>.

- Arana-Cuenca, A., Curto, M., Rodríguez, E., Ransanz, E. (2024). Extracción de ADN como estrategia didáctica para aprender sobre la célula en Educación Primaria y Secundaria. *EDUCA International Journal*, Vol. 4 (1) 36-60. <https://doi.org/10.55040/educa.v4i1.79>
- Archila, P.A., Molina, J. & Truscott de Mejía, AM. Using Historical Scientific Controversies to Promote Undergraduates' Argumentation. *Sci & Educ* 29, 647–671 (2020). <https://doi-org.udea.lookproxy.com/10.1007/s11191-020-00126-6>
- Arribalza, E. (2018) Artículo Original ¿Qué es una controversia científica? Universidad de Buenos Aires, Researchgate. [https://www.researchgate.net/publication/323991141\\_Eduardo\\_B\\_Arribalza\\_Articulo\\_Original\\_Que\\_es\\_una\\_controversia\\_cientifica](https://www.researchgate.net/publication/323991141_Eduardo_B_Arribalza_Articulo_Original_Que_es_una_controversia_cientifica)
- Benavides, Mayumi Okuda, & Gómez-Restrepo, Carlos. (2005). Métodos en investigación cualitativa: triangulación. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34(1), 118-124. Retrieved May 07, 2024, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-74502005000100008&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74502005000100008&lng=en&tlng=es)
- Bernal, C. (2016) Metodología de la Investigación. Cuarta Edición. PEARSON
- BONET, J.J., (2005). Viaje al Reino de Saturno. Madrid: Nivola
- Branton, Rebecca, "The effects of teaching style on student learning of DNA" (2012). LSU Master's Theses. 2345. [https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool\\_theses/2345](https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_theses/2345)
- Bujanda Bujanda, M., Ruiz González, V., Molina Ovares, A. y Quesada Montano, S. (2014) Competencias para el siglo XXI : guía práctica para promover su aprendizaje y evaluación. Fundación Omar Dengo, ISBN 978-9977-11-090-5. [https://www.viaeducacion.org/downloads/ap/ehd/competencias\\_siglo\\_xxi.pdf](https://www.viaeducacion.org/downloads/ap/ehd/competencias_siglo_xxi.pdf)
- Bustos, A., García, A. y Hernández, R. (2017) La enseñanza del ADN desde un enfoque histórico con estudiantes de grado séptimo. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/7263/5921>
- Campanario, Juan Miguel Y Moya, Aida (1999) ¿Cómo enseñar ciencias? principales tendencias y propuestas. *Enseñanza De Las Ciencias*, 1999, 17 (2), 179-192. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21572/21406>
- Cisterna Cabrera, F., (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoria*, 14(1), 61-71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29900107>
- Córdova Jiménez, Alejandro, Velásquez Rivera, Marisol, & Arenas Witker, Lisbeth. (2016). EL ROL DE LA ARGUMENTACIÓN EN EL PENSAMIENTO CRÍTICO Y EN LA ESCRITURA EPISTÉMICA EN BIOLOGÍA E HISTORIA: APROXIMACIÓN A PARTIR DE LAS REPRESENTACIONES SOCIALES DE LOS DOCENTES. *Alpha (Osorno)*, (43), 39-55. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-22012016000200004>
- Cortez, L., Latorre, N., & Hernández, R. (2016). La historia en la enseñanza del ADN: Una propuesta para generar un cambio de visión de ciencia en la escuela. *Propósitos y*

- Representaciones, 4(1), 281-326. doi: [http:// dx.doi.org/10.20511/pyr2016.v4n1.91](http://dx.doi.org/10.20511/pyr2016.v4n1.91).  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5475190>
- Díaz Moreno, N., & Jiménez-Liso, M. R. (2012). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 54-70.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92024530004>
- Dunlop, L., Veneu, F. (2019) Controversies in Science. *Sci & Educ* 28, 689–710 (2019).  
<https://doi.org/10.1007/s11191-019-00048-y>
- Espinoza Freire, E. E. (2020). La argumentación científica una herramienta didáctica. *Unian des Episteme*, 8(1), 106-121.
- Facione, P. (2007) Pensamiento Crítico: ¿Qué es y por qué es importante? *Edu teka*.  
<https://eduteka.icesi.edu.co/pdfdir/PensamientoCriticoFacione.pdf>
- García Alcaraz, F., Alfaro Espín, A., Hernández Martínez, A., & Molina Alarcón, M. (2006). Diseño de Cuestionarios para la recogida de información: metodología y limitaciones. *Revista Clínica de Medicina de Familia*, 1 (5), 232-236.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169617616006>
- García-Carmona, A. (2021) Prácticas no-epistémicas: ampliando la mirada en el enfoque didáctico basado en prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1108. doi: 10.25267/Rev\_Eureka\_ensen\_divulg\_cienc. 2021.v18.i1.1108.  
<https://www.redalyc.org/journal/920/92064232014/92064232014.pdf>
- García-Huidobro, J. & Cox, C. (2011). La reforma educacional chilena 1990-1998: Visión de conjunto. En Juan E. García-Huidobro, *La reforma educacional en Chile* (pp.7-46). Editorial Popular.
- Giri, V., Paily, M.U. (2020) Effect of Scientific Argumentation on the Development of Critical Thinking. *Sci & Educ* 29, 673–690 (2020). <https://doi.org/udea.lookproxy.com/10.1007/s11191-020-00120-y>
- Gurdián-Fernández, A. (2007) *El Paradigma Cualitativo en la Investigación Socio-Educativa*. Coordinación Educativa y Cultural Centroamericana (CECC) Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI).  
<https://ice.ua.es/es/documentos/recursos/materiales/el-paradigma-cualitativo-en-la-investigacion-socio-educativa.pdf>
- Hernández, R, Fernandez, C. y Baptista, P. (2014). *Metología de la investigación*. Mc Graw Hill. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista- Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Izquierdo Aymerich, Mercè; García Martínez, Álvaro; Quintanilla Gatica, Mario; Aduriz Bravo, Agustín (2016) *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias*; Universidad Distrital Francisco José de Caldas;

[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/106292/CONICET\\_Digital\\_Nro.dc1f6e66-568a-4530-ba31-b8eaad404cbc\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/106292/CONICET_Digital_Nro.dc1f6e66-568a-4530-ba31-b8eaad404cbc_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

- Leitão, S. (2012) O trabalho com argumentação em ambientes de ensino-aprendizagem: um desafio persistente. Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. Uni-pluri/versidad, Vol. 12, N.º 3. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/unip/article/view/15151/13196>
- Linarez González, Engelbert Eduardo, García Monroy, Ana Isabel, & Martínez Allende, Lucero. (2016). Empleo de historietas para reforzar el aprendizaje del nivel superior en UPIBI-IPN. RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 7(13), 1-14. Recuperado en 01 de mayo de 2024, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-74672016000200001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-74672016000200001&lng=es&tlng=es).
- López, G. (2012) Pensamiento crítico en el aula. *Docencia e Investigación*, Año XXXVII Enero/Diciembre, 2012 ISSN: 1133-9926 / e-ISSN: 2340-2725, Número 22, pp. 41-60. [https://www.educacion.to.uclm.es/pdf/revistaDI/3\\_22\\_2012.pdf](https://www.educacion.to.uclm.es/pdf/revistaDI/3_22_2012.pdf)
- Martínez del Campo, L. (2016) Más allá de la calificación, Instrumentos para evaluar el aprendizaje. Universidad de Concepción, Chile. ISBN 978-956-9280-18-4
- Ministerio de Educación Nacional- Colombia MEN (2006) Estándares Básicos de Competencias en las áreas fundamentales del conocimiento en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas. [https://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-340021\\_recurso\\_1.pdf](https://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-340021_recurso_1.pdf)
- Ministerio de Educación Nacional- Colombia MEN (2016) Revisión de políticas nacionales de educación La educación en Colombia. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), París. [https://www.mineduccion.gov.co/1759/articles-356787\\_recurso\\_1.pdf](https://www.mineduccion.gov.co/1759/articles-356787_recurso_1.pdf)
- Molina, María Elena y Carlino, Paula (2013). Escribir y argumentar para aprender: las potencialidades epistémicas de las prácticas de argumentación escrita. *Texturas*, 13 (1-13) 16-32.
- Mora, A. (2005). Guía para elaborar una propuesta de investigación. *Educación*, (29(2) pp.67-97), recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44029206>
- Muñoz, A. y Jiménez, J. (2023) Ciencia en femenino. La construcción del rol de la mujer científica en el discurso cinematográfico. *FOTOCINEMA*, nº 27 (2023). E-ISSN: 2172-0150. <https://revistas.uma.es/index.php/fotocinema/article/view/16527/17333>
- Muñoz, Liz, P. T. (2014). *La controversia científica como propuesta de enseñanza para fundamentar las capacidades crítico-argumentativas en docentes en formación de Química*. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (Extra). <https://doi.org/10.17227/01203916.3341>
- Muñoz, N. (2020) *La controversia entre las visiones de mundo ptolemaica y galileana: una manera de articular la formación en ciencias y la formación ciudadana por medio de*

[https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15047/6/MunozNatalia\\_2020\\_ControversiaCienciaCiudadania.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15047/6/MunozNatalia_2020_ControversiaCienciaCiudadania.pdf)

- Osborne, J. (2014). Prácticas científicas docentes: afrontar el desafío del cambio. *Revista de formación de profesores de ciencias*, 25 (2), 177–196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Pabón, T. y Muñoz, L. (2014) La controversia científica como propuesta de enseñanza para fundamentar las capacidades crítico-argumentativas en docentes en formación de Química. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis*: TED. Año 2014, Número Extraordinario. ISSN Impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126. Memorias, Sexto Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias. 08 al 10 de octubre de 2014, Bogotá
- Páez, O. y Quevedo, K. (2014) *Importancia de las controversias científico-históricas para la enseñanza de las Ciencias Naturales: Lamarck y la teoría sintética*. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/ccf747a7-e671-4a28-ba46-61596e9f7f21/content>
- Parra, L., Cardona, A., Toro, S., Torres, E., Martínez, R., Morales D. y de Salvador, G. (2021) *Habilidades para la vida: Aproximaciones conceptuales*. Fondo Editorial Universidad Católica Luis Amigó. [https://www.funlam.edu.co/uploads/fondoeditorial/702\\_Habilidades\\_para\\_la\\_vida\\_Aproximaciones\\_conceptuales.pdf](https://www.funlam.edu.co/uploads/fondoeditorial/702_Habilidades_para_la_vida_Aproximaciones_conceptuales.pdf)
- Patiño, H. (2014) *El pensamiento crítico como tarea central de la educación humanista*. En ‘Desarrollo del pensamiento crítico’ DIDAC. Nueva Época / Número 64 / julio-diciembre 2014 / Universidad Iberoamericana. [https://revistas.iberomx.com/didac/uploads/volumenes/18/pdf/Didac\\_64.pdf](https://revistas.iberomx.com/didac/uploads/volumenes/18/pdf/Didac_64.pdf)
- Paul, R. y Elder, L. (2003) *La mini-guía para el Pensamiento crítico Conceptos y herramientas*
- Piñuel-Raigada, J. (2002) *Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido*. Universidad Complutense de Madrid. [https://www.ucm.es/data/cont/docs/268-2013-07-29-Pinuel\\_Raigada\\_AnalisisContenido\\_2002\\_EstudiosSociolingusticaUVigo.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/docs/268-2013-07-29-Pinuel_Raigada_AnalisisContenido_2002_EstudiosSociolingusticaUVigo.pdf)
- Prieto, M. y March, J. (2002) Paso a paso en el diseño de un estudio mediante grupos focales. *Aten Primaria*. <https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-27-pdf-13029750>
- Rodríguez-Ramírez, D. y Romero-Chacón, A. (2023) Episodios científicos históricos y la enseñanza de la noción de ser vivo en básica primaria, Cap. En *Reflexiones filosóficas e históricas: ciencia, enseñanza de la ciencia y política científica*. Universidad del Valle.
- Romero-Chacón, A., (2013) *La Argumentación en la clase de ciencias. Aportes para una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias*. [https://www.academia.edu/8768849/Reflexiones\\_acerca\\_de\\_la\\_Naturaleza\\_de\\_las\\_ci](https://www.academia.edu/8768849/Reflexiones_acerca_de_la_Naturaleza_de_las_ci)



[encias como fundamento de propuestas de ense%C3%B1anza El caso de la experimentaci%C3%B3n en la clase de ciencias?email\\_work\\_card=title](#)

- Romero-Chac3n, A., Morcillo, C., Garc3a, E., Tob3n E., Quinto, J., Mej3a, L., Amelines, P., Giraldo, Y. y Mosquera, Y. (2017) La experimentaci3n en la clase de ciencias. Aportes para una enseanza de las ciencias contextualizada con reflexiones meta cient3ficas. Medell3n: Editorial Universidad de Antioquia. ISBN: 978-958-714-741-4 (versi3n electr3nica)
- Ruiz, L. G. P., Beltr3n, N. P. L., & Barbosa, R. H. (2015). LA ENSEANZA DEL ADN DESDE UNA MIRADA HIST3RICA. TENSIONES CIENT3FICAS Y SOCIALES. Bio-graf3a. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.0num.0bio-grafia120.128>
- Stake, R. (2007) *Investigaci3n con estudio de casos*. Madrid. Ediciones Morata.
- Uribe Mendoza, Blanca Irais. (2017). La historia de la ciencia: ¿Qu3 es y para qu3?. Revista odontol3gica mexicana, 21(2), 78-80. <https://doi.org/10.1016/j.rodMex.2017.05.001>
- Valls-Llovet, C. (2016) La ciencia de la diferencia: la invisibilidad de las mujeres en las ciencias de la salud. *M3tode*: Revista de difusi3n de la Investigaci3n, ISSN 2171-911X, N3. 91.
- Waksman, Noem3. (2005). El papel de la mujer en la ciencia. Ciencia UANL. VIII. 3-6. <https://www.redalyc.org/pdf/402/40280101.pdf>
- Watson, J. (1993) "*La doble h3lice. Un relato autobiogr3fico sobre el descubrimiento del ADN*". Salvat Editores.

## Anexos

### Anexo 1. Cuestionario KPSI

Estimados estudiantes de Grado 9-2

¡Bienvenidos al cuestionario final sobre la fascinante controversia histórica acerca de la estructura del ADN! Este cuestionario es una parte esencial de nuestra evaluación, posterior a la exploración de esta intrigante disyuntiva en la historia de la biología.

A lo largo de estas últimas semanas, nos hemos sumergido en el apasionante debate que rodea a la identificación de la estructura del ADN y las figuras clave que participaron en esta discusión. Ahora es el momento de poner a prueba su comprensión de los argumentos y evidencias presentados.

Es importante recordar que no hay respuestas "correctas" o "incorrectas". Lo que buscamos es una comprensión profunda de los diferentes puntos de vista y cómo estos han incluido en nuestra comprensión de la estructura del ADN. Favor responder con base en los siguientes criterios a cada una de las preguntas: 1. No lo sé; 2. He oído hablar de ello, pero no se casi nada; 3. Sé algo; 4. Lo sé, pero no puedo explicarlo; 5. Lo sé y podría explicarlo a un compañero.

Les agradecemos su dedicación y participación activa en este proceso de aprendizaje. Estamos seguros de que este cuestionario reflejará el esfuerzo y el conocimiento que han adquirido.

¡Les deseamos mucho éxito en esta evaluación final!

Nombre Completo: \_\_\_\_\_

1. ¿Reconozco la importancia de escuchar a mis compañeros para conocer sus ideas y éstas me ayudan a construir mis posturas?
2. ¿Soy capaz de realizar preguntas y contra preguntas a las ideas de un compañero en el transcurso de un debate?
3. ¿Reconozco que las ideas contrarias a las mías pueden ayudarme a fortalecer mi conocimiento?
4. ¿Sabes que el ADN está conformado de una estructura química compleja?
5. ¿Reconoces que el ADN cumple funciones biológicas como la herencia de rasgos?
6. ¿Sabes cómo se representa la estructura del ADN?
7. ¿Conoces alguna historia sobre cómo se construyó el modelo del ADN?
8. ¿Conoces alguna discusión relevante que haya ocurrido entre científicos a lo largo de la historia de la ciencia?
9. ¿Reconoces algunas mujeres destacadas en el campo científico y sus contribuciones  
¿Conoces algunas razones por las cuales las mujeres pueden sentirse excluidas en el campo científico y tecnológico?
10. ¿Las relaciones interpersonales entre los científicos pueden influir en el trabajo realizado por las comunidades científicas?

Apreciado participante,

Agradecemos sinceramente tu tiempo y dedicación para responder a nuestro cuestionario. Tu contribución es de gran valor y nos ayudará a obtener información crucial para nuestro estudio. Valoramos tu perspectiva y apreciamos tu participación activa en este proceso.

¡Gracias nuevamente por tu colaboración!

Atentamente Profes Julian Y Juan.

## **Anexo 2. Cuestionario de preguntas abiertas**

El ADN desde un punto de vista más macroscópico

El ácido desoxirribonucleico —conocido por las siglas ADN— es un ácido nucleico que contiene las instrucciones genéticas usadas en el desarrollo y funcionamiento de todos los organismos vivos, la estructura del ADN se vio envuelta en una controversia entre Watson-Crick y Rosalind Franklin.

Teniendo en cuenta lo anterior responde:

¿Podemos extraer ADN de las fresas? ¿por qué?

Objetivo:

Este experimento tiene como objetivo introducirte al emocionante mundo de la biología molecular mediante la extracción de ADN de una fresa. Aprenderás cómo se realiza este proceso y podrás observar el ADN con tus propios ojos.

Materiales:

Fresas maduras Beakers

Colador pequeño Agua

Botella de alcohol etílico (etanol) **En lo posible frío.**

Detergente líquido

Bolsa de cierre hermético Palito de chuzo para agitar.Sal de cocina.

Cuchara.

Guantes de nitrilo o de látex.Bata de laboratorio.

Tubos de ensayo.

Teniendo en cuenta los materiales responde:

¿Por qué crees que usamos fresas y no otra fruta?

Procedimiento:

**Nota: Colóquense guantes y bata de laboratorio para garantizar la higiene.**

Para empezar el procedimiento es necesario que las fresas estén limpias y sin hojas, posteriormente debemos tener las fresas maceradas o estripadas, asegurándonos de retener el líquido que nos resulta de este macerado.

¿Cómo lo harías? escribe las hipótesis que tienes para realizar este procedimiento

¿Por qué usamos la fresa sin las hojas?

¿Qué pasaría si no maceramos las fresas?

Preparación del líquido mágico:

En un beaker añada una cucharada de sal, dos de detergente y 30ml de agua. Coloque la botella de alcohol etílico (etanol) en el congelador durante al menos 20 minutos.

Después de realizar este procedimiento responde:

¿Por qué usamos detergente y no otro líquido?

¿Y si en vez de sal usamos azúcar?

Extracción del ADN:

A continuación, agrega dos cucharadas del líquido a las fresas en la bolsa y vuelve apresionar por un minuto más sin que se formen burbujas de detergente

Después se debe colar la mezcla y depositar el líquido en un beaker.

Posteriormente añade la misma cantidad de alcohol que de mezcla, introduciendo el alcohol lentamente para no generar turbulencia en el líquido, elige cuál de los alcoholes usar.

Responde:

¿Qué función cumple el alcohol y por qué sería bueno enfriarlo?

A continuación, con el palo de chuzo enrolla la sustancia en él y sácalo del tubo de ensayo.

Describe lo observado en cada uno de los tubos:

Compara tu resultado con el de tus compañeros y responde:

¿Con cuál concentración de alcohol se puede observar mejor y por qué?

### **Anexo 3. Matriz de análisis de datos.**

<b>PRACTICA PEDAGÓGICA</b>
<b>LICENCIATURA EN FISICA / CIENCIAS NATURALES</b>
<b>Matriz Red de categorías y Análisis</b>

<b>Título del Proyecto</b>	<b>Controversias científicas como alternativa para promover el pensamiento crítico en contextos escolares. El caso de Watson y Crick vs Rosalind Franklin.</b>
<b>Autores:</b>	Juan Diego Motato Betancur y Julian Valle Correa
<b>Núcleos temáticos</b>	la Naturaleza de las Ciencias (NOS) y su relación con la historia, el uso de la HC como recurso para la enseñanza de la NOS en contextos escolares, una Controversia socio-cultural: el caso de Watson & Crick vs Rosalind Franklin, pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias.
<b>Objetivo general</b>	Analizar la manera en la que el uso de controversias científicas acerca de la estructura del ADN favorece el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de noveno grado de una institución educativa del municipio de Medellín.

<b>Objetivo específico 1</b>	Examinar los cambios en los procesos discursivos de los estudiantes (asociados a la comprensión de la estructura del ADN), a partir del diseño de una secuencia didáctica fundamentada en la controversia científica entre Rosalind Franklin y Watson-Crick
<b>Objetivo específico 2</b>	Identificar las contribuciones una secuencia didáctica fundamentada en la controversia científica sobre la estructura del ADN, al desarrollo de habilidades asociadas al pensamiento crítico en estudiantes de nivel medio.

<b>CATEGORÍAS</b>	<b>INDICIOS</b>	<b>UNIDADES DE ANÁLISIS</b>	<b>INSTRUMENTOS DE REGISTRO</b>
		Deb-B2: No, En base a los estudios de Rosalind Franklin. Es correcto decir que el modelo de triple hélice es químicamente incorrecto, y en base a esto Rosalind Franklin, En 1952. Publicó un informe científico llamado "the	Deb



<b>La controversia científica como facilitador para la comprensión del ADN y su estructura</b>	Utiliza elementos discutidos en la controversia para explicar el concepto de la estructura a ADN.	transform of the atoms on a helix” ¿Qué quiere decir? La transformación de los átomos en una hélice, donde aparte de publicar la fotografía 51 también publica sus estudios y mediciones exactas que le permitirán llegar al modelo de doble hélice, Teniendo en cuenta que la publicación de Watson y Crick fue publicada en 1953.	
	Utiliza modelos científicos escolares para representar la estructura del ADN.	B5: Si, porque las fresas son una extensión del servicio que es la planta, por ende, contiene el ADN de la planta	LAB
	Realiza prácticas experimentales para comprender algunos elementos asociados a la controversia	“se utiliza porque el detergente nos ayuda a desengrasar la membrana"LABB1	LAB

<p><b>La controversia</b></p>	<p>Reconoce la diversidad de perspectiva sen el proceso de construcció nde conocimient</p>	<p>DebA4: Watson y Crick se basaban más en su experiencia, datos experimentados y con su modelo de tres hélices fueel modelo no oficial más cercano.</p>	<p>Deb</p>
-------------------------------	--	--	------------

<b>científica como evidencia de la influencia de las relaciones interpersonales entre científicos para la construcción del conocimiento.</b>	o.		
	Identifica algunas causas de exclusión de la mujer en el campo científico y tecnológico	HistorietaA4: Principalmente por el machismo de la época y porqué se suponía que las mujeres estaban hechas para trabajos domésticos.	HADN
	Utiliza ejemplos que permiten evidenciar la invisibilización de la mujer en la ciencia.	DebB4: Ellos no pueden controlar a los organizadores, pero si lo que van a decir en el discurso y debieron darle los créditos al autor que este sería Rosalind Franklin.	Deb
<b>La controversia científica como estrategia para fortalecer las habilidades argumentativas, basado en los procesos dialógicos y dialécticos</b>	Valora los aportes de su compañero para la construcción de nuevos argumentos.	KPSI2-B2: las ideas contrarias a mis argumentos pueden ser beneficiosas para mi discurso y para elaborar contra preguntas	KPSI2
	Elabora replicas a los contra-argumentos propuestos por otro compañero.	KPSI2p(3)B2: las ideas contrarias a mis argumentos pueden ser beneficiosas para mi discurso y para elaborar contrapreguntas	KPSI2

Reconoc eque los argumento s divergentes contribuye n a consolidar	KPSI2p(3)B5: Lo sé, porque no siempre estaremos en lo correcto y los diferentes puntos de vista nos ayudan a tener una imagen más clara de lo	KPSI2
---	--	-------

sus propias ideas.	"correcto".	
Realiza preguntas y contra-preguntas en el transcurso de un debate	DebA4: ¿ustedes están conscientes que la fotografía que tanto defienden fue tomada por Goslyng bajo la supervisión de Franklin?	Deb

[Formato Matriz Red de categorías y Analisis Anexos.xlsx](#)

#### **Anexo 4. Protocolo y consentimiento informado**

Protocolo de Compromiso ético y Consentimiento informado para participantes de investigación

Proyecto de Investigación:

Controversias científicas como herramienta para promover el desarrollo de habilidades del pensamiento crítico en los estudiantes. El caso de Watson y Crick vs Rosalind Franklin

Investigadores:

Juan Diego Motato Betancur y Julian Valle Correa

Señor/a acudiente, la siguiente información está dirigida a los/las estudiantes que participarán del proyecto, y se firma con su consentimiento:

Introducción.

Usted ha sido invitado a participar en el Proyecto de Investigación Controversias científicas como herramienta para promover el desarrollo de habilidades del pensamiento crítico en los estudiantes. El caso de Watson y Crick vs Rosalind Franklin, cuyos investigadores son Juan Diego Motato Betancur y Julián Valle Correa, estudiantes de la Licenciatura en Ciencias

Naturales de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia.

El objetivo del estudio es analizar la manera en la que el uso de controversias científicas acerca de la estructura del ADN podría favorecer el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de nivel medio, En particular, nos interesa indagar la incidencia de algunas

propuestas didácticas fundamentadas en la historia y filosofía de las ciencias, en el desarrollo de los procesos argumentativos de los estudiantes

Procedimientos.

Si usted acepta participar en el estudio:

Se le solicitará que responda algunas preguntas en relación con el ADN, su historia y algunas controversias científicas presentes en estas y su relación con la argumentación.

Le invitaremos, también, a participar en un grupo de discusión, junto con otros estudiantes como usted, para conocer sus opiniones y experiencias acerca de la historia de la estructura del ADN y sus posibles usos en la formación en ciencias y algunas habilidades del pensamiento crítico como la argumentación. Es importante aclarar que no habrá respuestas correctas ni incorrectas, solamente queremos conocer sus consideraciones acerca del tema objeto de estudio.

Si usted está de acuerdo, la discusión que se dé dentro de este grupo se realizarán registros fotográficos y se grabará en audio y video, con la única finalidad de tener registrada toda la información y poder analizarla.

Beneficios

De participar de todo el estudio los beneficios directos que recibirá Usted son los resultados de los hallazgos y análisis del estudio, y la posibilidad de contribuir a desarrollar una

enseñanza de las ciencias más adecuada y contextualizada. No se contempla ningún otro tipo de beneficios.

Confidencialidad / Devolución de la información

La información obtenida en el estudio será de carácter confidencial, y se guardará el anonimato. Esta información será utilizada únicamente por el equipo de investigación del proyecto para el posterior desarrollo de informes y publicaciones en textos de divulgación y socialización de informes, Aún cuando no podemos garantizar que los otros asistentes al grupo de discusión guarden la confidencialidad de la información que se discuta, se les invita que eviten comentar con otras personas. Para asegurar la confidencialidad de sus datos,

Usted quedará identificado(a) con un número, o con un seudónimo, y no con su nombre, lo que garantizará el compromiso de los investigadores de no identificar las respuestas y opiniones de los participantes de modo personal.

Todos los análisis y resultados del estudio le serán dados a conocer en primera instancia a

Usted, para su conocimiento y validación. Igualmente, una vez terminado el estudio, se hará un encuentro con todos los participantes para presentar los hallazgos y conclusiones; esto con la intención de recibir sus observaciones y sugerencias, las cuales serán tenidas en cuenta en el informe final.

#### Riesgos Potenciales/Compensación

Su participación en este estudio no involucra ningún riesgo o peligro para su salud física o mental. Los encuentros se realizarán en la Institución Educativa Alfonso Upegui Orozco, en los horarios de la institución, lo cual evitará que Usted tenga que desplazarse a otros lugares. Los riesgos potenciales que implican su participación en el grupo de discusión son mínimos; si alguna de las preguntas o temas que se trate le hicieran sentir un poco incómodo(a), tiene el derecho de no comentar al respecto. Igualmente, es importante precisar que Usted no recibirá pago alguno por participar en el estudio, y tampoco tendrá costo alguno para Usted.

#### Participación Voluntaria/Retiro.

Su participación en este estudio es voluntaria. Su decisión de participar o no, no afectará sus derechos como estudiante de la Institución Educativa Alfonso Upegui Orozco. Si Usted decide participar en este estudio, es libre de cambiar de opinión y retirarse en el momento que Usted así lo quiera, sin recibir ningún tipo de sanción; en tal caso, la información que se haya recogido hasta la fecha será descartada y eliminada del estudio.

Datos de contacto:

Cualquier pregunta que Usted desee hacer durante el proceso de investigación podrá contactarnos

Juan Diego Motato Betancur, e-mail:

juan.motato1@udea.edu.co Julian Valle Correa, e-mail:

julian.valle@udea.edu.co

Agradecemos desde ya su colaboración, cordialmente

Juan Diego Motato y Julian Valle Correa.



## ACTA DE CONSENTIMIENTO DE INFORMADO

Yo \_\_\_\_\_, identificado con C.C. \_\_\_\_\_, acudiente \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ la estudiante \_\_\_\_\_ aceptó

su participación voluntaria en la investigación Controversias científicas como herramienta para promover el desarrollo de habilidades del pensamiento crítico en los estudiantes. El caso de Watson y Crick vs Rosalind Franklin, desarrollada por los investigadores Juan Diego Motato Betancur y Julian Valle Correa, estudiantes de Licenciatura en Ciencias Naturales, en la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia.

Declaro haber sido informado/a de los objetivos y procedimientos del estudio y del tipo de participación. En relación a ello, aceptó participar en las actividades individuales y en el grupo de discusión, y consiento que se realicen registros fotográficos y grabaciones en audio vídeo.

Declaro haber sido informado que las fuentes de información como escritos, intervenciones en el grupo de discusión, registros fotográficos, grabaciones de audio y video, se constituyen en bases de datos para los propósitos señalados, y que estos datos que se recojan serán de carácter confidencial y no se usarán para ningún otro propósito fuera de los de este estudio.

Declaro haber sido informado/a que mi participación no involucra ningún daño o peligro para mi salud física o mental, que es voluntaria, que puedo hacer preguntas en cualquier momento del estudio y que puedo retirarme del mismo cuando así lo decida, sin que esto acarree perjuicio alguno para mí. De igual forma declaro haber sido informado/a que por mi participación no tendré ninguna compensación económica.

Declaro saber que la información entregada será confidencial y anónima. Entiendo que la información será analizada por los investigadores en forma grupal y que no se podrán identificar las respuestas y opiniones de cada participante de modo personal.

Declaro saber que la información que se obtenga será guardada por el investigador responsable en dependencias de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia y será utilizada sólo para este estudio.

Este documento se firma en dos ejemplares, quedando uno en poder de cada una de las partes.

Nombre del AcudienteIdentificación

Firma

Nombre del participanteIdentificación

Firma

Nombre de los investigadoresIdentificación

Firma

Para su constancia se firma a los        días del mes de        de 2023.

Cualquier pregunta que Usted desee hacer durante el proceso de investigación podrá contactarnos

Juan        Diego        Motato        Betancur,        e-mail:

juan.motato1@udea.edu.co Julian Valle Correa, e-mail:

julian.valle@udea.edu.co

Agradecemos desde ya su colaboración, cordialmente:

Juan Diego Motato y Julian Valle Correa.

## Anexo planeación del debate

En el corazón de la historia de la biología molecular y la elucidación de la estructura del ADN, yace una fascinante controversia que ha dado lugar a un debate significativo en el mundo académico. Esta discusión no solo ofrece una ventana a los orígenes del entendimiento del ADN, sino que también promueve habilidades críticas y argumentativas esenciales para los estudiantes de ciencias.

Participar en este debate invita a los estudiantes a adentrarse en la historia de la genética y a explorar las contribuciones cruciales de diversos científicos. Esta investigación rigurosa fomenta la capacidad de evaluar críticamente la información y comprender la complejidad de los avances científicos.

El corazón del debate radica en la formulación de argumentos sólidos y la presentación de evidencia convincente. Los estudiantes deben aprender a respaldar sus puntos de vista con datos concretos y a refutar los argumentos de manera coherente y persuasiva. Este ejercicio promueve habilidades argumentativas que son esenciales no solo en el campo de la ciencia, sino en la toma de decisiones informadas en cualquier disciplina.

Más allá de la mera exposición de datos, este debate cultiva el pensamiento crítico. Los estudiantes se sumergen en una evaluación profunda de diferentes perspectivas, considerando la validez de las pruebas y discerniendo entre interpretaciones científicas diversas. Este

enfoque contribuye al desarrollo de la capacidad de cuestionar y evaluar información de manera fundamentada, habilidad invaluable en la educación y en la vida cotidiana.

El debate también plantea importantes cuestiones éticas sobre el reconocimiento y la atribución en el ámbito científico. Se resalta la necesidad de integridad en la investigación y de reconocer el trabajo de todos los científicos, independientemente de su género. Este tema invita a la reflexión sobre la importancia de la equidad y la justicia en el mundo de la ciencia.

Por último, participar en un debate requiere habilidades de comunicación efectiva. Los estudiantes aprenden a presentar argumentos de manera clara y persuasiva, y a escuchar y responder a los argumentos de los demás de manera respetuosa y fundamentada. Estas habilidades son valiosas no solo en el ámbito académico, sino también en la vida profesional y personal.

En resumen, el debate sobre la controversia en torno a la estructura del ADN y el papel de Rosalind Franklin no solo ilumina la historia de la biología molecular, sino que también nutre habilidades críticas y argumentativas esenciales. Además, ofrece una plataforma para

discutir cuestiones éticas y de equidad en la ciencia, promoviendo así una comprensión más completa y reflexiva del proceso científico y su impacto en la Debate: Estructura del ADN  
- Posturas de Rosalind Franklin vs Watson y Crick

Moderador:

Apertura (2 minutos)

Presentación del tema y presentación de los equipos.

- Breve introducción a las posturas de Rosalind Franklin y Watson y

Crick. Equipo de Rosalind Franklin (A favor de la Doble Hélice):

Presentación Inicial (5 minutos)

- Introducción a la Estructura de Doble Hélice: Explicación de la propuesta de Rosalind Franklin.

- Argumentos a favor de la estructura de doble hélice.

- Mención de evidencia experimental que respalda su

modelo. Argumentación Detallada (8 minutos)

- Explicación detallada de la evidencia y experimentos que apoyan su propuesta.

- Refutación de posibles

contraargumentos. Réplica y

Contraargumentos (4 minutos)

- Respuesta a los argumentos de Watson y Crick.

- Refutación de los puntos débiles en la propuesta de Watson y

Crick. Equipo de Watson y Crick (A favor de la Estructura de Fibra de ADN): Presentación Inicial (5 minutos)

- Introducción a la Estructura de Fibra de ADN: Explicación de la propuesta de Watson y Crick.

- Argumentos a favor de la estructura de

fibra. Argumentación Detallada (8 minutos)

- Explicación detallada de la evidencia y experimentos que respaldan su propuesta.

- Refutación de posibles

contraargumentos. Réplica y

Contraargumentos (4 minutos)

- Respuesta a los argumentos de Rosalind Franklin.

- Refutación de los puntos débiles en la propuesta de

Franklin. Turnos de Preguntas (3 minutos):

- El moderador da la palabra a los equipos para que hagan preguntas a sus

oponentes.Conclusiones:

Equipo de Rosalind Franklin (2 minutos)

- Recapitulación de los puntos clave a favor de la Doble Hélice.

- Destacar la importancia de su modelo. Equipo de Watson y Crick (2 minutos)

- Recapitulación de los puntos clave a favor de la Estructura de Fibra de ADN.

- Destacar la relevancia de su investigación. Cierre del Debate (2 minutos):

- El moderador resume los puntos presentados por ambos equipos y agradece la participación. Anexo. texto recontextualización.

De segunda actividad introductoria se tendrá un debate entre los investigadores Julian Valle y Juan Diego Motato en el cual cada uno tendrá una postura hacia uno de los puntos de la controversia (Juan Diego en apoyo a Rosalind Franklin y Julian en apoyo a el dúo Watson & Crick). En este debate se tendrán los siguientes puntos de discusión generales:

Eficiencia en la investigación Relaciones interpersonales Contexto sociocultural.

Siguiendo con lo anterior, se tienen los puntos específicos que cada ponente va a usar como eje argumental de defensa. En el caso de Julián en defensa de Watson & Crick son los siguientes:

Innovación en la Modelización Teórica. Intuición y Creatividad.

Publicación Rápida.

Contribución

Complementaria. Impacto

Duradero.

Reconocimiento de Colaboradores.

Ya en el caso de Juan Diego en defensa de Rosalind los puntos son los siguientes:

Contribución Crucial a través de la Difracción de Rayos X.

Datos Experimentales Rigurosos.

Propuesta Inicial de la Estructura de Doble Hélice. Énfasis en la Evidencia Experimental.



Rol en la Comunidad Científica.

Reconocimiento Posterior de su  
Contribución. Invisibilizarían de las  
Mujeres en la Ciencia.

Esta contextualización inicia por el simple encuentro entre 2 amigos de universidad, muy interesados por la ciencia y la historia de esta...

Juan: Parece bien o no, tiempo sin verte ome

Julian: Uy parece bien, que alegría verlo, es que usted nunca sale de esa biblioteca. Juan: jmm que los trabajos dejaran, pero contame que es de tu vida.

Julian: Hombre bien, mucho estudio y reflexionando mucho sobre el conocimiento.

Juan: Ve yo venía preciso estudiando algo así, pero más desde la historia, o vos sos de los que crees que el conocimiento siempre fue como está ahora?

Julian: No parece, pa crear conocimiento que cosa tan dura y esos científicos de antes sí queeran unos tesos y esas discusiones entre ellos interesantísimas.

Juan: Si parece es que esos casi que hasta peleaban por todo, pues de eso se trata es interesante ver cuando dos posiciones sobre una misma temática entran en debate y los científicos deben buscar defender su postura formando una controversia que los lleva a descubrir cosas muy bacanas.

Julian: Bacanas, Bacanísimas o a vos como te parece esa estructura del ADN.

Juan: La estructura del ADN una maravilla, es que uno tiene que ser mera cabeza para imaginarse esas cosas que uno no logra ver a simple vista.

Julian: Pero eso no fue tan fácil o como de pura imaginación, eso involucro mucha gente y mucha problemática.

Juan: Si yo escuche algo de eso, pero contame por qué tan complicado.

Julian: Parece vea esa historia tiene varios pasos y el interés de muchos científicos, lo cual permitió llegar a esa estructura después de algunos años, pero sabes que sentate y tomémonos un tinto que este cuento va pa largo....

Entran los tintos jajajja

Julian: Hace algunos años, no tantos como vos creerías eso fue como en 19.... 195. .... 1953,

después de una fuerte competencia entre un grupo de científicos con unos nombres todos raros como son los nombres de ellos.

Juan: Sisi, algo con Wilson y Luis y Rosalinda

franco.Julian: ¿No eran Watson y Crick y Rosalind

Franklin?

Juan: Eso, eso. ¿Parce vos crees que quién fue el que identifico la estructura, si los dos maneso la pelada?

Julian: Parce yo la verdad creo que los dos manes porque eran unos duros en la experimentación, además como cada uno eran muy tesos que en biología molecular y física ledieron la explicación de la estructura del ADN.

Juan: Juli sabes que yo no creo, pues si mal no recuerdo ellos estudiaban otro tema y nopropiamente la estructura del ADN.

Julian: ¿No? Pero si se les adjudicó el descubrimiento a ellos por los grandes aportes, ademásfueron los que más le trabajaron a eso.

Juan: No, pero acodarte que ellos trabajaban en un laboratorio en Cambridge.

Julian: así si si ya me acorde, Watson y Crick trabajaban en el laboratorio Cavendish en Cambridge, Inglaterra, y ellos estaban estudiando algo como con los virus....

Juan: Si, pues la investigación sobre la estructura del ADN estaba asignada al Kings College de Londres, al que pertenecían Rosalind y Maurice Wilkins.

Julian: pero Watson y Crick se encontraron encerrados en un laberinto de conocimiento donde para poder avanzar necesitaban conocer la estructura del ADN. Además, parece el director del laboratorio tampoco se cerró en que no iban a trabajar con el ADN, sino que, alcontrario, que, si en uno de esos estudios había que meter eso, pues se metía y ya.

Juan: Pero no entiendo por qué se metieron en este tema cuando otros científicos ya estabantrabajando en esto.

Julian: Por lentos, pa' que se ponen de roncones al saber que esa es la propia disputa parece yeso es algo que da estatus y todos van por eso.

Juan: Lo que pasa es que Rosalind y Maurice no se entendían muy bien y no estabantrabajando muy bien en equipo lo cual genero algunas demoras.

Julian: Parce, pues eso no es culpa del Cavendish porque ya en el caso de este laboratorio, Watson y Crick eran como los bfos

Juan: También hay que tener en cuenta que, en Londres, eran muy buenos en cristalografía derayos X un método esencial para capturar algunas fotografías moleculares, si no vea esta fototan bacanas hechas con la tecnología de la época.

Julian: Si claro, pero es que pueden ser muy buenos y toda la cosa, pero la parte dura la pusieron estos dos, pues ellos trabajaban con una técnica basada en la construcción de modelos hipotéticos, que eran creaciones de estructuras que ellos crearon para traer algunasde sus ideas al mundo real.

Juan: Pero hay que tener en cuenta lo que tú dices era algo hipotético, no tenían una base de conocimiento y se basaban mucho en su imaginación.

Julian: Imaginación tampoco, porque son hipótesis de estudios que han hecho y ellos son expertos en el asunto, incluso propusieron un modelo de tres hélices que lo justificaron y aunque actualmente es erróneo, fue una pieza clave para la comprensión del modelo final y eso les

merece para que pudiesen estar incluidos como los principales autores del descubrimiento de esta estructura.

Juan: Yo insisto en que la cristalografía, este famoso método permitía estudiar la estructura interna de sólidos cristalinos, es decir conocer su estructura atómica y era un método muy estudiado para la época y puede llegar a mejores resultados.

Julian: ¿Pero mejores resultados en qué sentido? Pues, sólo estás diciendo que es mejor pero no dices nada al respecto del porqué es más viable

Juan: Pues me refiero a que la cristalografía permite: medir los ángulos de los enlaces entre átomos e intensidades de patrones de difracción lo cual nos permite identificar posiblemente el átomo por su tamaño, llegando a interpretar la longitud de los enlaces y otras

características por medio de detallados análisis matemáticos.

Julian: Si, es que es muy bueno, pero igual los métodos que utilizaron Watson & Crick eran métodos complementarios que ayudaban a comprender la estructura que podría lanzar los rayos x, ya que desde esos métodos se inferían sobre cómo estaban ubicados y dispuestos químicamente las moléculas, entonces se puede tener en cuenta como un modelo o una construcción teórica bastante fuerte para la comprensión del tema, si sabe.

Juan: de todas formas, recordando lo que mencionaste hace un momento, sobre la estructura de tres hélices, cuando Rosalind la analiza se evidencian muchos errores a nivel químico y estructural que encuentra por su amplio conocimiento en difracción.

Julian: Pero vea que incluso Linus Pauling que es otro duro de la ciencia no estaba tan de acuerdo con este tipo de proceder por el hecho de que sin una base empírica fuerte no podríamos dar una buena explicación del modelo que se pudieran dar de la evidencia.

Juan: Bueno bueno, en fin, es que igual ambas universidades tenían propósitos diferentes que en el caso, más bien hablemos de una fotografía fundamental para el descubrimiento de esta estructura, la “fotografía 51”.

Julián: ¿Cuál es que era eso de la fotografía esa?

Juan: La fotografía 51 fue una de las mejores fotos obtenidas por cristalografía, permitiendo evidenciar que el ADN tenía una doble hélice y no una triple hélice como planteaban Watson y Crick.

Julian: Ah claro, la evidencia que hicieron en conjunto Watson & Crick con este man el que fue el compañero de Rosalind, Wilkins.

Juan: hablemos con la verdad, te refieres a que le robaron esta fotografía a Rosalind.

Julian: Pues robo no, es más, fue Wilkins el que la cedió, no es que se hayan metido Watson

& Crick al laboratorio a robar, además fue una colaboración para complementar la teoría.

Juan: Como es posible que digas eso, pues Wilkins es un traidor, la fotografía estaba en los cuadernos de Rosalind y este la tomo sin informarle.

Julian: ¿Y quién dijo eso? Pues y la verdad era lo mejor porque de ahí Watson y Crick

sacaron los análisis para definir bien la estructura, vuelvo y digo, eso fue más bien como unacolaboración porque a lo mejor Rosalind era algo amarrada con lo de ella.

Juan: La historia lo demuestra y estos tres hombres sacaron pecho cuando se ganaron el nobely nunca mencionaron los valiosos aportes de la cristalografía de Rosalind, además cómo puedes culparla por su actitud si es amarrada o no, pues ser una mujer de ciencia en sus tiempos no era nada fácil, basta con ver que en el nobel solo se reconoció a los hombres, una muestra del patriarcado de la época, mientras Rosalind, sin saberlo les dio la información para complementar la estructura.

Julian: Pero se le dio un reconocimiento tiempo después cuando Watson le dio créditos a

Rosalind llamándola como Rosy, además no es que haya sido una contribución muy grande ya que el estudio teórico en mayor parte fue de Watson & Crick y ella sólo contribuyó con una fotografía que ni fue ella la que lo publicó como tal, sino que fue su compañero que quisocompartir el trabajo.

Juan: Eso es importante, pues al usar otros nombres como Rosy, por el cual no era conocida en el mundo de la ciencia no es que sea darle mucho crédito que digamos, por otro lado, la cristalografía era una técnica muy bien estudiada para Rosalind, pues no es tan fácil como setoma una foto actualmente y adicionalmente, Crick tuvo acceso a uno de los informes del

Kings College y este reconoce años después que fue fundamental para empezar a pensar la estructura como una cadena antiparalela.

Julian: Sí parece, pero hay que ver que Crick tuvo una mejor interpretación de la estructura y además esa foto no fue la única fuente de información, sino que otros científicos les proporcionaron otros datos y por construcción propia y muchos cálculos fue que ellos interpretaron el modelo más exacto de la estructura teniendo en cuenta que no se emparejan las bases nitrogenadas semejantes sino diferentes a través de puentes de hidrógeno, aquí se resalta el papel de la colaboración entre científicos pues si trabajaran en equipo, es posible que llegaran a la construcción del conocimiento de una mejor manera.

Juan: Claro y no se trata de desconocer el estudio que Watson y Crick, ni la importancia de lacolaboración científica, pero si es necesario reconocer que Rosalind por medio de la fotografía 51 y los informes que llegaron a manos de estos científicos, sin que Rosalind se

enterara fueron una pieza fundamental para desarrollar este conocimiento. Por otra parte, es posible que se atrevieran a robar esta información por ser una científica mujer o ¿crees que le hubiesen hecho lo mismo a un hombre?

Julian: Pero es que no tanto porque sea mujer sino por la mala relación que tenía con su trabajo, pero soy consciente de que ha sido una carrera difícil para llegar al ámbito científico, pero mira que muchas de las grandes mentes son masculinas, entonces por la época, aunque por mucho que se pudiese adjudicar un aporte para que comparta el premio nobel, no se lo darían por el mayor trabajo de Watson & Crick.

Juan: Si bien es verdad, Rosalind no tenía la mejor relación con su compañero, ya que este la veía como inferior a él y nunca como la Científica que era, pues parece que el hecho de ser mujer no le dejara llevar este título, pues si te das cuenta en el nobel se incluye a Maurice, el compañero de Rosalind quien les paso esta foto crucial, entonces por el gran machismo de la época se reconoció a quien les ayudo a conseguir la información, pero no al verdadero autor de esta.

Julian: Porque fue el representante del King's College y ya por el hecho de que él estaba vivo para la hora de la premiación. Igual actualmente se está intentando darle el reconocimiento que se merece Rosalind y yo creo que esto lo pueden finalizar los estudiantes con un debate entre ellos.

Juan: Si, será interesante conocer sus ideas y que ellos nos aclaren un poco más este punto.