



APRENDIZAJE DE LA TEORÍA CELULAR A TRAVÉS DE LA  
ARGUMENTACIÓN  
DESDE UN ENFOQUE CIENCIA, TECNOLOGÍA SOCIEDAD Y AMBIENTE

JAVES MARCELO ÁLVAREZ GIRALDO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y EMPRESARIALES  
MAESTRÍA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS  
MANIZALES  
2018

APRENDIZAJE DE LA TEORIA CELULAR A TRAVÉS DE LA  
ARGUMENTACIÓN  
DESDE UN ENFOQUE CIENCIA, TECNOLOGÍA SOCIEDAD Y AMBIENTE

JAVES MARCELO ÁLVAREZ GIRALDO

Proyecto de grado para optar al título de Magister en Enseñanza de las Ciencias

Tutor

OMAR DAVID ÁLVAREZ TAMAYO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y EMPRESARIALES  
MAESTRÍA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS  
MANIZALES

2018

## DEDICATORIA

Dedico especialmente este trabajo a mis padres y esposa, quienes con su apoyo incondicional hacen posible que se alcance cualquier meta por difícil e inalcanzable que esta parezca.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a la universidad Autónoma de Manizales por su preocupación constante por que sus estudiantes terminen los programas académicos con estándares de calidad; a los docentes de la Maestría Enseñanza de las Ciencias Naturales y especialmente al apoyo y compromiso de la profesora Ana Milena López con la coordinación de la Maestría.

## RESUMEN

**Objetivo:** Establecer los modelos explicativos, estructura y coherencia de los argumentos presentes en estudiantes de grado 10 en la institución educativa Supía.

**Metodología:** Investigación cualitativa-descriptiva, con una muestra de casos tipo, donde el objetivo es la riqueza, profundidad y calidad de la información, no la cantidad ni la estandarización (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p387). basada en descripciones tomadas de escritos, dibujos, y grabaciones tanto de audio como de video de episodios argumentativos en el desarrollo de las clases.

**Resultados:** Se logró establecer los distintos modelos explicativos sobre célula y los elementos y coherencia de los argumentos.

**Conclusiones:** En términos generales los estudiantes tienen dificultades para establecer argumentos consistentes y se encuentran en su totalidad dentro de un modelo explicativo estructural.

**Palabras Claves:** Argumentación, Modelos explicativos y teoría celular.

## ABSTRACT

**Objective:** To establish explanatory models, structure and coherence of the arguments present in students of tenth grade from Supía High school.

**Methodology:** Qualitative and descriptive research, with a sample of type case, where the objective is the richness, deepness and quality of the information, is not the quantity nor standardization (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p387). Based on descriptions taken from written papers, drawings and recorders, as much as, audios and videos of argumentative chapters, during classes.

**Results:** It achieved to establish the different explanatory models about the cell, the elements and coherence of arguments.

**Conclusion:** In general, students have difficulties to establish consistent arguments and they are found in its entirety, in an explanatory model with structure.

**Keywords:** argument, explanatory models and cell theory.

## CONTENIDO

PRESENTACIÓN .....	8
ANTECEDENTES .....	9
ÁREA PROBLEMÁTICA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	14
JUSTIFICACIÓN .....	15
REFERENTE TEÓRICO .....	19
Evolución histórica del concepto célula.....	19
La argumentación.....	42
OBJETIVOS .....	48
Objetivo General:.....	48
Objetivos Específicos:.....	48
METODOLOGÍA .....	49
Tipo de estudio:.....	49
Diseño de la investigación .....	50
Unidad de trabajo .....	51
Unidad de Muestreo: .....	51
Unidad de análisis: .....	51
Categorías y subcategorías.....	54
RESULTADOS .....	55
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	56
Modelos explicativos: .....	56
Estructura de los argumentos y coherencia:.....	60
CONCLUSIONES .....	65
RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS.....	67
ANEXOS .....	70

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Modelos explicativos del concepto célula. Tomada de (Buitrago Reinos, 2018)	41
Tabla 2. Respuesta de los estudiantes ante la pregunta sobre regeneración de los tejidos...	59
Tabla 3. Respuesta de los estudiantes ante las funciones celulares.....	59
Tabla 4. Respuestas de los estudiantes ante la pregunta sobre la relación estructura-función celular .....	62
Tabla 5. Respuestas de los estudiantes ante la pregunta sobre regeneración celular. ....	63
Tabla 6. Respuestas de los estudiantes ante la pregunta sobre la célula como unidad estructural. ....	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de la investigación. Autoría propia (2018) .....	50
Figura 2. Categorías y subcategorías. Autoría propia (2018).....	54
Figura 4. Dibujos de células propuesto por los estudiantes.....	57
Figura 5. Dibujo de células de tejidos humanos propuestos por los estudiantes E1 y E4....	57
Figura 6. Dibujo diferencias entre célula animal y vegetal propuesta por los estudiantes E4 y E5.....	58

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1. Instrumento de indagación de ideas previas.....	70
--	----

## PRESENTACIÓN

La enseñanza de las ciencias naturales presenta gran cantidad de desafíos, tales como el desinterés por aprender los saberes de esta disciplina, la gran cantidad de conceptos, la transposición que sufren los conceptos desde la raíz de la producción del conocimiento hasta el aula de clase, y por último podríamos nombrar el conservar la esencia de la ciencia como producto que se construye en sociedad.

En el mundo cotidiano es frecuente encontrar las atribuciones científicas a individuos aislados, desconociendo los aportes de muchas personas a la ciencia, es de esta forma como la escuela prioriza los conocimientos producidos por instituciones especializadas, y niega o minimiza los conocimientos producidos históricamente por el conjunto de la población (Gagliardi y Giordan, 1986).

Sin dejar a un lado la importancia de la historia en la enseñanza de las ciencias naturales, es indudable que la importancia misma de la historia no está en las fechas, ni en los personajes, sino en los hechos y como estos están relacionados con la época y la idiosincrasia de las personas, la tecnología y los ambientes sociales que funcionan como sitios de incubación de las teorías. Además, la importancia de los cambios de la ciencia tiene su inicio en la explicación de las teorías bajo sus propios paradigmas, y la ciencia se convierte en producto del conocimiento sometido a pruebas permanentes y nos dan espacios propicios de pensamiento crítico y reflexivo.

En el trabajo se establecen los modelos explicativos presentes en los estudiantes sobre célula y los elementos constitutivos de los argumentos, así como su coherencia global. La información fue recolectada a través de la aplicación de un instrumento de indagación de ideas previas, el cual estaba constituido por 11 preguntas las cuales permitieron analizar imágenes sobre la estructura celular, diferenciación celular, relaciones entre organelos celulares y su función. Además, varias de las preguntas requerían de justificaciones en las cuales se pudo analizar la estructura y coherencia de los argumentos.

## ANTECEDENTES

La enseñanza de las ciencias naturales, al igual que las demás áreas de las ciencias presentan diferentes dificultades para lograr la apropiación de conceptos propios de la ciencia, bien sea desde el punto de vista motivacional o desde la forma como el maestro presenta o expresa el conocimiento.

Los docentes de ciencias naturales por lo general se valen de textos guía que son empleados para preparar sus clases, estos textos en su gran mayoría son limitados en su presentación de contenidos, pues son casi inexistentes los espacios para resaltar las relaciones entre la ciencia, tecnología y la sociedad que han hecho posible el desarrollo de la teoría celular.

Un problema importante en la enseñanza de las ciencias naturales radica en que con frecuencia se presentan conceptos y teorías como conclusiones, lo que hace difícil identificar qué problema trataban de resolver científicos como Darwin o Lavoisier; otro problema es que enseñan los modelos sin hacer referencia a las pruebas que lo sustentan. Lo propuesto permite valorar el papel que puede significar la introducción de la argumentación para dar solución a este tipo de aspectos. La inclusión de la argumentación permite evaluar el proceso que ha permitido escoger determinados modelos y no otros (Jiménez y Puig, 2010, p 12).

Ya diferentes estudios han demostrado la necesidad de abordar la enseñanza de la célula, pues se han detectado diferentes dificultades en su aprendizaje.

(Giménez, 1993) plantean que los jóvenes al terminar la educación básica no entienden realmente el funcionamiento celular. La célula se entiende como una unidad viva con la capacidad de formar otros seres, sin recordar organelos ni funciones asociadas a estos; demuestran la existencia de dificultades en relación de la célula con sus funciones vitales.

(Díaz, 1999) encontró que la mayoría de los estudiantes utiliza una representación de la célula que corresponde a un modelo idealizado, elaborado a partir de la síntesis que tiene como referente la microscopía electrónica; la mayoría de los dibujos representan una célula plana y no tridimensional; los dibujos, previos a la observación, del aspecto que se espera

de las muestras, exponen un escaso conocimiento de la forma y la estructura celulares de animales y plantas.

(Rodríguez y Moreira, 1999) plantea que parece confirmarse la necesidad de abordar el aprendizaje de la célula de forma gradual, fundamentalmente cuando se trata de conceptos altamente estructurados, como la célula; y constata que el diagnóstico de representaciones mentales tiene que ser continuado y procesual para que tenga eficacia.

Complementario a lo anterior (Flores, 2000) concluye que los procesos celulares sólo se comprenden parcialmente. Existe una desvinculación, entre las representaciones que hacen los estudiantes y lo planteado en textos y programas. Afirma de igual manera que estas dificultades ponen de manifiesto la complejidad de la transposición didáctica en la enseñanza de la célula, es decir, el proceso de seleccionar, reorganizar y reformular los contenidos elaborados por la actividad científica para que puedan ser enseñados a los alumnos y asumidos por ellos.

Otros autores han realizado trabajos que tratan de alguna manera en dar solución a las anteriores dificultades, entre estos trabajos podemos nombrar a (Rodríguez y Moreira, 2000) quienes realizan un trabajo sobre modelos mentales de célula, obteniendo cuatro modelos dentro de estudiantes que cursaron la asignatura de Biología. Los modelos fueron presentados de la siguiente manera: 1. La célula como unidad única y estática, 2. Imagen estructural y funcional de la célula, ambos independientes, 3. Imagen integrada entre estructura y función de la célula, pero con imágenes estáticas; 4. Integración entre estructura y función celular, pero con imágenes dinámicas y complejas. Distintas investigaciones han demostrado dificultades que se presentan en el aprendizaje de la célula, (Andreu, 2001) afirma que a pesar de la lógica atención que se presta a la enseñanza de célula en el bachillerato, esta se halla con dificultades y concepciones erróneas que a veces, pueden pasar inadvertidas en determinadas formas de enseñanza. Muchos alumnos de bachillerato no desarrollan un concepto correcto de célula debido a ideas previas, a veces muy sutiles, que han adquirido en contextos extraescolares. Pero aún más llamativo, es el hecho de que algunas ideas previas erróneas se derivan de estrategias de enseñanza desarrolladas en el propio contexto educativo, como desde la clase magistral o en prácticas experimentales que de manera general o superficial abordan su enseñanza (Andreu, 2001).

En aspectos relacionados con el enfoque CTSA (ciencia, tecnología, sociedad y ambiente), en un trabajo propuesto por (Solbes, 2007) menciona la importancia de la introducción de las relaciones CTSA en la enseñanza de la tecnología y las ciencias porque da una idea multidimensional de los diversos factores que intervienen en la solución de problemas científicos y tecnológicos, además de dar una visión histórica y una contextualización de los contenidos enseñados. Al realizar actividades de este tipo los estudiantes de ciclos formativos superiores cambian su imagen de la tecnología y las ciencias y mejoran sus actitudes hacia las mismas. Los resultados presentados en este trabajo de investigación ponen de manifiesto que un tratamiento adecuado de las relaciones CTSA mejora las motivaciones y actitudes de los alumnos de los ciclos formativos para el estudio y aprendizaje de la física y las tecnologías asociadas, mejora la imagen de éstas, disminuye las concepciones erróneas e incompletas, aumenta el conocimiento de las aplicaciones de las mismas y su conexión con la realidad, así como las implicaciones sociales y ambientales que poseen. Así mismo aumenta el sentido crítico equilibrado al ver tanto las ventajas como inconvenientes que poseen, haciendo de los alumnos ciudadanos más responsables y conscientes de sí mismos. Además, las actividades CTSA sirven como elementos motivadores estructurantes de los conceptos y principios estudiados por los alumnos y de detección de concepciones erróneas o incompletas. (Tamayo, 2011) la investigación propone un modelo de enseñanza de la argumentación en la clase de ciencias que relaciona tres componentes: epistemológico, conceptual y didáctico. Este documento muestra una propuesta que puede ayudar a los docentes a reflexionar sobre su pensamiento y desempeño en relación con el uso de la argumentación en sus clases de ciencias.

(Gómez, 2011) realiza una propuesta didáctica que tiene como base la historia y la epistemología del concepto, teniendo en cuenta la identificación de obstáculos que llevaron a la formulación de la teoría.

(Gonzales y Harms, 2012) plantean la importancia de las ideas previas como punto de partida para la enseñanza, pero también deja entrever que aun cuando los estudiantes han pasado por un proceso enseñanza a la célula, muchos estudiantes son incapaces de vincular características y funciones de los seres vivos con las características y funciones de la célula,

lo que dificulta la comprensión de la célula como unidad estructural y funcional de los seres vivos.

Otra propuesta la realiza (Tapia y Arteaga, 2012) quienes proponen el empleo de diferentes ilustraciones como estrategia para la enseñanza de la célula.

(Buitrago, 2014) realiza una propuesta basada en una unidad didáctica, fundamentada en los principios de ideas previas, historia y epistemología del concepto, lenguaje y metacognición.

(Revel, Meinardi y Aduriz, 2014) establece la relación entre el aprendizaje de la argumentación científica escolar y la adquisición de un modelo complejo en torno a la salud y la enfermedad, según lo mencionan, al implementar la competencia argumentativa esta contribuye al aprendizaje de contenidos científicos. Además, como producto de la intervención a través de una unidad didáctica, la calidad de los textos argumentativos muestra una progresión positiva mostrando una incorporación de los componentes enseñados. Los textos demuestran ser cada vez más sofisticados.

(Pájaro, Trejos, Ruiz y Álvarez, 2016) En este trabajo se establecen algunas relaciones que existen entre la argumentación y el aprendizaje del concepto tejido muscular. El trabajo demuestra la importancia de la argumentación en el aula como herramienta de aprendizaje. Es un punto de referencia útil porque muestra continuidad en trabajos ya citados sobre la relación entre la argumentación y el aprendizaje de las ciencias naturales; también me ha brindado información para proponer el diseño metodológico de la presente investigación.

Aunque los distintos trabajos abordados hasta este momento han demostrado que se ha trabajado la enseñanza de la teoría celular desde otras perspectivas; veo que se hace necesario enfocar esta enseñanza desde otros enfoques, pues existen trabajos que han demostrado el papel de la argumentación como herramienta de aprendizaje.

Otro aspecto importante que agudiza la problemática radica en la obtención de resultados muy pobres en las pruebas externas, lo cual evidencia la existencia de un vacío considerable en los aprendizajes, los cambios que se proponen desde el enfoque de la prueba PISA que ha demostrado que los estudiantes colombianos demuestran dificultades, tal y como se mencionan en el siguiente aparte.

En Colombia el 27% se ubicó en el nivel dos, el 13% en niveles tres y cuatro y el 34% alcanzó el nivel uno. Este resultado muestra que más de la mitad de los evaluados tiene una competencia científica aplicable únicamente a situaciones con las que están familiarizados y dan explicaciones triviales que surgen explícitamente de la evidencia disponible. Una menor proporción (27%) logra dar explicaciones sobre sucesos científicos a partir de contextos familiares, llegar a conclusiones con base en esquemas simples de investigación e interpretar literalmente los resultados de una investigación científica. Ministerio de Educación Nacional (MEN, 2008).

Lo anterior confirma la necesidad de potenciar otro tipo de aprendizajes en los estudiantes, como podrían ser habilidades de orden superior que tengan que ver con la argumentación, pues son habilidades que permiten a los estudiantes dar significados de mayor profundidad y complejidad logrando alejarlos de respuestas y conclusiones literales.

## **ÁREA PROBLEMÁTICA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

Después de una revisión realizada a distintos documentos, se encontró que era recurrente hallar dificultades en el aprendizaje de la teoría celular; dichas dificultades estaban muy relacionadas con la forma como se llevan los contenidos al aula de clase, pues estos tratan el tema desde visiones muy abstractas y ceñidas a modelos muy teóricos de la teoría celular. Además de la comprensión de la teoría celular dependen gran cantidad de conceptos que permiten la comprensión del funcionamiento y estructura de los seres vivos, desde un nivel individual (celular), hasta un nivel orgánico y sistemático de los mismos. También fue importante la determinación de dificultades que muestran los estudiantes en el momento de expresar y justificar sus explicaciones, pues en la mayoría de los casos se muestran transcripciones textuales con falta de argumentos sustentados en posturas individuales y mucho menos sustentadas bajo postulados o teorías científicas. Adicional a esto le sumamos el énfasis que se hace hoy en día al desarrollo de competencias de orden superior y las dificultades y retos que estos significan para los procesos de enseñanza-aprendizaje. Por tal motivo nace la pregunta de investigación:

¿Cuáles son los modelos explicativos sobre célula, la estructura y coherencia de los argumentos en los estudiantes de grado 10 en la institución educativa Supía?

## JUSTIFICACIÓN

En la enseñanza de las ciencias naturales es común encontrar un modelo transmisionista, obsesionado por la cantidad de conocimientos más que por su calidad. Hoy en día los cambios a nivel global en cuanto al tipo de ciudadanos competentes y los requerimientos de pruebas como la prueba PISA, exigen un modelo de formación que implique el desarrollo de habilidades y competencias científicas, ya definidas por la OCDE como “la capacidad para utilizar el conocimiento científico para identificar preguntas y obtener conclusiones a partir de evidencias, con la finalidad de tomar decisiones sobre el mundo actual y los cambios que la actividad humana produce en él” (OCDE/PISA, 2000).

(Jiménez y Puig, 2010) establecen la argumentación como evaluación del conocimiento a partir de las pruebas disponibles. Muchos docentes desean que sus estudiantes desarrollen la competencia argumentativa en clase, aunque en vez de contentarse con que el estudiante conteste adecuadamente a una pregunta, exigen que razone su respuesta, justificando por qué la da. Tanto en el marco de la evaluación PISA como en los currículos españoles y de otros países, a partir de la recomendación de la Unión Europea en 2006, se consideran tres competencias científicas: 1. Identificar preguntas y cuestiones científicas, 2. Explicar o predecir fenómenos aplicando conocimientos científicos, 3. Utilizar pruebas para elaborar y comunicar conclusiones y para identificar los razonamientos que las sustentan (p.11).

Para autores como (Henaó y Stipcich, 2008, p 58) Mencionan que, en el mundo de hoy, el de la ciencia, la tecnología y la información altamente industrializado y mecanizado y envuelto en enormes crisis como la inequidad, la miseria y la devastación ambiental, crisis que no son ajenas a las relaciones ciencia y sociedad, es fundamental la formación en la democracia participativa y deliberativa, es decir, en y para la toma de decisiones informadas y fundamentadas. Esta perspectiva es inseparable de la enseñanza basada en procesos de argumentación en los cuales se articulan, de un lado, las operaciones epistémicas y cognitivas que permiten cualificar los razonamientos; y de otro, los asuntos del ámbito sociológico.

Sí se analiza la definición propuesta por la OCDE de competencias científicas, vemos la necesidad de formar ciudadanos reflexivos, con capacidad para tomar decisiones basadas en argumentos, pero siempre respetando los diferentes puntos de vista de los demás.

De forma frecuente los docentes de ciencias naturales encontramos dificultades persistentes de la mayoría de estudiantes, pues a la hora de expresar y organizar un conjunto de ideas en un escrito que se caracterice, desde un punto de vista científico por su rigor, precisión, estructuración y coherencia; se pueden encontrar obstáculos para diferenciar hechos observables e inferencias, identificar argumentos significativos y tampoco distinguen entre los términos de uso científico y los de uso cotidiano y utilizan palabras “comodín”, propias del lenguaje coloquial. Además, a menudo, o bien escriben oraciones largas con dificultades de coordinación y subordinación, o bien muy cortas sin justificar ninguna afirmación. (Sardá y Sanmartí, 2000, p.405–422).

Actualmente existe un consenso en considerar que, en la construcción del conocimiento científico, es importante el proceso de negociación que tiene lugar entre los miembros de la propia comunidad cuando se comunican modelos y teorías con la finalidad de valorar representaciones sobre el mundo.

También se sostiene que de la misma manera como en la construcción del conocimiento científico es importante la discusión y el contraste de ideas y que el lenguaje inicial tiene unas características diferentes del final, también sería necesario dar mucha más importancia en la construcción del conocimiento propio de la ciencia escolar, en el discurso de las ideas en el aula y en el uso del lenguaje personal que combine los argumentos racionales y los retóricos, como paso previo de la ciencia tome su sentido para el alumnado (Sardá y Sanmartí., 2000, pp 405-422).

Todo este conjunto de demandas demuestra la necesidad de desarrollar la capacidad argumentativa en las clases de ciencias. Como bien lo mencionó (Kuhn, 1991) el uso válido de la argumentación no se da de manera natural, sino que se adquiere mediante la práctica. Es por ello por lo que en la clase de ciencias se deben abrir los espacios que permitan tanto la formación en conceptos de la ciencia como en el pensar, hablar y escribir en el lenguaje de la ciencia.

(Jiménez, Bugallo y Duschl, 2000) “Además es de resaltar que la ciencia produce principalmente explicaciones acerca de cómo o por qué ocurre determinado fenómeno, y estas explicaciones son construidas, evaluadas y comunicadas a través de la argumentación”.

(Jiménez y Pluig, 2010) Plantean que “La argumentación es una herramienta intelectual que capacita para articular las pruebas con los datos, contribuyendo tanto a la alfabetización científica como a la educación ciudadana” (p17).

Es por la situación anterior que el proyecto toma su importancia, pues se plantea como objetivo fundamental rescatar el valor de la ciencia como una construcción que se hace en sociedad, cuyos componentes principales se basan en el ambiente, la ciencia y la tecnología apoyándose en los hechos históricos determinantes en la construcción del conocimiento científico.

Distintos autores, han sugerido que la educación científica debe promover la argumentación como una dimensión fundamental del aprendizaje de ciencias naturales, en este documento los autores expresan las escasas oportunidades que tenían los estudiantes para practicar argumentaciones en las clases de ciencias naturales y los deficientes conocimientos de los docentes sobre el tema de la argumentación (Driver, Newton y Osborne, 2000).

El desarrollo de la teoría celular ha sido una construcción realizada por décadas, en la cual existió la intervención de un número apreciable de personas que aportaron con sus ideas y descubrimientos a la transformación de esta teoría. Para la comprensión de la teoría celular y cualquier otra teoría o concepto es indudable la importancia de un análisis histórico de los hechos, pero en un contexto más cercano que involucre la relación entre ciencia-tecnología-sociedad y ambiente.

Este trabajo demuestra una importancia porque rompe la forma tradicional de llevar la enseñanza de las ciencias naturales que por tradición se han preocupado por llevar a los estudiantes conceptos de forma determinista, lo cual no resulta coherente con la forma en que se produce el conocimiento científico, ni con los modelos actuales de los procesos enseñanza-aprendizaje. A su vez se convierte en una continuación de algunos trabajos que han abordado temas propios de las ciencias naturales desde una visión argumentativa, lo

cual enriquecerá las futuras investigaciones sobre el tema y podrá reunir información relevante que permita una transformación permanente en la enseñanza de las ciencias naturales en el favorecimiento del aprendizaje de estas.

En resumen, podemos hablar de los objetivos que se pretende asumir con la enseñanza-aprendizaje de la argumentación o razonamiento científico según lo propone (Driver, Newton y Osborne, 2000).

- La argumentación ayuda a comprender los conocimientos científicos. Es muy importante la discusión de los criterios para evaluar las teorías científicas, es decir, hablar en clase de las relaciones existentes entre las hipótesis, los fenómenos, los experimentos, los modelos teóricos y la evolución de las teorías.

- La argumentación puede ofrecer una visión que entienda mejor la propia racionalidad de la ciencia, analizando su proceso de construcción.

- Permite diferenciar argumentos propios de la ciencia que de otra índole.

En conclusión, para aprender ciencia es necesario aprender a hablar y escribir (y leer) ciencia de manera significativa. Eso implica aprender a hablar sobre cómo se está hablando (metadiscurso). Reconociendo las diversas maneras de expresar un mismo significado, las diferencias entre el lenguaje cotidiano y el científico y las principales características de cada tipo de discurso.

La única manera de aprender a producir argumentaciones científicas es producir textos argumentativos-escritos y orales-en las clases de ciencias, discutiendo las razones, justificaciones y criterios necesarios para la elaborarlas. (Sardá y Sanmartí,2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias. Enseñanza de Las Ciencias, (pp 405–422).

Con esta investigación se pretende continuar recolectando evidencias que permitan valorar la importancia de la argumentación para el aprendizaje de las ciencias naturales y su incorporación de manera permanente en los procesos de aula.

## REFERENTE TEÓRICO

En este capítulo se tratarán especialmente dos aspectos, el primero corresponde al desarrollo histórico de la teoría celular, y el segundo se refiere a la argumentación.

### **Evolución histórica del concepto célula**

Los trabajos sobre el desarrollo de la teoría celular son tomados de un trabajo realizado por (Giordan, Host, Tesi y Gagliardi, 1988), en este texto tratan de una forma muy completa lo que ha sido el proceso de construcción de esta teoría, desde una visión de la ciencia la tecnología y la sociedad.

Los orígenes de la teoría celular comienzan con las primeras observaciones de tejidos biológicos con microscopios simples.

Según lo plantea en el texto, la mayoría de los historiadores de comienzos de la historia de la teoría celular datan de la comunicación de Hook a la Royal Society de Londres en 1667. Guyénot lo resume así: “Hooke examinaba al microscopio una lámina de corcho cuando le pareció ver unos poros”. Hizo una preparación más delgada de la misma sustancia: “Pude... darme cuenta con toda claridad de que estaba perforada y llena de poros como un panal”. Hook se imaginaba estos poros como celdillas alargadas, fraccionadas en diagramas transversales. Los presentó con bastante exactitud. Contó que había 60 de esas células- es el término que empleó situadas, una tras otra, en un dieciochoavo de pulgada, lo que implicaba más de un millón (1666400) en una pulgada cuadrada o  $6,5 \text{ cm}^2$ , es decir, un número difícil de creer.

Al recabar información acerca del origen del corcho, supo que esta sustancia es una parte de la corteza de ciertos árboles. Entonces se le ocurrió observar al microscopio diversos fragmentos vegetales; así fue como descubrió que, “en la médula del sauco o de casi todos los árboles, en la pulpa interna o en la médula de diversas plantas, como el hinojo, la zanahoria, la bardana, el cardo, y ciertas cañas”. Existía la misma estructura porosa. Hooke interpretó sus observaciones de un modo bastante inesperado. Por una parte, utiliza sus observaciones para explicar las propiedades físicas de un material (arena, nieve, hielo, caliza porosa...); en el caso del corcho, explica su ligereza, su capacidad de

compresión, su impermeabilidad. Por otra, investiga si la organización microscópica no permitirá la aparición de puntos comunes entre los animales y los vegetales. Se pregunta si los poros observados no serán el resultado de la sección de los vasos o de los conductos comparables a las arterias y las venas de los animales.

Además de Hook por la misma época, Grew publicó otros dibujos relativos a la estructura de los vegetales en *Anatomy of Vegetables Begun*, enviados a la misma sociedad. Centró su interpretación en la estructura global del tejido que, a su entender, está formado por una admirable red de fibras de una extrema complejidad.

Leeuwenhoek, un comerciante de paños de Delft, realizó extraordinarias observaciones con microscopios simples que el mismo construía. Sus descripciones versaban, en particular, sobre infusorios, espermatozoides, glóbulos rojos nucleados de peces, e incluso bacterias. Malpighi realizó también observaciones citológicas.

A los anteriores autores, no se les puede atribuir la paternidad de la teoría celular. Apenas interpretaron lo que veían; sus descubrimientos eran ante todo una fuente de admiración, que solía ser un punto de partida para una meditación filosófica o religiosa. No trataron de acercar las observaciones efectuadas en los dos reinos y, en el ámbito vegetal, se fijaron solo en la membrana: el término célula. Que llama la atención sobre las paredes, ha consagrado esta orientación.

No obstante, esta avalancha de descubrimientos, cayeron en el estancamiento por más de ciento veinte años. Para Singer, se trata de un problema no resuelto. Sin embargo, pueden proponerse explicaciones que demuestran la importancia de dos obstáculos propios de la biología: la relación con el experimento y las modalidades de teorización. Superar estos obstáculos implicaba, por una parte, una modificación profunda de la sociedad científica, y por otra el descubrimiento de una problemática y de procesos de pensamiento propios de la biología, en una época en la que los sabios eran generalistas, “filósofos” profundamente influenciados por el notable desarrollo de las ciencias físicas.

Para realizar observaciones reproducibles, había que controlar las aberraciones debidas a los instrumentos y los artefactos producidos por las técnicas. Los microscopios de fabricación artesanal eran extremadamente diversos, no sólo en forma, sino también en sus propios principios; participaban de la personalidad del sabio, de manera que Leeuwenhoek

siempre negó prestar sus mejores microscopios; sus características técnicas eran muy variables y los usuarios las ignoraban por completo. La utilización del instrumento agravaba la subjetividad del observador, en particular porque las aberraciones solían ser de la misma magnitud que el objeto estudiado. El término glóbulo se refiere a los glóbulos rojos observados por Leeuwenhoek; los glóbulos de grasa son figuras resultantes de la aberración esférica. En 1820, Milne Edwards podía escribir aún: “la estructura elemental es idéntica en todos los animales, todos los tejidos están formados por la unión de corpúsculos esféricos de 1/200mm”. Las observaciones *in vivo* ponían a veces sobre el material poco alterable estudiado en su medio natural, algas filamentosas, pelos de estambres de *Tradescantia*. Se colocaban en un mismo plano que las realizadas en material necrosado por maceración, examinado sin aclarar ni teñir; nada se sabía sobre la labilidad de las estructuras vivas, sobre la acción de los líquidos conservantes utilizados por las amas de casa o en las aulas de anatomía: alcohol, ácido acético, formol. Por ejemplo, para estudiar un tejido conjuntivo, se lo dilaceraba al aire, tanto que quedaba reducido a una trama inerte de fibras al suprimir la totalidad de los elementos vivos. En biología, un hecho reproducible implica el conocimiento preciso de múltiples variables ligadas al objeto, a los instrumentos, a los factores del medio, obligación ignorada en aquella época, aun cuando la cumplían intuitivamente ciertos grandes cerebros como Leeuwenhoek.

En el siglo XVII se formularon numerosas teorías para explicar las características de los seres vivos a partir de un soporte anatómico. Unas a partir de Grew, admitían la existencia de una sustancia plástica fundamental, continúa en un principio y luego eventualmente dividida mediante tabiques. Otras trataban de caracterizar el ser vivo mediante una unidad anatómica inicial, que desempeñaría el papel de principio en el doble sentido de la palabra “unidad primordial y principio de inteligibilidad”.

Formulación de la teoría (1820-1860). Casi siempre, una teoría considerada nueva viene precedida de un lento trabajo de gestación. De esfuerzos dispersos, de tentativas fragmentarias. Al fin llega un momento en el que las ideas que están en el aire cristalizan de alguna manera, encuentran su expresión completa en el pensamiento de un hombre superior que aparece en el momento favorable y le estampa su sello personal.

Durante la primera mitad del siglo XIX, cambiaron profundamente las condiciones de la investigación: se institucionalizó y el mecenazgo fue sustituido por los recursos colectivos. La mayoría de los sabios serán, en lo sucesivo, profesionales de la investigación, con algunas excepciones (Thuret, Hofmeister). Esta evolución se inició a partir de 1750: se crearon cátedras de ciencias en las universidades alemanas (Gotinga, 1759), se desarrolló la enseñanza superior en Francia durante la revolución. Pero el vínculo institucional entre la investigación y la enseñanza, vínculo que entraña la instalación del laboratorio por la cátedra universitaria, no se desarrolló hasta el período 1800-1850, también en las universidades alemanas. Los científicos ingleses, que se mostraban reticentes a seguir esta evolución por miedo a perder su libertad, se vieron luego en dificultades por la falta de medios materiales.

La multiplicación de laboratorios permitió un desarrollo rápido de los instrumentos, en particular del microscopio. La construcción de estos últimos pasó a ser patrimonio de talleres especializados dirigidos por ópticos con formación teórica, que trabajaban juntamente con las universidades. Los microscopios de lentes acromáticas se comercializaron a partir de 1825, si bien estas lentes ya se utilizaban en los telescopios astronómicos desde hacía más de cincuenta años: el primer microscopio de este tipo lo construyó en 1791, en Inglaterra, un oficial de caballería. La corrección de la aberración esférica en las lentes aplanéticas fue inventada por Lister hacia 1830 y se extendió con rapidez. Hacia 1840, el poder separador de los microscopios más comúnmente utilizados en laboratorios era alrededor de  $1\mu$ , magnitud que permite una primera exploración del dominio citológico.

En lo sucesivo, las características técnicas de los instrumentos se definirán de un modo objeto (aumento, campo, poder separador, importancia de la aberración), y su empleo correcto exigirá un aprendizaje idéntico para todos los usuarios. Es así como estos instrumentos permiten que la comunicación objetiva sustituya la terminología personal, aun cuando los métodos de preparación eran rudimentarios. En adelante el trabajo de los científicos se situará en el marco de la sociedad científica internacional, que funciona en como una institución en cuyo seno se define la problemática de la investigación y los métodos o técnicas que permiten llevarla a la práctica.

Los perfeccionamientos del microscopio contribuyeron también una toma de conciencia de la complejidad de un universo que otrora parecía muy sencillo: por ejemplo, a partir de 1825 ya no fue posible situar en un mismo plano todos los “glóbulos” observados en los tejidos animales. El hecho de que un gran número de laboratorios enfocaran el mismo problema contribuyó a acelerar considerablemente el establecimiento de hechos generales merced a la comparación de situaciones diferentes. En varias ocasiones, sabios eminentes (Virchow, Hertwin, Delage) han demostrado la importancia de la excepción en los descubrimientos biológicos.

Paralelamente al desarrollo de los medios, se asiste a un cambio en el ambiente intelectual. Hacia principios de siglo se observa un interés renovado por el mundo vivo.

La moda del microscopio es anterior a los perfeccionamientos aportados a partir de 1820. Varios sabios notables, Dutrochet y Purkinje, por ejemplo, comenzaron sus investigaciones con un microscopio simple. La aparición de nuevos microscopios suscitaba a veces un entusiasmo desbordante. Henle y Schwann, alumnos del gran fisiólogo Müller, los adquirieron con su propio sueldo de ayudantes; Purkinje daba clases a domicilio de microscopía. Por el contrario, el microscopio tenía ardientes detractores, principalmente en la clase médica. Pero mientras que estos publicaban panfletos, la nueva generación de citólogos multiplicaba sus trabajos originales y sus descubrimientos. Antes de 1810, había una publicación de anatomía cada veinte años; después de 1840, cada país contaba con una o varias publicaciones periódicas que publicaban puntualmente los nuevos textos relativos a este campo.

Los sabios de la época estaban poco especializados; los trabajos de Purkinje; por ejemplo, se refieren a la antera, al ojo, al huevo de pollo. El interés recayó en la forma, no por un acotamiento disciplinario, sino por la dificultad de basar un estudio experimental sobre una materia viva que apenas era conocida.

Los precursores: la proliferación de los trabajos en Francia, Alemania, Inglaterra, condujo a un acopio importante de resultados nuevos. La atención de los citólogos se desvió de la pared al contenido celular. Brown descubrió el núcleo en 1831, y amplió en concepto de célula nucleada a los vegetales a partir de sus propias observaciones y de los datos obtenidos por otros. En 1835, Dujardin describía por primera vez el citoplasma en

los infusorios, con el nombre de sarcoda; luego lo encontró en otros tipos de células; el descubrimiento de los movimientos citoplasmáticos en los filamentos de los estambres de *Tradescantia* y en ciertas algas filamentosas contribuyó en fijar la atención en la importancia del contenido celular. Los trabajos de Dutrochet, Purkinje, Henlé, Valentin diversifican las descripciones de las células vegetales, cuya existencia estaba más generalmente admitida.

La organización y recogida de datos están orientadas por dos problemas diferentes. Ciertos científicos siguen un procedimiento inductivo fundamentado en la comparación de las formas, y buscan uno o varios elementos básicos. Treviranus, por ejemplo, distingue en los tejidos animales tres categorías de partes elementales: la materia amorfa, las fibras y los glóbulos; esta clasificación, puramente descriptiva, no desembocará en propuestas de investigación nuevas. Otros buscan apoyo en una explicación biológica.

Mención especial merece Schleiden, debido a la influencia que ejerció sobre Schwann; este último le debe el impulso que se llevó a formular su teoría, pero también la aceptación de ciertas ideas falsas sobre el origen de las células. Schleiden, jurista que llegó tardíamente a la investigación botánica, no compartía el puntillismo empirista de muchos de sus colegas, que “se contentaban con describir y clasificar prescindiendo de explicaciones”. En su obra *Contributions à la phytogénèse* (1838), menciona claramente la generalidad de la estructura celular como:

Agregados de seres totalmente individualizados, independientes y distintos que son las células. Cada célula lleva una doble existencia, una propia, que corresponde a su desarrollo y otra ocasional en tanto que componente de la planta...

Desgraciadamente, defendía la tesis de la formación libre de las células a partir de una materia desorganizada (blastema), en una época en que las observaciones que demostraban que las células provienen de células preexistentes se multiplicaban en el reino vegetal.

La formulación de la teoría por Schwann: Una anticipación genial. Schwann (1810-1882), alumno de J. Müller, era a un tiempo un teórico genial y un hábil experimentador. Realizó investigaciones en los más diversos campos, partiendo casi siempre de un problema fisiológico. En particular, midió la fuerza del músculo gastrocnemio de la rana en función de factores físicos (primer estudio cuantitativo de una fuerza “vital”); descubrió la pepsina;

atribuyó, veinte años antes que Pasteur, las enfermedades y la descomposición a los microorganismos, si bien no pudo imponer este punto de vista frente a Leibig; construyó un aparato para medir la intensidad de la respiración; desarrolló la teoría celular después de un encuentro histórico con Schleiden. Al comparar sus preparaciones de notocorda y de cartílago con los cortes vegetales de éste. La investigación de Schwann no se propone únicamente poner de manifiesto la existencia de una unidad anatómica para todos los seres vivos, pese a la extraordinaria diversidad de formas, sino que trata de explicar, ante todos, los caracteres generales de su fisiología por medio de una misma unidad funcional. La célula se define más que por su membrana, por el contenido: una masa citoplasmática con un núcleo en su interior. Las investigaciones de Schwann son ante todo un avance orientado por una problemática (“se puede explicar la materia viva a partir de una misma unidad funcional”).

La teoría de Schwann marca asimismo una evolución interesante en las relaciones entre la ciencia y la filosofía. En esta época ambos campos se mezclaban a menudo. Era frecuente que las revistas de filosofía publicaran artículos científicos; por ejemplo, aún en 1851, Clarke publica su estudio microscópico de la médula espinal en *Philosophical Transactions*. La adopción de un punto de vista vitalista o mecanicista solía parecer una condición necesaria de la explicación científica. Schwann, que según la expresión de Florin era un racionalista místico, se zafó de este dilema alejándose de los filósofos de la naturaleza para adoptar la posición de Kant, quien distingue dos puntos de vista complementarios: el de la aplicación científica, que solo se refiere a datos accesibles a la experiencia y que compete a una perspectiva mecanicista; y el del significado de los fenómenos observados, que define los problemas y los objetos específicos de la biología. La explicación reduccionista de la ciencia lleva a problemas específicos de la materia viva, como la reproducción, que previamente hay que definir a partir de su finalidad: el mantenimiento o la propagación de la vida.

Por el contrario, los mecanicistas como Haeckel veían en la célula una etapa del aumento de complejidad de la materia viva, debida únicamente a acciones materiales. La vida se definía como el “modo de existencia de los cuerpos albuminoides” (Engels), o mejor, como el producto de una interacción entre moléculas ordenadas. La orientación de

la investigación científica estaba influida por condicionantes filosóficos previos, en general inconsistentes. La feracidad de la teoría celular proviene, en parte, del hecho de haber permitido el constante enfrentamiento de los puntos de vista mecanicista y finalista en el plano experimental, así como el replanteamiento en la formulación de las preguntas y en la interpretación de los hechos; así ha podido liberarse de las trampas de los dogmatismos y renovarse.

Constantemente surge el problema de las relaciones entre célula y el organismo: ¿Es el organismo una asociación de células, o se descompone en células? El pensamiento de Schwann es vago en este aspecto, que en su época no podía ser estudiado experimentalmente. Sin embargo, evitó la trampa de las analogías sociales que identificaban las relaciones célula-organismo con las de individuo-sociedad.

El desenlace de la formulación: Desaparecieron las inexactitudes a propósito del origen de las células. En los tiempos de Schwann era difícil observar la división celular, por lo que las observaciones individuales conducían a teorías contradictorias: división de células vegetales, formación de células hijas en el seno de una célula madre a partir del núcleo, diferenciación celular en el interior de un blastema organizado. La polarización de las investigaciones hacia este problema y los avances de la microscopía permitieron multiplicar las observaciones sobre la división celular en células vegetales (Nägeli, 1845, y Hofmeisner, 1849) y en un número creciente de tejidos animales, en particular en los huevos en segmentación (Remak, 1852). Los trabajos de Pasteur asestarían un duro golpe a las teorías de la generación espontánea de los microbios. La aproximación de los dos campos convirtió la autorreproducción celular en un carácter esencial de los sistemas vivos.

Se estableció la naturaleza unicelular de los protozoos. Durante mucho tiempo habían estado agrupados bajo la denominación de infusorios todos aquellos animales microscópicos que viven en el agua, ya se tratara de protozoos, de rotíferos, de algas o de gusanos. El estudio microscópico de los verdaderos infusorios y de otros protozoos reveló otra gran complejidad y una sorprendente analogía de funciones con los metazoos (movimientos ciliares, captura de presas). De ahí los múltiples intentos de encontrar los mismos aparatos: aparato digestivo o genital.

Hacia 1850, ya se habían formulado explícitamente, a partir de las bases experimentales, en general exactas, las diferentes proposiciones que definen la teoría celular, y todos los biólogos que emplean el microscopio (embriólogos, biólogos, botánicos, profesores de medicina) tuvieron que situarse en relación con ella.

La aceptación de la teoría: En Alemania, fuera de ciertos médicos, la acogida fue favorable, a veces entusiasta. La teoría sirvió de marco conceptual para la mayoría de los tratados de histología o de anatomía comparada, que proliferaron durante 20 años. Durante varias décadas los citólogos se vieron obligados a inventar técnicas y a estimular el desarrollo de instrumentos para poder responder a las preguntas que la teoría planteaba. Sus investigaciones permitieron redondear la formulación y sirvieron de punto de partida a gran parte de los descubrimientos de la biología general, que se multiplicaron a partir de 1860.

En gran Bretaña, los médicos se mostraron considerablemente reticentes en la medida en que el empleo del microscopio amenazaba con trastocar los métodos de diagnosis. Por otra parte, debido a su carácter prematuro, la teoría celular chocaba con la tradición cultural empirista, propia del pensamiento anglosajón.

La hostilidad hacia la teoría celular se debía, en conjunto, a dos factores: por una parte, se rechazaba la utilización de técnicas nuevas que conmovieran las condiciones de acceso al conocimiento; por otra, reaccionaban en función de un a priori filosófico, empirista y positivista.

Entre el periodo de (1860-1900), la ciencia se volcó en profundizar en el conocimiento de la organización y el desarrollo de las células, y de explicar las funciones generales de los seres vivos en términos de la biología celular. Son los progresos de las técnicas citológicas realizadas por los protagonistas de la teoría celular los que permitieron o facilitaron los descubrimientos relativos a la fecundación, al desarrollo, a las secreciones. Etc.

La multiplicación de las cátedras universitarias entrañó una aceleración de las publicaciones, una competencia entre laboratorios que desembocó en conflicto de prioridades. Esta tendencia se vio acrecentada por el desarrollo de antagonismos nacionales.

Era importante disponer de instrumentos de mayor calidad y perfeccionar las técnicas. La creación de laboratorios marinos aumentó de forma considerable el campo de las investigaciones microscópicas, y estos se desarrollaron a partir de 1850 (fundación Roscoff por Lacaze-Duthiers).

En esta época se consiguieron los últimos perfeccionamientos del microscopio óptico clásico: invención de los objetivos apocromáticos (1881), del objetivo de inmersión homogénea (1878), del diafragma y del condensador. Se alcanzó un poder separador de  $\frac{1}{4}$  de micra, muy próximo al límite teórico con luz natural: durante setenta años, no volvieron a cambiar las características técnicas del microscopio. La producción de instrumento implica una actividad investigadora importante, ilustrada por la empresa industrial Zeiss. Fue fundada en 1884 por la cooperación del físico Abbé, el químico Schott (inventor de nuevos vidrios) y del industrial Zeiss. Los grandes citólogos alemanes Hertwing y Flemming tuvieron acceso a estos microscopios desde su creación, en un momento en que era necesario el perfeccionamiento de las técnicas para que avanzara la investigación.

Para poder utilizar el poder separador de los nuevos microscopios, había que mejorar las condiciones de observación: realizar preparaciones muy delgadas y transparentes, aumentar los contrastes evitando los artefactos debidos a los procedimientos de fijación del colorante. Las dilaceraciones y maceraciones se sustituyeron progresivamente por técnicas de inclusión y de corte: los micrótomos datan de 1870-1882, la inclusión en parafina se puso a punto en el laboratorio marino de Nápoles, en 1880. Estas técnicas suponen un considerable ahorro de tiempo: antes de su utilización, se necesitaba 60 días de trabajo para obtener una serie completa de cortes transversales de anfioxo. Las técnicas de fijación fueron objeto de una investigación crítica recogida en las comunicaciones científicas; los productos más utilizados fueron los agentes coagulantes débiles (ácido ósmico), etc.) y los compuestos de metales pesados. Los colorantes se diversificaron: a los naturales (carmin desde 1850, hematoxilina a partir de 1862) se añade progresivamente la gama de los sintéticos, en particular los derivados de la anilina (fucsina, eosina, 1878); las condiciones exactas de su empleo (elección del colorante y determinación de la concentración favorable) en una observación concreta iban afinándose gradualmente.

La invención de este conjunto de técnicas exigió cerca de tres décadas. Como hoy en día nos son tan familiares, tendemos a olvidar que todo ello recabó en los científicos una gran inversión de tiempo y energía. Se necesitaba una motivación poderosa, que solía provenir de la resolución de un problema importante tropezaba con las dificultades de observación. Ahora bien, este tipo de problemas que planteaban, habitualmente, los partidarios de la teoría celular; la explosión descubridora de este periodo no es resultado automático de los procesos tecnológicos, sino que está orientada por el dinamismo de una problemática coherente. Las lagunas en el perfeccionamiento de las técnicas se traducen en cortapisas para los descubrimientos a largo plazo. Progresivamente se iba descuidando el perfeccionamiento de las observaciones sobre la materia viva indispensables para interpretar los datos obtenidos tras la fijación. En este aspecto, el único progreso fue el empleo de colorantes vitales (azul de metileno y rojo neutro) realizado por primera vez en 1886 por Pfeffer. Por otra parte, no existía una explicación exacta del efecto de los fijadores y los colorantes: ¿se producían alteraciones en la estructura física de los coloides, como las que tenían lugar en los sistemas artificiales? Y, en ese caso, ¿qué información cabría obtener de la estructura del protoplasma? ¿Se debe la tinción a la absorción por superficies con una realidad física? ¿Traduce la presencia de una determinada sustancia química? En esta época existía un divorcio permanente entre citólogos y bioquímicos: los primeros estudiaban las formas sin contenido, los segundos, siguiendo el ejemplo de Liebig, no sabrán utilizar el microscopio. El caso de Pasteur, un químico que manejaba el microscopio, muestra lo lamentablemente de la disyunción.

Evolución de las concepciones relativas a la célula: la primera ola de descubrimientos se centra en el núcleo. Schwann convirtió el núcleo en el principal hito de la existencia de la célula; pero hacia 1850, el poder separador de los microscopios y las técnicas no permitían, en muchísimos casos, seguir su permanencia; parecía difuminarse muy a menudo en los tejidos que se dividían activamente (huevo en segmentación, albumen...) y se cuestionaba su presencia en los gametos. No obstante, observaciones bien realizadas en casos especialmente favorables, apoyaban cada vez más la idea de la permanencia del material nuclear a lo largo de las sucesivas divisiones de las células embrionarias.

Entre 1870 y 1880, pudieron describirse las figuras de la mitosis en los dos reinos, e incluso pudo observarse in vivo durante su desarrollo efectivo. El perfeccionamiento de las técnicas y los microscopios permitió la síntesis de Strasburger para los vegetales (1875) y la de Remak para los animales (1880). Ambas establecieron que la mitosis es la forma general de división celular, y que se caracteriza por una sucesión definida de estadios comunes a los dos reinos. Los primeros recuentos cromosómicos se realizaron, a partir de 1860, en áscaris, azucenas, salamandras y algunos ortópteros; pero en otros casos se obtuvieron resultados inciertos a causa de la pequeñez de los cromosomas y de su gran número (equinodermos).

A partir de 1880, el interés de los investigadores se centró cada vez más en el citoplasma. Para los fundadores de la teoría celular, el citoplasma era una masa gelatinosa homogénea que debía su actividad metabólica, su movilidad, sólo a su composición química. Pero el aislamiento de los componentes químicos demostró que no basta la simple presencia de moléculas para provocar las actividades celulares; además, el más leve aplastamiento de la célula era suficiente para provocar la muerte. De ahí que surgiera la idea de buscar una organización propia para el citoplasma, o los orgánulos intermedios entre este y las células orgánicas. En suma, los conocimientos morfológicos relativos al citoplasma no podían explicar todas las funciones que este supuestamente debía asumir.

Desarrollo de una biología general basada en la teoría celular: hacia 1860, cierto número de trabajos habían establecido que la fecundación no resultaba del simple contacto de los gametos, sino que estaba vinculada a la penetración de uno o varios espermatozoides. Pero, a partir de esta fecha, dos dificultades mantienen bloqueadas las investigaciones: habían resultado infructuosas las tentativas de seguir la evolución del espermatozoide tras el contacto con el óvulo; según los ejemplos estudiados, la expulsión de los glóbulos polares estaba más o menos imbricada con la fecundación, y no se disponía de criterios para disociar estos dos procesos independientes. Fue gracias al apoyo de la teoría celular que Hertwing pudo abordar el problema de un modo original. A partir de 1880 los investigadores centraron su atención principalmente en los cromosomas. Se describieron los mecanismos de la reducción cromosómica en los dos reinos, pero las descripciones de la meiosis seguirán siendo vagas hasta finales de este periodo. En algunos casos favorables

(Ascaris, por ejemplo) se describe la yuxtaposición de los cromosomas de ambos padres durante la fecundación. La teoría celular permite también la puesta al día estudios embriológicos e histológicos. Antes de 1850, la embriología descriptiva estaba anclada al estudio de las hojas embrionarias. Las exfoliaciones observadas en ciertos huevos, en particular en los de batracio (Prevost y Dumas, 1824), se prestaban intervenciones divergentes, como la tabicación mecánica de la materia homogénea. Entre 1840 y 1861 quedó establecida la participación exclusiva de la división celular en la segmentación y la formación de las hojas embrionarias, gracias sobre todo a los trabajos de Kölliker.

A partir de 1880, el problema de la herencia se convierte en la principal preocupación de los citólogos: buscan en la organización celular el soporte que les permita explicar la transmisión de los caracteres hereditarios.

Paralelamente a la fisiología del organismo, se desarrolló una fisiología general basada en la célula. Por parte del problema siguiente: ¿cómo explicar las funciones generales de los seres vivos cuando los aparatos encargados de realizarlas cambian con un grupo sistemático, o incluso pueden no existir (un caso significativo es el de la respiración)? Para salir del vitalismo, los fisiólogos habían propuesto, a menudo, explicaciones que traducían un mecanismo simple; mecanismo que la teoría celular permitió poner en el sofá.

Al final de este periodo, la adhesión a la teoría era prácticamente general: era difícil entender la fecundación, el ciclo de desarrollo, la diferenciación de los tejidos, sin referirse a ella. En ella se basaban la mayor parte de los tratados de biología, de histología, de zoología o de botánica. Los conocimientos sobre el citoplasma no explicaban el metabolismo; no basta con demostrar la permanencia de los cromosomas para explicar la herencia, etc.

La consolidación de la teoría conduce a una reorientación que implica una reflexión epistemológica. Hacia 1900, la teoría celular no había agotado su papel innovador, como se dice a veces; no se preparaba un tranquilo retiro como instrumento didáctico. Había llegado a un punto de desarrollo que hacía necesaria una reflexión epistemológica. La ausencia de esta pesó enormemente sobre la evolución de la teoría en el transcurso de décadas ulteriores.

El reconocimiento oficial de la teoría durante el periodo 1900-1940. Cambios en el contexto institucional, evolución de las representaciones y las actitudes intelectuales: en general se trata de profundizar en el conocimiento morfológico de resultados mediante dibujo lo más fidedigno posible, y, eventualmente, de atribuirle propiedades como se le atribuye un papel a un actor. El realismo de esta aproximación impide el replanteamiento que conduce al cambio de paradigma y a las revoluciones científicas. Los campos ajenos a esta problemática (la genética, la microbiología y, sobre todo, la bioquímica) constituyen campos autónomos no integrados en la enseñanza oficial y en la formación de investigadores. F. Jacob ha descrito humorísticamente las relaciones entre los diferentes laboratorios de esta época.

La enseñanza ha reforzado todavía más esta tendencia al convertir la célula en un objeto pedagógico. La presentación del saber bajo una forma pseudoinductiva, la orientación de los trabajos prácticos mediante una observación estrechamente guiada por un dibujo y que ha de desembocar precisamente en eso, en un dibujo, desarrollaron la idea de que la célula era un objeto descubierto gracias al perfeccionamiento de técnicas y a los procedimientos de observación comparada que permiten establecer hechos generales. El sistema escolar centralizado y jerarquizado ha facilitado la influencia de la corriente positivista. Los sabios o los filósofos ajenos a esta corriente (Cuènot, Duhem, Bachelard...) quedaron en las provincias. En la secundaria, la teoría celular fue reducida a la presentación de hechos, y la de la evolución era la del último tema del capítulo del programa. En lugar de sensibilizar ante los problemas a los jóvenes intelectos, se les familiarizaba con certezas.

En el periodo anterior, los investigadores habían dedicado sus esfuerzos exclusivamente a los métodos de fijación y tinción, lo cual había dado lugar a críticas, a menudo corrosivas (Hardy, 1894; Lison, 1902). Se creyó necesario caracterizar mejor lo que se veía, explicar la acción del reactivo para lograr la ambición de Bulliard y Champy: “cada observación histológica es un pequeño experimento cuyos resultados deben ser duramente criticados: el efecto de la hipertonía, de la temperatura, del ph, de la rapidez de fijación...”. Por otra parte, se percibía la necesidad de articular mejor la observación in vivo y la de la célula muerta; la primera se basa en el empleo de colorantes vitales que se

precise y en los cultivos de tejidos. Esta técnica fue inventada por Harrison en 1907 y puesta en práctica por Carrel a partir de 1912, pero no se extendió por los laboratorios de citología.

¿Cómo aumentar el poder separador? La única posibilidad no explorada todavía era el examen con luz ultravioleta. Este sistema de iluminación exigía sistemas ópticos de cuarzo que sólo pudieron fabricarse a partir de 1920. Un reducido número de laboratorios se lanzaron a esta técnica, que permitió observar los virus más grandes y localizar y determinar la composición de los ácidos nucleicos en el periodo siguiente.

¿Cómo situar a escala celular las manifestaciones bioquímicas características de los seres vivos? La bioquímica había permitido identificar numerosos componentes, descubrir ciertos productos del metabolismo intermedio y los enzimas que catalizan la reacción, esbozar la arquitectura de ciertos ciclos metabólicos, pero estas manifestaciones no se explicaban mediante una organización celular estática. Se idearon técnicas para localizar ciertos componentes: análisis microquímicos, empleo de isótopos naturales (plomo, deuterio), estudio de la composición de los ácidos nucleicos al microscopio de luz ultravioleta con fotómetro acoplado...Por otra parte, se aplicó la centrifugación para aislar ciertos componentes celulares, determinar su composición química y su actividad en el interior de sistemas simplificados; se pasó de la centrifugación, que ya utilizara Miescher en 1870 para aislar los núcleos, a la centrifugación (Claude y Benda en 1934). Pero todas estas técnicas se utilizaron de forma muy puntual, se avanzaba muy poco y los resultados obtenidos a lo largo de este periodo fueron muy limitados.

Las aportaciones de este periodo: aparecen campos nuevos por su contenido y por la trayectoria intelectual-por ejemplo, en genética o en microbiología-pero quedan constreñidos por el fraccionamiento disciplinario y no conducen a una remodelación global de la teoría durante un periodo considerado. Progresó el conocimiento de la organización de la célula, especialmente en el marco de esquemas ya construidos. Las investigaciones relativas al núcleo se centraron sobre todo en los cromosomas, en particular en su evolución a lo largo del ciclo de desarrollo. En 1902, Sutton hizo balance de los veinte años de investigación sobre meiosis y la fecundación (Strasburger, Guignard, Overton, Flemming, etc.), planteando los principios siguientes: durante las divisiones celulares, los cromosomas

mantienen su individualidad morfológica (la dotación cromosómica está formada por parejas de cromosomas homólogos que en la meiosis se separan y se vuelven a formar en la fecundación), la segregación de los cromosomas de origen paterno y materno de una pareja determinada es independiente de las demás parejas; cada gameto recibe aleatoriamente los cromosomas procedentes de uno u otro progenitor. En 1905, y tras varios esbozos de formulación, Wilson enunciaba con precisión la existencia de los heterocromosomas característicos del sexo y la determinación cromosómica del mismo. Los cromosomas gigantes de las glándulas salivales de los dípteros, descubiertos en 1881, fueron una mera curiosidad zoológica hasta que, en 1930, Painter puso de manifiesto que su morfología traduce de manera bien visible la disposición lineal de los genes.

Las ideas sobre el citoplasma evolucionaron progresivamente. Se renunciaba cada vez más a describirlo como una estructura heterogénea regular para considerarlo una masa homogénea o hialoplasma, que contiene cierto número de inclusiones específicas: unas inertes, producto de la actividad del citoplasma (vacuolas), otras vivas, encargadas de una actividad precisa. Así pues, el problema se reduce a caracterizar las diferentes familias de inclusiones y determinar su función. A partir de 1900 se multiplicaron las publicaciones sobre estos orgánulos, pero, en conjunto, los resultados fueron decepcionantes. En el caso del aparato de Golgi es particularmente significativo: los investigadores persiguieron este fantasma durante cincuenta años; se presentaba con formas diferentes según fuera su origen y el método de fijación; a menudo aparecía imbricado con otros componentes, con aspecto de artefacto. Todavía en 1945, los investigadores que participaban en un coloquio no pudieron ponerse de acuerdo sobre la realidad de las estructuras atribuidas al aparato de Golgi. El ergastoplasma planteó otros tantos problemas. El condrioma fue el componente citoplasmático cuya realidad admitieron todos los investigadores gracias a la puesta a punto de métodos de fijación y tinción específicos. Las investigaciones sobre el citoplasma no aportan nada nuevo al problema al cual debía responder la teoría celular: ¿cómo explica esta organización las propiedades del ser vivo?

La distinción entre una membrana esquelética, propia de los vegetales, y una membrana citoplasmática, común a los dos reinos, era reconocida de manera general al principio de este periodo. Las teorías que trataban de explicar su permeabilidad selectiva se

complicaban progresivamente. No pudo estudiarse su actividad fisiológica, pero se la relacionó con la polarización eléctrica de la membrana, descubierta por primera vez en la neurona y en la fibra muscular.

La teoría cromosómica de la herencia que se elaboró entre 1910 y 1933, en particular por Morgan y Painter, estableció una correspondencia sistemática entre las diferentes leyes de la herencia (grupos de caracteres ligados, ligamentos de caracteres medidos por la tasa de recombinación, herencia ligada al sexo...) y los respectivos caracteres de los cromosomas (número de pares, distancia entre genes, cromosomas sexuales, cromosomas mutantes...). A pesar de esto, un profundo abismo se establecía entre los citólogos y los genetistas: el razonamiento hipotético-inductivo y matemático de los segundos no sólo se alejaba del modo de pensar inductivo de los biólogos, sino que estos se sorprendían de los métodos de trabajo en sí: ¿pueden establecerse leyes generales trabajando con un número reducido de especies, con cepas rigurosamente seleccionadas y en condiciones de laboratorio alejadas del medio natural? La genética fue excluida del campo conceptual de los citólogos, aun cuando el problema de la herencia fuera una obsesión de la generación anterior.

Los microbios se convirtieron en objeto de investigación fundamental. La progresiva orientación morfológica de la biología celular tropezaba con un obstáculo importante: ¿cómo explicar que las bacterias puedan manifestar las propiedades de células vivas si en apariencia carecen de la mayoría de los elementos del arsenal celular? El problema se soslayaba al calificarlas de primitivas; la mayoría de los tratados las definían de forma negativa: formas desprovistas de núcleo, de plastos, de sexualidad.

Balance del periodo: al final de esta época, puede constatarse la siguiente paradoja: por una parte, la teoría celular recibe la consagración oficial al ser integrada en la enseñanza secundaria y superior; y por otra, cierto número de investigadores o de historiadores de la ciencia la ponen en tela de juicio; las críticas son incluso más violentas, pues la teoría parece haber perdido una parte de su dinamismo y su atractivo. Los argumentos son los mismos que en 1900.

Fue la conmoción provocada por la segunda guerra mundial lo que cambió profundamente las condiciones de la investigación y permitió la renovación de la problemática y de los procedimientos de innovación.

El renacimiento de la teoría celular a partir de 1945: la evolución de la teoría sólo se puede comprender si se la sitúa en el marco de la transformación del contexto institucional; en el cambio de las relaciones entre ciencia y sociedad, además de permitir un desarrollo cuantitativo de los descubrimientos, ha acarreado una evolución del pensamiento científico en sí.

Poco antes de la segunda guerra mundial, los responsables políticos y los órganos decisivos llegaron a la conclusión de que la investigación científica era un factor esencial del poder de las naciones y del desarrollo económico. Para obtener este resultado, no basta con aumentar los créditos, sino que había que orientar y coordinar la investigación. Francia fundaba en 1939 el Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). La evolución se acentuó al finalizar la guerra debido a la carrera armamentista, al desarrollo de la energía nuclear (en 1946 se fundaba el comisariado de la energía atómica), a las enormes inversiones que exigía la exploración del espacio. La investigación se convierte en una función esencial de una sociedad moderna y absorbe cerca del 3% del producto nacional de los países desarrollados.

Durante la época anterior, se caracterizó por el desarrollo de técnicas, instrumentos que cumplen con una cuestión en común: sustituyen la observación directa por una medición.

La elaboración de técnicas nuevas vino acompañada y orientada por una renovación de ideas. Esta interesó especialmente a la necesidad de articular profundamente la bioquímica y la citología, de cara a obtener una descripción dinámica de la vida celular.

Las investigaciones referentes al papel de los ácidos nucleicos en la biosíntesis de las proteínas y la transmisión de la información genética sirvieron de punto de partida de la biología molecular; se sustituyó la observación de las formas (cromosomas o nucléolos, por ejemplo) por la búsqueda de la localización exacta de la sustancia química. Ahora bien, los mismos ácidos nucleicos aparecen tanto en bacterias como en eucariotas; en ambos grupos, la actividad de estos está íntimamente ligada a la síntesis de proteínas, como lo dejó establecido Caspersen y la escuela de Estocolmo hacia 1950. En adelante, las bacterias se

convierten en un material de investigación privilegiado. A partir de 1960, el ejemplo que servía para definir una propiedad de las células lo constituirá a menudo una bacteria, cuando hasta 1940 siempre lo había sido una eucariota.

La reorientación de los conocimientos durante este periodo: en el transcurso de este periodo, las interpretaciones relativas a la célula evolucionaron con gran celeridad. Progresó el conocimiento del núcleo, principalmente a partir de estudios bioquímicos sobre los ácidos nucleicos. Los conocimientos relativos al citoplasma han cambiado mucho desde 1940. La conjugación de la ultraconjugación, las observaciones al microscopio óptico y electrónico y los estudios citoquímicos (autorradiografía e inmunofluorescencia) ha permitido resolver gran cantidad de problemas pendientes. Se han podido separar los diferentes orgánulos citoplasmáticos; su estudio ha puesto de relieve elementos comunes (importancia de las membranas dobles) y unidades de organización específicas que comportan, por ejemplo, una disposición ordenada de las enzimas, como las unidades de oxidación de las mitocondrias. En el citoplasma, ópticamente vacío, se ha descubierto una ultraestructura, el citoesqueleto, que se relaciona con el centrosoma. Al término de estas investigaciones se plantea un nuevo problema: el estudio morfológico alcanza su fin teórico, ya que al llegar a la escala macromolecular converge con el estudio bioquímico, que construye modelos de macromoléculas o de sistemas ordenados de moléculas.

Evolución de la teoría celular a lo largo de este periodo: la remodelación de la teoría celular puede caracterizarse a partir de cuatro preguntas diferentes:

1. ¿Es la célula un objeto o un modelo? ¿permite la citología descubrir un objeto cuya realidad podemos establecer afinando los datos de la percepción?, “descorriendo la cortina” que nos permite verlo? O, por el contrario, ¿hay que admitir que los citólogos operan de igual que los físicos cuando construyen modelos como el átomo? Esta cuestión sorprende no solo al hombre de la calle, para quién la célula es un objeto del quién dan fé los medios de comunicación, sino también muchos biólogos marcados por una fuerte tradición empirista, para quienes las definiciones científicas designan necesariamente algo concreto. Entre los estudiantes, las interpretaciones de la célula se han mantenido también en este plano; a menudo se ha demostrado que la concepción realista de la

célula-panoplia no era operativa porque contribuía a compartimentar la disciplina en vez de ser un instrumento de síntesis.

¿Hay que llegar a la conclusión de que el desarrollo de la biología molecular ha supuesto una ruptura en la historia de la teoría celular; marcará el paso de la concepción realista de la célula-objeto a la concepción nominalista de un modelo celular que sirve de apoyo a la explicación? En este último caso, el nivel de integración celular no representa una emergencia fundamental, sino un cómodo sistema para estudiar los cambios de materia, los flujos de energía y el tratamiento de la información.

En realidad, la célula no es una simple construcción del intelecto, como el concepto de energía física. No cabe duda de que hay que acabar con el realismo simplista que tiende a basarse en casos particulares y artefactos, que convierte los sistemas dinámicos en formas estáticas. Pero no hay que olvidar la cuestión fundamental, sostén de la teoría celular: la caracterización de un sistema complejo dotado de una organización espacial, cuyo funcionamiento explica todas las manifestaciones de la materia viva.

2. ¿Qué relación existe entre los diferentes niveles de integración característicos de lo vivo: célula y organismo? En el desarrollo de la teoría ha aparecido un continuo enfrentamiento entre dos puntos de vista: para unos, el organismo es una república de células autónomas y coordinadas; para otros, el organismo representa una unidad fundamental, unidad que, eventualmente, puede subdividirse en células, que a su vez son formaciones subordinadas. El segundo punto de vista tiene un enunciado menos extremo, en la teoría del encajamiento de los niveles de integración: la aparición de los caracteres específicos del organismo sería el resultado de cómo se diferencien y asocien las células; éstas sólo serían ladrillos con los que pueden construirse catedrales o gallineros.

El problema de la subordinación de los niveles de integración parece adolecer de un mal planteamiento. Tanto en el curso del desarrollo de las especies como durante el desarrollo individual, el ser vivo se define, en primer lugar, como una célula-individuo. Célula y organismo sólo son distintos en el caso de las

eucariotas, aunque interaccionen entre sí: toda función general del ser vivo manifiesta las propiedades de la organización celular; inversamente, la actividad celular sólo se comprende por referencia al organismo.

3. ¿Se sitúa la teoría celular en la corriente reduccionista, o actualiza un punto de vista integracionista? La bioquímica molecular ha potenciado considerablemente la corriente reduccionista: reproduce in vivo actividades bioquímicas cada vez más complejas; construye modelos físicos que permiten previsiones exactas; otorga al ser humano un considerable poder, en particular el de modificar el patrimonio hereditario.

¿Tiene la teoría una función fundamentalmente pedagógica, para transmitir cierta organización del saber, o es más bien un instrumento prospectivo destinado a dirigir y estimular la investigación? En el transcurso de los períodos anteriores, la teoría ha ido perdiendo de forma progresiva su función anticipadora para convertirse en un instrumento didáctico. El verdadero problema afecta al mismo tiempo a la función didáctica y a la prospectiva de la teoría: ¿Cómo evitar la desviación dogmática del conocimiento, la regresión del concepto científico a estereotipos verbales e icónicos inoperantes? Investigadores en el campo didáctico, demuestran que este proceso está produciéndose en nuestros días. Y no afecta solo al hombre de la calle, sino también a la comunicación científica. Dos nuevos datos agravan este peligro en nuestros días. La rápida evolución del conocimiento perturba la transposición didáctica que conduce al saber enseñado; la bibliografía de algunos tratados se limita en ocasiones a las dos últimas décadas y ya no mencionan los paradigmas que conducen a la elaboración de un conocimiento escolar coherente. Además, el concepto de célula se enseña cada vez más de una forma que no permite reinvertir los conocimientos en prácticas concretas para explicar su significado y su campo de validez: en lugar de someter a discusión los obstáculos inducidos por las interpretaciones sociales, la enseñanza tiende a consolidarlos. Cabe la posibilidad de amortiguar en cierta manera estas dificultades, abordando ciertos aspectos de la teoría celular desde una perspectiva histórica.

Finalmente, es útil mencionar el trabajo que organiza los modelos explicativos sobre el concepto célula en cuatro categorías de la siguiente manera.

MODELOS EXPLICATIVOS	CARACTERISTICAS
<b>A o estructural</b>	<p data-bbox="820 331 1401 422">-Construcción de un modelo de estructura celular pero no de funcionamiento.</p> <p data-bbox="857 478 1187 512">- Imagen única y estática.</p> <p data-bbox="820 569 1401 709">-No establecimiento de inferencias y deducciones entre estructura y funcionamiento de la célula</p>
<b>B o dual</b>	<p data-bbox="820 825 1401 1024">-Construcción de un modelo de estructura de la célula y otro de su funcionamiento, ambos independientes, o sea, un doble modelo.</p> <p data-bbox="857 1081 1076 1115">-Imagen estática.</p> <p data-bbox="820 1171 1401 1312">-Establecimiento de pocas y pobres inferencias y deducciones entre estructura y funcionamiento</p>
<b>C o causal discursivo</b>	<p data-bbox="820 1434 1401 1524">-Construcción de un modelo integrado estructura/funcionamiento de la célula.</p> <p data-bbox="820 1581 1401 1722">-Establecimiento de inferencias y deducciones elaboradas entre estructuras y procesos.</p> <p data-bbox="857 1778 1401 1812">-No uso o no generación de imágenes o,</p>

---

en caso de generarlas, éstas son estáticas y simples.

**Modelo causal imaginístico**

Construcción de un modelo integrado estructura/funcionamiento de la célula.

-Establecimiento de inferencias y deducciones elaboradas entre estructuras y procesos.

-Imagen dinámica-compleja y/o uso de varias imágenes.

---

**Tabla 1. Modelos explicativos del concepto célula. Tomada de (Buitrago Reinoso, 2018)**

Los modelos anteriores se podrían condensar en tres grupos especialmente.

Modelo estructural: Este modelo considera que la célula no es hueca, pues le asigna a la célula sus estructuras principales: Membrana, citoplasma, núcleo; también se le asigna los demás organelos: Lisosoma, mitocondria, aparato de Golgi, retículo endoplasmático, vacuolas, ribosomas, además se describe la estructura general celular pero no se habla de funcionamiento Autores: Trevinarus, Heinrich, Brown, Dujardin (Alzogaray, 2006).

Modelo funcional: Este modelo hace alusión a una célula con estructura general y mencionan aspectos que permiten relacionar que la célula toma por aspiración del ambiente líquido los elementos necesarios para su elaboración, es decir se reconoce funciones de la célula como el intercambio de sustancias con el exterior, la reproducción, respiración, excreción, circulación, nutrición. Autor: Raspail (Carrillo, Morales, Pezoa, & Camacho, 2011).

Modelo de la teoría celular: Este modelo considera que la célula es la unidad fundamental de todos los seres vivos, que la célula se multiplica por división, que está

rodeada por una membrana y tiene un núcleo, que tienen un material genético y que toda célula solo proviene de otra célula. Autores: Schwann, Schleiden, Virchow. (Alzogaray, 2006).

### **La argumentación**

Se puede reconocer el lenguaje como un instrumento para llevar a prueba nuestras ideas, para predecir de alguna manera lo que va a suceder, y para interpretar y dar sentido a las diferentes situaciones en las que participamos. Desde esta perspectiva, el lenguaje, dentro de una comunidad determinada, además de vocabulario y gramática, es un sistema de recursos para crear significados, es una semántica (Luria, 1984; Vygotski, 1995, 1995; Lemke, 1997; Sutton, 1997) (Orrego, Tamayo y Ruiz, 2016).

En relación con la argumentación, podemos decir que es una actividad indispensable en la construcción de la ciencia. Con ella potenciamos la comprensión pública del conocimiento científico; en consecuencia, es necesario dar prioridad en los escenarios escolares a las prácticas discursivas y, específicamente, a los procesos argumentativos. Hacerlo ayudará a debatir sobre las implicaciones sociales de utilizar el conocimiento científico en la solución de situaciones problema del contexto en el que se vive (Driver, Newton y Osborne, 2000).

Desde el conjunto de ensayos propuestos por Toulmin, ya se establece la necesidad de utilizar un conjunto de reglas o normas para poder pasar desde una afirmación a una conclusión; puesto que con cierta regularidad lo hacemos de una forma acelerada pasando de una forma directa de una afirmación a una conclusión, lo cual lo describe de la siguiente manera. “También podemos decir que con cierta regularidad y de una forma muy rápida sacamos conclusiones, sin pasar por ninguna de las fases intermedias en un proceso gobernado por las reglas”. (Toulmin, 2003, pág. 22)

La enseñanza de las ciencias debe tener como base de sus transformaciones dos elementos: comprender cómo se usan las pruebas para generar las explicaciones del mundo y comprender, de igual manera, los procesos de evaluación de pruebas y la construcción de las explicaciones. Estos dos elementos, la construcción de los argumentos y su evaluación, constituyen una actividad crítica indispensable en la acción discursiva de la ciencia. Es

decir, una actividad que se apoya en el lenguaje como mecanismo que facilita la construcción de la ciencia, no como un elemento complementario de la misma (Orrego, Tamayo, y Ruiz, 2016). Además, “la solidez de los argumentos, bien fundamentados y firmemente respaldados, son resistentes a la crítica” (Toulmin, 2003, pág. 25) con lo que ratificamos la utilidad de los argumentos en ambientes de aula dedicados a la enseñanza de la ciencia; pues si algo caracteriza a la investigación científica es su resistencia a la crítica.

La argumentación es una forma de discurso que necesita ser enseñada y potenciada, explícitamente, a través de actividades adecuadas, de apoyo y modelización (Bell y Linn, 2000; Grooms, 2011; Sampson y Grooms, 2009; Sandoval y Reiser, 2004; Yerrick, 2000; Zohar y Nemet, 2002) (Orrego, Tamayo y Ruiz, 2016).

Los primeros antecedentes de la investigación educativa sobre argumentación datan de mediados del siglo XX, cuando algunos autores comenzaron a plantear severas críticas a la lógica formal. Desde los tiempos de su fundador, el filósofo griego Aristóteles, la lógica había pretendido convertirse en una ciencia deductiva comparable a la matemática. Sin embargo, tal como han sostenido sus críticos, la tradición aristotélica ha supuesto una enorme simplificación respecto de la riqueza y complejidad del lenguaje ordinario. Las críticas más importantes a la lógica formal surgieron de los trabajos seminales de Stephen Toulmin (Toulmin, 1958; Toulmin; Rieke y Janik, 1979) y (Peierman, Olbrechts y Tyteca, 1958), quienes, además de dar origen a la teoría moderna de la argumentación, pueden considerarse los principales impulsores del movimiento de lógica informal, que significó una ruptura definitiva con la tradición aristotélica, al desplazar el interés hacia la retórica, el lenguaje natural y la argumentación dialógica. (Pinochet, 2015).

Es precisamente dentro de la perspectiva de la lógica informal donde se inscribe la investigación educativa inspirada en el modelo de Toulmin. Desde un comienzo, la mayor parte de dicha investigación se ha focalizado en examinar el discurso que se desarrolla en las clases de ciencias pues, como han reconocido diversos autores, la argumentación ocupa un lugar central en la actividad científica. En efecto, la ciencia produce principalmente explicaciones acerca de cómo o por qué ocurre un determinado fenómeno, y estas explicaciones son construidas, evaluadas y comunicadas a través de la argumentación (Jiménez-Aleixandre; Bugallo Rodríguez; Duschl, 2000; Lawson, 2003; McNeill; Krajcik,

2009). La perspectiva que concibe el aprendizaje de las ciencias como argumentación fue propuesta hace dos décadas por Deanna Kuhn (1992, 1993). Desde aquella época, diversos autores (por ejemplo, Driver; Newton; Osborne, 2000) han sugerido que la educación científica debe promover la argumentación como una dimensión fundamental del aprendizaje de las ciencias. (Pinochet, 2015).

El modelo de Toulmin ha resultado fecundo, tanto dentro como fuera del campo de la educación. En el terreno específico de la investigación educativa, además de sus importantes aplicaciones en el estudio de la argumentación en las clases de ciencias, el modelo ha sido usado en ámbitos tan diversos como la matemática (Krummheuer, 1995), la historia (Pontecorvo; Girardet, 1993), el Inglés (Mitchell, 1996), e incluso como herramienta heurística para evaluar el trabajo de los estudiantes (Hart, 1998). Sin embargo, esta versatilidad no es privativa del modelo de Toulmin, pues existen marcos teóricos alternativos que también permiten estudiar la argumentación en distintos espacios educativos, tanto científicos como no científicos. Tal es el caso del modelo propuesto por Schwarz et al. (2003) y del *Scheme for Presumptive Reasoning* elaborado por Walton (1996). Sin embargo, el impacto de estos modelos sobre la investigación educativa, en especial en el dominio de las ciencias, ha sido más bien reducido si se les compara con el esquema de Toulmin (Pinochet, 2015).

Un argumento se refiere a los discursos que un estudiante o un grupo de estudiantes producen cuando deben articular o justificar sus conclusiones o explicaciones, mientras que la argumentación alude al proceso de elaboración de esos discursos (Osborne, Erduran y Simon, 2004). Estas definiciones del modelo argumentativo de Toulmin ... pueden considerarse una suerte de interpretación educativa de los planteamientos originales de Toulmin, pues aun cuando el filósofo británico nunca hizo alusión a posibles aplicaciones educativas de su modelo, en lo sustantivo las nociones recién introducidas coinciden con la perspectiva de Toulmin. Además, para los propósitos del presente trabajo, las definiciones propuestas resultan adecuadas porque sintetizan los aspectos generales del proceso argumentativo, tal como es entendido en la literatura sobre educación en ciencias. (Pinochet, 2015).

Uno de los aspectos más interesantes del modelo de Toulmin – designado habitualmente como TAP por las siglas en inglés de *Toulmin's argument pattern* – es que ofrece un potente enfoque para estudiar lo que el filósofo británico denomina *argumentos sustantivos*, es decir, aquellos que deben ser examinados atendiendo a su contenido, lo cual marca una profunda diferencia con la tradición aristotélica, que se interesa únicamente por la forma o estructura de un argumento (en adelante, se entenderá que la expresión TAP hace alusión al modelo de Toulmin aplicado al caso específico de la educación en ciencias). (Pinochet, 2015).

Toulmin propone que un argumento sustantivo va desde los datos (*D*) a la conclusión (*C*), donde *D* corresponde a la información, antecedentes o hechos de los cuales disponemos para dar fundamento a *C*. TAP también incorpora la garantía (*G*), el sustento (*S*), el calificador modal (*Q*) y las condiciones de refutación (*R*). Además, Toulmin supone que un argumento propiamente dicho consiste en al menos tres componentes esenciales: *D*, *C* y *G*. Naturalmente, un argumento puede volverse bastante más complejo, e incluir varios datos, garantías, refutaciones, etc. (Pinochet, 2015).

Las garantías (*warrants*) son las que permiten justificar el paso desde los datos (*data*) a la conclusión (*claims*), vale decir, *G* cumple la función de mostrar que el paso de *D* hacia *C* es adecuado y legítimo. El modelo incorpora explícitamente el grado de certeza (o incerteza) del argumento mediante el calificador modal *Q* (*qualifier*). Ejemplos de calificadores modales son expresiones como: siempre, a veces, probablemente, depende, etc. Además, TAP introduce condiciones de refutación (*rebuttals*) que establecen las restricciones que se aplican a *C*, es decir, las situaciones bajo las cuales *C* no sería válida. Finalmente, el sustento (*backings*) se refiere a las circunstancias generales bajo las cuales *G* es apoyada. (Pinochet, 2015).

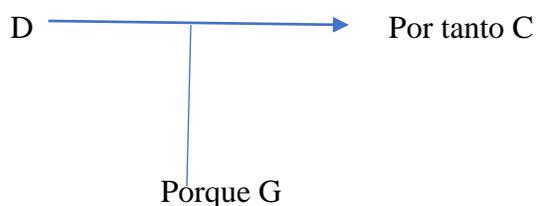
De acuerdo con el modelo de Toulmin, *D*, *Q*, *C*, *G*, *R* y *S* son elementos que no dependen del campo de discurso. Esto hace que TAP sea muy adecuado para analizar las características genéricas de un argumento, pues presenta una estructura que es aplicable en cualquier contexto. Sin embargo, qué cuenta como *D*, *Q*, *C*, *G*, *R* y *S* en un caso particular, es algo que depende del campo de discurso. La flexibilidad de TAP para operar tanto en contextos dependientes como independientes del campo, constituye una de sus ventajas

para estudiar los argumentos desarrollados por los estudiantes en las clases de ciencias (Jiménez, Bugallo y Duchl, 2000).

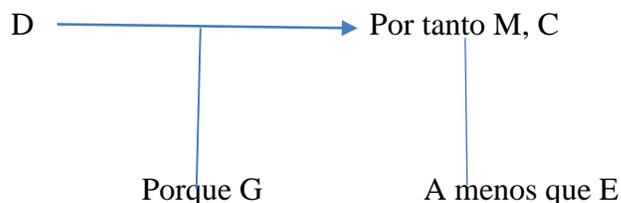
Aunque Toulmin plantea sus ensayos sobre argumentación, no con un interés por crear un modelo de argumentación; que fue en lo que finalmente terminó, si menciona la posibilidad de “cómo exponer y analizar los argumentos con el fin de lograr valoraciones lógicamente transparentes; es decir, con el fin de dejar claras las funciones de las diversas proposiciones aducidas en el transcurso de una argumentación” (Toulmin, 2003, pág. 26).

Sin embargo la argumentación es utilizada para distintos fines; la utilidad del “modelo argumentativo de Toulmin”, se torna importante para el trabajo en las clases de ciencias naturales, pues este se centra en los argumentos de tipo justificatorio que son empleados para apoyar afirmaciones, definida por Toulmin como “función primaria de los argumentos”.

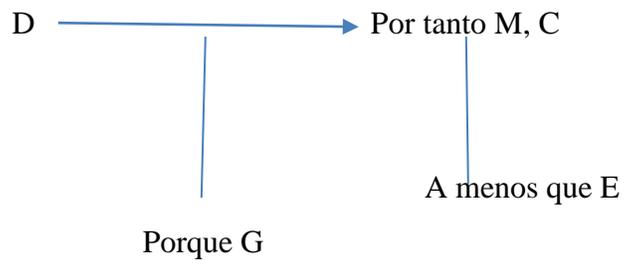
Del trabajo propuesto por Toulmin podemos tomar la estructura general inicial que permite analizar los argumentos; en la cual se establece la relación entre los datos y la afirmación a la que sirven de base. (Toulmin, 2003, pág. 135)



En la simbología propuesta se emplea D, como dato, C como conclusión, y G como garantía. Por lo cual se puede establecer cómo la transición desde los datos a la conclusión lo cual es posible dando legitimidad mediante la garantía. (Toulmin, 2003, pág. 136)



En una segunda modificación a la estructura inicial del argumento, se incluyen M, como calificativo o cualificador modal y E, como las condiciones de excepción o de refutación.



Teniendo en cuenta que R

Finalmente, Toulmin introduce R, Denominándolo respaldo (Toulmin, 2003, pág. 141)

Para el análisis de los argumentos, se tomarán como punto de partida la estructura propuesta en la parte al inicio de esta página.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

-Establecer los modelos explicativos, estructura y coherencia de los argumentos presentes en estudiantes de grado 10 en la institución educativa Supía.

### **Objetivos Específicos:**

- Establecer los modelos explicativos que tienen los estudiantes de la institución educativa Supía con relación a la célula.
- Identificar los elementos que conforman los argumentos de los estudiantes y su coherencia y pertinencia global.

## METODOLOGÍA

### **Tipo de estudio:**

Investigación cualitativa-descriptiva, con una muestra de casos tipo, donde el objetivo es la riqueza, profundidad y calidad de la información, no la cantidad ni la estandarización (Hernández, Fernández y Baptista , 2014, p387). basada en descripciones tomadas de escritos, dibujos, y grabaciones tanto de audio como de video de episodios argumentativos en el desarrollo de las clases.

La investigación pretende establecer los distintos modelos explicativos de la teoría celular, así como la estructura y coherencia de los argumentos. El trabajo se inicia con una descripción de aspectos relativos a la epistemología del concepto célula con el fin de establecer modelos conceptuales relativos a la teoría, posteriormente se construye un instrumento para realizar exploración de ideas previas seguida de un análisis de estos resultados que permita identificar y ubicar los modelos a los cuales pertenecen las descripciones realizadas por ellos. A su vez se realiza una evaluación inicial de la estructura de la argumentación; evaluando la presencia de elementos constituyentes de los argumentos desde el punto de vista del modelo argumentativo de Toulmin. Posteriormente se pretende establecer un conjunto de sugerencias que permitan guiar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la teoría celular.

## Diseño de la investigación



**Figura 1. Diseño de la investigación. Autoría propia (2018)**

La investigación, como se mencionó con anterioridad se basa en el modelo de argumentación propuesto por Toulmin donde se pretende realizar un seguimiento especial a los elementos constituyentes planteados por el (datos, conclusión, justificación, fundamentos, calificadores modales y refutadores) en lo que el propone como anatomía de los argumentos; también se presta especial atención a la forma en que estos elementos “anatómicos” funcionan entre sí para construir y dar sentido a la argumentación, en lo que Toulmin denomina “fisiología”. Además, el soporte teórico y epistemológico del concepto de la teoría celular es tomado de los trabajos de epistemología propuestos por Giordan, Tesi, Gagliardi y Host.

El segundo elemento mencionado en la metodología pretende establecer los distintos modelos explicativos que muestran los estudiantes del concepto de la teoría celular desde los trabajos propuestos por Rodríguez, Marrero y Moreira (2001). En lo relacionado con la

argumentación, se pretende identificar los elementos “anatómicos” y “fisiológicos” propuestos por Toulmin.

### **Unidad de trabajo**

Trabajo de investigación realizado en la Institución Educativa Supía, ubicada en el departamento de Caldas/Colombia; la actividad económica de la población es especialmente la minería, la industria ladrillera, y en la parte agropecuaria al cultivo de la caña de azúcar y a la producción panelera. El grupo de trabajo es con 15 estudiantes de educación básica secundaria. Los estudiantes que atienden la institución son pertenecientes a los estratos 1, 2, y 3, con edades entre 15 y 17 años, el grupo se compone de 10 hombres y 12 mujeres, de los cuales se eligen 5 estudiantes a los que se hará seguimiento especial, y son elegidos de acuerdo con criterios basados en el desempeño académico de la siguiente manera (1 estudiante con desempeño académico sobresaliente, 3 estudiantes con desempeños promedio y 1 estudiante con desempeño inferior). Los estudiantes en su mayoría han cursado sus estudios anteriores en la misma institución con una metodología denominada escuela activa urbana, aunque las prácticas de aula son de corte tradicional. En cursos anteriores ya han abordado el tema de la teoría celular pero no han tenido un acercamiento formal con la argumentación.

### **Unidad de Muestreo:**

Las unidades de muestreo son las diversas partes de la realidad sometida a observación que el investigador considera como separadas e independientes entre sí; por ello son aspectos de la comunicación que pueden formar parte de una muestra de elementos, para a continuación, ser objeto de análisis. Aunque en diversos Análisis de Contenido se han utilizado unidades de muestreo "artificiales"(bloques de líneas, columnas, páginas, bloques de minutos, etc.). (Aigeneren, sf). En el caso de esta investigación, conformada por el conjunto de preguntas contenidas en un instrumento de indagación de ideas previas.

### **Unidad de análisis:**

Teniendo en cuenta las características y exigencias de la investigación planteada, se opta por emplear la técnica denominada análisis del contenido definida como:

Técnica de interpretación de textos, ya sean escritos, grabados, pintados, filmados..., u otra forma diferente donde puedan existir toda clase de registros de datos, transcripción de entrevistas, discursos, protocolos de observación, documentos, videos... el denominador común de todos estos materiales es su capacidad para albergar un contenido que leído e interpretado adecuadamente nos abre las puertas al conocimiento de diversos aspectos y fenómenos de la vida social. (Andréu Abela, 2002).

El análisis de contenido se basa en la lectura (textual o visual) como instrumento de recogida de información, lectura que a diferencia de la lectura común debe realizarse siguiendo el método científico, es decir, debe ser, sistemática, objetiva, replicable, y válida. En ese sentido es semejante en su problemática y metodología, salvo algunas características específicas, al de cualquier otra técnica de recolección de datos de investigación social, observación, experimento, encuestas, entrevistas, etc. No obstante, lo característico del análisis de contenido y que le distingue de otras técnicas de investigación sociológica, es que se trata de una técnica que combina intrínsecamente, y de ahí su complejidad, la observación y producción de los datos, y la interpretación o análisis de los datos.

Todo contenido de un texto o una imagen pueden ser interpretado de una forma directa y manifiesta o de una forma soterrada de su sentido latente. Por tanto, se puede percibir de un texto o una imagen el contenido manifiesto, obvio, directo que es representación y expresión del sentido que el autor pretende comunicar. Se puede, además, percibir un texto, latente oculto, indirecto que se sirve del texto manifiesto como de un instrumento, para expresar el sentido oculto que el autor pretende transmitir. (Andréu Abela, 2002).

El objeto del análisis se centra, en identificar los modelos explicativos presentes en los estudiantes con relación a la teoría celular y al mismo tiempo iniciar un seguimiento a los elementos constituyentes en los argumentos y sus cambios durante las intervenciones programadas.

Para precisar en la unidad de análisis se toma como punto de partida el concepto siguiente.

Las unidades de análisis representan los segmentos del contenido de los mensajes que son caracterizados e individualizados para posteriormente categorizarlos, relacionarlos y establecer inferencias a partir de ellos. En ocasiones, a la unidad de análisis propiamente tal

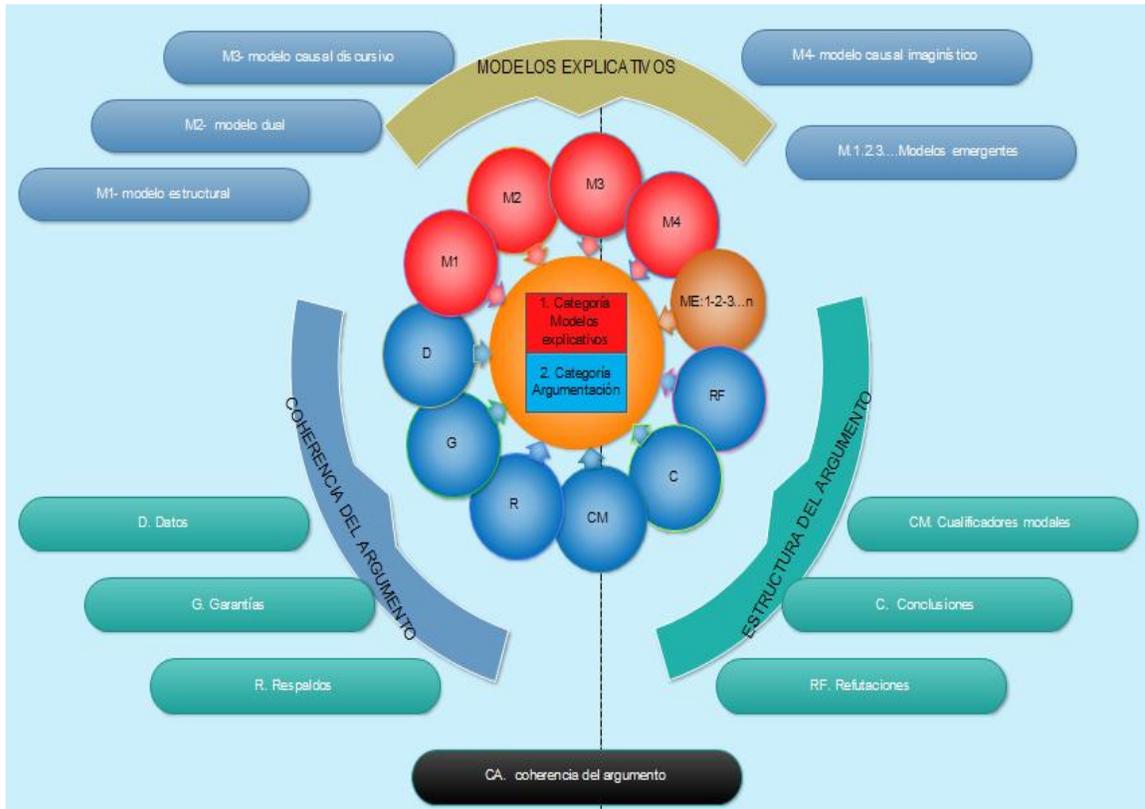
se le denomina, “unidad de registro”, es decir, la unidad de contenido significativo dentro del documento que servirá para extraer resultados. Briones (Como se citó en Cáceres, 2003).

Para la investigación se tendrán en cuenta como unidades de análisis textos o fracciones de texto que impliquen elementos que contengan inicialmente explicaciones que permitan identificar modelos explicativos sobre la célula; además se extraerán párrafos, frases o segmentos de los mismos que demuestren la existencia de argumentos o fragmentos de ellos (datos, garantías, respaldos, conclusiones, cualificadores modales y refutaciones). Esta información será recuperada del instrumento propuesto. La elección de estos elementos es soportada en los tipos de unidades de análisis propuestas por (Cáceres, 2003) explicadas de la siguiente manera.

- Los vocablos: o palabras, en que se buscan y seleccionan éstas según se trate de palabras claves, respecto a un tema o significado particular; o bien, de palabras generales según su disposición dentro del texto y su significado conjunto. El primer caso es más utilizado y se adapta mejor a cualquier tipo de contenidos, el segundo, en cambio, tiene relación con análisis profundos en documentos donde todas las palabras pueden ser un aporte a la inferencia, como es el caso de la poesía. Briones y Duverger (Cómo se citó en Cáceres, 2003).

-Las frases, el párrafo o tema: aquí la unidad de análisis es un grupo de palabras reunidas gramaticalmente. No tienen valor por sí solas, sino a través del conjunto que constituyen. Es importante que este tipo de unidad tenga separadores reconocibles; podríamos recoger todas las frases separadas entre puntos, o punto y una coma, etc. En ocasiones, como ocurre con los párrafos, la distinción de cada unidad es evidente. Pero esto tiene matices. En efecto, es posible que el investigador esté interesado en conjuntos de palabras no delimitadas explícitamente, sino a través de sus significados, lo que puede llevar a seleccionar más de una frase o más de un párrafo. En estos casos, es más propio hablar del “tema”, esto es, una proposición relativa a un asunto. Por su flexibilidad, el tema suele ser la unidad de análisis más usada. Briones; Duverger; Hernández; Kerlinger (Cómo se citó en Cáceres, 2003).

## Categorías y subcategorías



**Figura 2. Categorías y subcategorías. Autoría propia (2018)**

La investigación se compone de dos categorías (argumentación y modelos explicativos); en los modelos explicativos se representan los cuatro modelos explicativos fundamentales encontrados por varios autores relacionados con la concepción de célula, también aparece un espacio donde se reconoce la posible existencia de otros posibles modelos no relacionados en los referentes teóricos consultados. En la parte inferior del gráfico aparecen los elementos que según Toulmin hacen parte de los argumentos, así como la incorporación de la coherencia del argumento.

## **RESULTADOS**

Se pudieron establecer los distintos modelos explicativos presentes en los estudiantes relacionados con el modelo de célula; también se pudo determinar los distintos elementos que hacen parte de los argumentos presentados por ellos. Por otro lado, se pudo hallar que los estudiantes presentan dificultades tanto para relacionar estructuras celulares con su funcionalidad, como para construir argumentos desde una estructura básica utilizando datos, garantías y conclusiones.

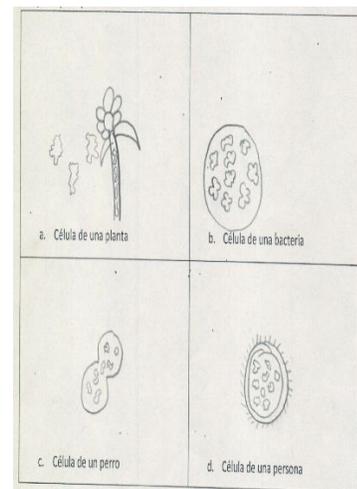
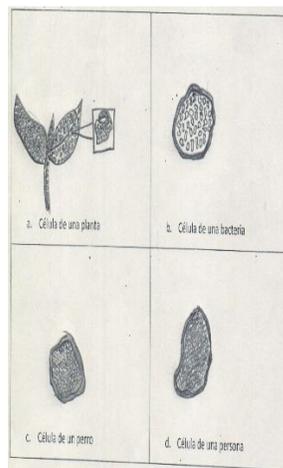
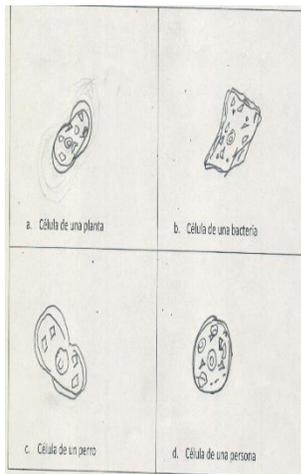
## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

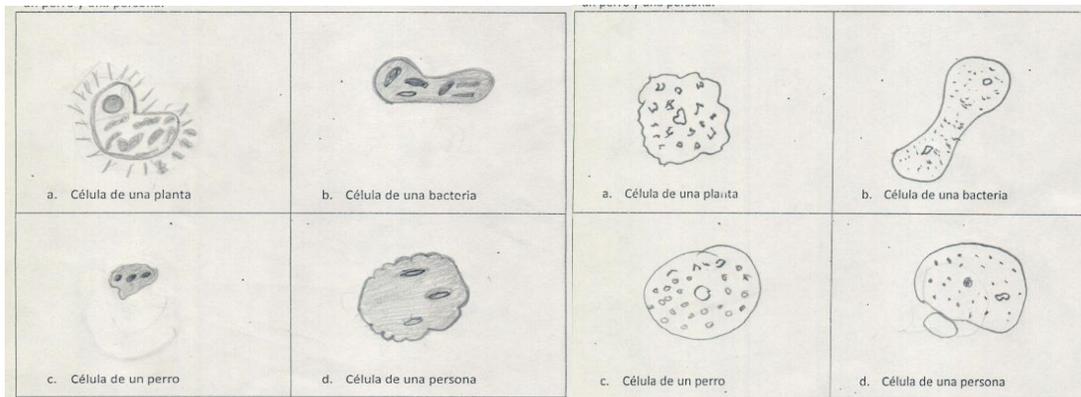
El instrumento aplicado consistió en una actividad de indagación sobre modelos explicativos, el cual está compuesto por once (11) preguntas, las cuales tenían como propósito indagar sobre los modelos explicativos sobre el concepto de célula presentes en cinco (5) estudiantes; además se indagó sobre la estructura y coherencia de los argumentos propuestos. Los estudiantes tienen edades comprendidas entre los 15 y 17 años, y fueron escogidos según el siguiente criterio.

- 1 estudiante con desempeño académico superior.
- 3 estudiantes con desempeño académico promedio.
- 1 estudiante con desempeño académico inferior.

### Modelos explicativos:

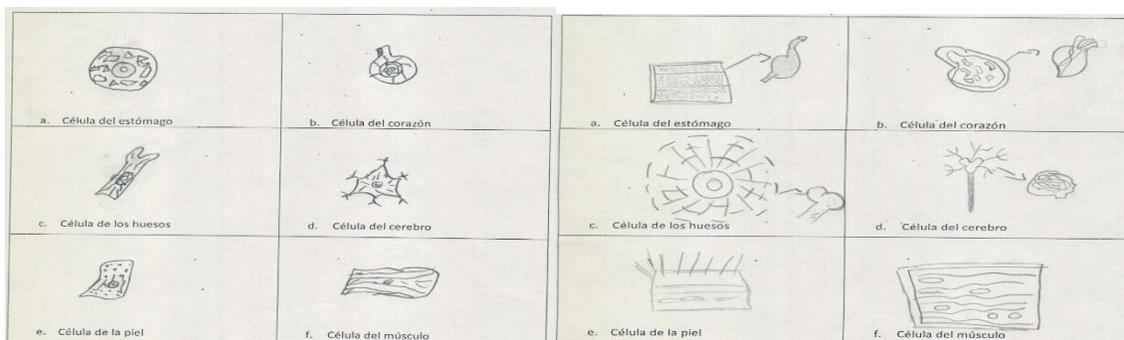
Las preguntas 1,3 y 5, estuvieron enfocadas especialmente a preguntar sobre la estructura celular por ejemplo la pregunta No1. Dibuja en los siguientes recuadros cómo te imaginas la célula de una bacteria, una planta, un perro y una persona. Las respuestas obtenidas fueron las siguientes:





**Figura 3. Dibujos de células propuesto por los estudiantes.**

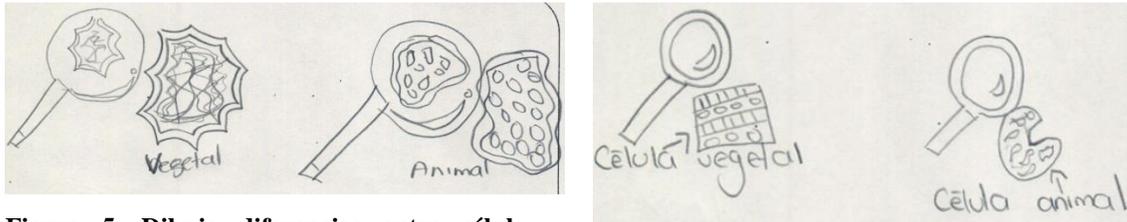
Todas las respuestas a excepción de una de las imágenes mostradas en la respuesta 4 son de forma plana, en todas se puede apreciar una delimitación clara entre la célula y el medio extracelular, también se puede apreciar que en el interior de las estructuras se muestran algunas estructuras sobresalientes que representan posiblemente la existencia de organelos celulares. Los organelos no son identificados de forma diferenciada entre ellos. Las células sólo se pueden diferenciar por su forma y tamaño. Cuando fueron dibujadas algunas células del cuerpo humano, sí se pudo establecer en dos de los estudiantes estructuras celulares muy similares a los modelos mostrados en los textos y con una estructura central muy definida. Por ejemplo:



**Figura 4. Dibujo de células de tejidos humanos propuestos por los estudiantes E1 y E4**

Los estudiantes tienen dificultades para establecer diferencias entre células, tanto de distintos seres vivos como de tejidos animales y vegetales. También desconocen la capacidad que poseen las células para efectuar todas las funciones vitales. Por ejemplo, en la pregunta 6: Sí tuvieras una lupa super potente y la utilizaras para observar el interior de

una célula vegetal y una célula animal. ¿cómo serían estas imágenes?, represéntalas en un dibujo. Explica las diferencias y que características especiales le pueden significar a cada una de estas células.



**Figura 5. Dibujo diferencias entre célula animal y vegetal propuesta por los estudiantes E4 y E5**

“las diferencias son que la célula vegetal se encarga de que todas las sustancias sean de mayor función y que la célula animal es que compone todos los tejidos del cuerpo”

“La diferencia es que en la vegetal solo funciona en vegetales, o cosas así y la animal solo funciona en animales, la caracterización de la vegetal es que tiene mas movimiento entre sí, y la animal no tiene tanto movimiento entre sí”

En lo relacionado con funcionalidad celular, los estudiantes reconocen la función que poseen las células de dar origen a nuevas células bajo ciertas condiciones, pero sin atribuir esta función a alguna estructura especial. Por ejemplo, en la pregunta 9. Solo algunos animales son capaces de regenerar algunos tejidos.

---

### Respuestas de los estudiantes

---

E1: “Sí, como es el caso de la lagartija debido a que sus células se pueden regenerar”.

E2: “no todos los animales pueden generar otra vez tejido celular, creo que los murciélagos no pueden regenerar sus alas”.

E3: “Sí porque a veces vemos animales que regeneran algunos tejidos”.

E4: “porque puede ser que todos puedan y no solo algunos ya que todos poseemos unos tejidos que hacen que volvamos a carecer de nuevos tejidos”.

---

---

E5: “No creo que solamente algunos animales, yo creo que todos los seres vivos podemos regenerar los tejidos, esperando que las células se puedan unir y dejar el tejido como estaba anteriormente”

---

**Tabla 2. Respuesta de los estudiantes ante la pregunta sobre regeneración de los tejidos**

Por último, cuando a los estudiantes se les propone la posibilidad que todas las células pueden realizar diferentes funciones propias de los seres vivos, solo dos de ellos reconocen que esto sea posible, pero sin entrar en ningún detalle. Por ejemplo, en la pregunta 11. Las células realizan todas las funciones de los seres vivos: respiran, se reproducen, eliminan sustancias de desecho, se alimentan.

---

**Respuestas de los estudiantes**

---

E1: “Sí, al poseer vida deben eliminar desechos y sustancias tóxicas que afecta su función al igual que alimentarse para poder reproducirse”

E2: “No creo que las células tengan estas funciones”

E2: “Sí porque las células tienen que hacer todo ese proceso”

E4: “No, porque especialmente las células cumplen una función diferente y para realizar estas funciones hay otros organismos que se encargan de esto”

E5: “Pues las células están en nosotros, los seres vivos somos los que hacemos estas funciones, las células nos ayudan a realizar estas funciones, pero las células no las hacen”

---

**Tabla 3. Respuesta de los estudiantes ante las funciones celulares.**

En conclusión, contrastando la información recolectada con resultados obtenidos por (Buitrago Reinoso, 2014), se puede decir que los cinco estudiantes muestran rasgos que permiten ubicarlos dentro de un modelo Estructural, pues son característicos la presencia de una estructura celular básica, pero no hay una relación con la función que desempeñan los organelos celulares, además la imagen es estática y solo establecen en algunos casos funcionalidad pero no de forma directa sobre un organelo en particular. Otros autores establecen modelos explicativos muy similares, tal es el caso propuesto por González, J., Colicoy, N. J., Morales Orellana, C., Rubio García, N., Guerrero, T. M., & Tirado, G. R. (2012). Otro modelo explicativo similar es el modelo denominado A (Hooke): Este modelo es el más simple, históricamente, se considera la célula como una celda, que carece de



Estudiante	Respuesta	Estructura del argumento	Coherencia del argumento
E1	“que tiene otro tipo de respiración diferente y no necesariamente utilice pulmones”	1.Dato 1.Conclusión	Argumento gramaticalmente coherente, pero sin ningún respaldo.
E2	“pues que existen partículas que viven por si mismas que es algo muy increíble pero que pasa y no teníamos ni idea, es como si en nuestro cuerpo hubiera seres con vida”	No hay elementos propios de un argumento	No existe respuesta coherente relacionada con la pregunta
E3	“le podría explicar que no es posible porque el oxígeno sería menos”	1.Dato 1.conclusión	Argumento coherente, pero sin respaldo
E4	“Mi opinión o mi forma de explicarle no sería muy clara ya que tengo que tener conocimiento de como esta bacteria podría respirar sin tener pulmones y pues sí lo haría tendría que tener vida artificial”	1.conclusión	No se establece un argumento con claridad
E5	“Pues será por medio de los argumentos en los que han visto y observado	3.dato 1.conclusión	Coherente

científicamente de que las células pueden realizar las mismas funciones que los seres humanos, pues ha de ser por el funcionamiento que estas tienen, y la forma en que realizan sus funciones”

**Tabla 4. Respuestas de los estudiantes ante la pregunta sobre la relación estructura-función celular**

Generalmente es posible encontrar una o varias conclusiones y datos, pero con la ausencia de alguna garantía; la mayoría de los argumentos poseen una coherencia gramatical, y es escasa una respuesta que explique directamente la pregunta. De las respuestas, uno no expuso datos, conclusiones y su argumento fue incoherente (E2); tres estudiantes mostraron al menos un argumento (E1, E3,E4) y una conclusión, y en el estudiante E5, se encontró tres datos y una conclusión.

Las respuestas a las preguntas 7-11, manejan una constante; al mostrar como en las preguntas anteriores una o varias conclusiones y de igual manera uno o varios datos, con ausencia permanente de garantías y en su mayoría los argumentos son incompletos y coherentes gramaticalmente, pero sin contestar explícitamente a la pregunta propuesta. Por ejemplo, en la pregunta No 7. cuando sufres una herida por una raspadura producida por una caída. ¿por qué crees que la herida puede sanar?

Estudiante	Respuesta	Estructura del argumento	Coherencia del argumento
E1	“porque los glóbulos blancos ayudan a su regeneración”	1.dato 1.conclusión	Argumento coherente
E2	“pues porque el tejido celular vuelve a tomar posesión de la piel dañada y se reconstruye”	1.dato 1.conclusión	Argumento coherente
E3	“yo creo que la herida puede sanar porque a medida que pasa el tiempo se va recuperando las	1.dato 1.conclusión	Argumento coherente

	células y va sanando la capa capilar”		
E4	“porque los tejidos se pueden ir reconstruyendo y tiene más facilidad de que el tejido que se encuentra herido vuelva y coja su encarnadora y quede nuevamente reconstruido”	1.dato 1.conclusión	Argumento coherente
E5	“porque solo ha afectado la capa superior de la piel, y casi no ha afectado las células, y como solo fue la piel, por eso puede sanar fácilmente”	2.datos 1.conclusión	Argumento coherente

**Tabla 5. Respuestas de los estudiantes ante la pregunta sobre regeneración celular.**

Y en la pregunta No 10. Todos los seres vivos están compuestos por células.

Estudiante	Respuesta	Estructura del argumento	Coherencia del argumento
E1	A: “Porque todo ser vivo debe tener células especializadas para que lo ayuden a su correcto funcionamiento y a que su organismo pueda adaptarse a su entorno”	2.dato 1.conclusión	Coherente
E2	CA: “sí, ya que todo ser vivo tiene que tener células”	1.conclusión	Coherente
E3	A: “Sí porque si no estuviéramos compuestos por células, al quemarnos la capa capilar no se sanaría y quedaría	1.dato 1.conclusión	Coherente

---

	eso así”		
E4	A: “Sí porque son los que hacen que tengamos a nuestro cuerpo con una mayor capacidad de funcionamiento”	1.conclusión	coherente
E5	CA: “sí creo, porque necesitamos las células para tener un buen funcionamiento en nuestro cuerpo, y por si nos pasa algo, las células puedan darnos un nuevo mejoramiento”	2.conclusión	Coherente

---

**Tabla 6. Respuestas de los estudiantes ante la pregunta sobre la célula como unidad estructural.**

En conclusión, en todas las respuestas de los estudiantes se evidenció la presencia tanto de datos como de conclusiones (en ambos casos uno o varios), pero con la ausencia de garantías; de las 40 respuestas obtenidas, 32 fueron coherentes, pues evidenciaron alguna relación con la pregunta. 8 de ellas fueron coherentes gramaticalmente, pero sin elementos de la ciencia escolar que permitan explicar satisfactoriamente a las preguntas propuestas.

## CONCLUSIONES

Del trabajo propuesto se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Se evidencia dificultades en el aprendizaje de temas esenciales en la biología como lo es el conocimiento de la célula, las relaciones entre sus diferentes organelos y funciones específicas, así como la relación célula-órgano-sistema organismo.

Es de vital importancia que los maestros tomemos como punto de partida de los procesos enseñanza-aprendizaje, las diferentes ideas alternativas o modelos explicativos que tienen los estudiantes acerca del mundo de lo vivo.

Después del análisis, se evidenció que la mayoría de los estudiantes se encuentran en un modelo inicial, donde solo se tenían apreciaciones muy superficiales sobre la célula; y los jóvenes solo mostraron reconocer dos organelos celulares (membrana plasmática y núcleo) aunque de una forma implícita. También se logró establecer la ausencia de relación entre organelos celulares y funcionalidad celular. Los principales elementos de diferenciación celular fueron basados en la forma y el tamaño de las células.

Al analizar la argumentación, se pudo establecer que los estudiantes tienen dificultades para argumentar, y en los intentos por dar alguna justificación, plantean estructuras gramaticales con la aparición de datos y conclusiones, pero sin garantías. La mayoría de los textos explicativos propuestos por ellos contaban con una coherencia global gramatical, pero sólo unos pocos lograban dar explicaciones empleando adecuadamente elementos de la ciencia escolar.

De los resultados anteriores, se evidencia la necesidad de fortalecer la enseñanza de las ciencias naturales, especialmente en el campo de la biología, el tema de la teoría celular; y a la vez fomentar actividades que permitan fortalecer el desarrollo de habilidades de orden superior como lo es la competencia argumentativa tanto en ciencias naturales como en otras áreas.

## RECOMENDACIONES

Cuando se trata de recolectar información sobre indagación de ideas previas es útil emplear instrumentos de diferente índole; son tan válidos los registros escritos como las encuestas y otras actividades de aula como laboratorios, salidas de campo, proyectos de aula, presentación etc. Es importante a la hora de indagar ideas previas, recuperar puntos de vista muy individuales, que podrían ser logrados mediante la aplicación de entrevistas individuales comparadas con instrumentos escritos y escenarios grupales de debate, evitando que los estudiantes contesten lo que “el profesor quiere oír”, además muchos estudiantes en ocasiones pueden expresar mejor sus ideas de forma oral o viceversa. Cuando se hacen actividades conjuntas es común encontrar que sus respuestas pueden ser fácilmente influenciadas por los demás compañeros; por ello creo relevante la utilización de la entrevista individual como un medio útil de indagación de ideas previas.

Teniendo en cuenta que el conocimiento científico se construye bajo la proposición de argumentos; es útil que los estudiantes desarrollen este tipo de competencias, que les permite tener una postura crítica frente a la ciencia y la sociedad. La principal dificultad en el desarrollo de la competencia argumentativa es la ausencia de actividades que ayuden a desarrollar esta habilidad en las aulas de clase, no es común una formación que fortalezca la habilidad argumentativa; adicionalmente, le sumamos que para la construcción de argumentos es necesario conocer con solvencia el tema al cual se desea debatir; y esto en muchas ocasiones se convierte en una dificultad cuando se desconoce del tema. Teniendo en cuenta las últimas ideas, es importante considerar la utilización de aspectos de la tecnología, sociedad y el ambiente que puedan actuar como agentes vinculantes con la ciencia, pues ellos manejan conceptos que pueden ser más cercanos con el conocimiento de los estudiantes.

## REFERENCIAS

- Aigeneren, M. (sf). *Análisis del Contenido*. Medellín: Centro de estudios de opinión.
- Andréu Abela, J. (2002). Las técnicas de análisis del contenido. *Revista de estudios en comunicación*, 2.
- Andreu, M. J. (2001). <http://www.encuentros.uma.es/encuentros70/aprendida.htm>. Retrieved 2016 йил 31-MAYO from <http://www.encuentros.uma.es/encuentros70/aprendida.htm>.
- Buitrago Reinosa, M. a. (2014). Enseñanza-Aprendisaje del Concepto Cèlula en Estudiantes de Básica Secundaria. *Tesis de Grado*. Manizales, Caldas, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- C.Sutton. (1997). Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. *Alambique*, 8-32.
- Cáceres, P. (2003). Análisis Cualitativo De Contenido: Una Metodología Metodológica Alcanzable. *Psicoperspectivas*, 52-82.
- Diaz. (1999). Problemas de aprendizaje en la interpretación de observaciones de estructuras biológicas con el microscopio. *Enseñanza de las Ciencias Vol 20*.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in classroom. *science education*, 287-312.
- Flores, F., Tovar, M., Velásquez, M., Gallegos, L., Valdés, S., Saitz, S., . . . Villar, M. (2000). *Representación e ideas previas de los estudiantes de bachillerato*. México: UNAM.
- Gagliardi R, G. A. (1986). La Historia de las Ciencias una Herramienta para la Enseñanza. *Enseñanza de las Ciéncias*, 254-257.
- Gimenez, C. M. (1993). Las ideas del alumnado sobre el concepto célula al finalizar la educación básica. *Enseñanza de las ciencias*, vol 11.
- Giordan, A., Host, V., Tesi, D., & Gagliardi, R. (1988). La Teoría Celular. In A. Giordan, V. Host, D. Tesi, & R. Gagliardi, *Conceptos de Biología 2* (pp. 9-55). Barcelona: Labor.
- Gomez Rivera, D. A. (2011). *Propuesta Didáctica para la Enseñanza del Concepto Célula*. Tesis.

- Gonzales, C., & Harms, U. (2012). Del árbol al cloroplasto: concepciones alternativas de estudiantes de 9° y 10° grado sobre los conceptos «ser vivo» y «célula». *Enseñanza de las Ciencias*, 31-52.
- Henao, B., & Stipcich, M. (2008). Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las ciencias experimentales. *Enseñanza de las ciencias*, 47-62.
- Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. (2014). Metodología De La Investigación. In R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, & M. D. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*. México D.F.: Mcraw-Hill.
- Jimenez Aleixandre, M., & Puig Mauriz, B. (2010). Argumentación y evaluación de explicaciones causales en las ciencias: el caso de la inteligencia. *Alambique*, 11-18.
- Jimenez-AleixandreE, M. P., Bugallo Rodriguez, A., & Duschl, R. (2000). "Doing the lesson": argument in high school genetics. *Science Education*, 757-792.
- MEN. (enero-marzo de 2008). [www.mineducación.gov.co](http://www.mineducación.gov.co). Recuperado el 12 de enero de 2017, de <http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-162392.html>
- Orrego C, M., Tamayo A, O. E., & Ruiz O, F. J. (2016). *Unidades didácticas para la enseñanza de las ciencias*. Manizales: Universicad Autónoma de Manizales.
- Pájaro Castillo, P. P., Trejos Betancur, S. P., Ruiz Ortega, F. J., & Álvarez Tamayo, O. D. (2016). Desarrollo de procesos argumentativos y su relación con el concepto de tejido muscular. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 1059-1066.
- Pinochet, J. (2015 йил junio). *El modelo Argumentativo de Toulmin y la educación en ciencias: una revisión argumentada*. From Scielo: <http://www.scielo.br>
- Revel, A., Meinardi, A., & Aduriz, E. (2014). La argumentación científica escolar: contriución a la comprensión de un modelo complejo de salud y enfermedad. *Ciencias Bauru*, 987-1001.
- Rodriguez, P., & Moreira, L. (1997). [www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm). Retrieved 2016 йил 30-MAYO from <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.
- Rodriguez, P., & Moreira, L. (1999). [www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm). Retrieved 2016 йил 30-MAYO from [www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm).

- Rodriguez, P., & Moreira, L. (2000). *La teoría de los modelos mentales de johnson-laird y sus principios*.
- Sardá, A., & Sanmartí, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: Un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 405-422.
- Tamayo Alzate, O. E. (2011). La argumentación como constituyente del pensamiento crítico en niños. *Hallzgos*, 211-233.
- Tapia, F. J., & Arteaga, Y. (2012). Selección y manejo de ilustraciones para la enseñanza de la célula: propuesta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 281-294.
- Toulmin, S. (2003). *Los usos de la argumentación*. Barcelona: Península.

## ANEXOS

### Anexo 1. Instrumento de indagación de ideas previas.

#### INSTRUMENTO DE INDAGACIÓN DE IDEAS PREVIAS

Lee detenidamente las siguientes preguntas y contesta de forma individual.

1. Dibuja en los siguientes recuadros cómo te imaginas la célula de una bacteria, una planta, un perro y una persona.

a. Célula de una planta	b. Célula de una bacteria
c. Célula de un perro	d. Célula de una persona

2. Llena la tabla inferior escribiendo las diferencias que existen en los dibujos que realizó en el punto anterior.

Célula de una planta	Célula de una bacteria	Célula de un perro	Célula de una persona

3. Dibuja cómo te imaginas las células de los diferentes órganos del cuerpo humano.

a. Célula del estómago	b. Célula del corazón

c. Célula de los huesos	d. Célula del cerebro
e. Célula de la piel	f. Célula del músculo

4. ¿Cómo podrías explicarle a una persona el hecho que una bacteria o un paramecio (organismo que tiene una sola célula) puedan respirar, aunque no tengan pulmones?

---



---



---



---



---



---



---

5. Representa mediante un dibujo la célula de una bacteria y la de una ballena. ¿Qué diferencias o similitudes encuentras?





7.

Explica las diferencias y que características especiales le pueden significar a cada una de estas células.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

8. Cuando sufres una herida por una raspadura producida por una caída, ¿por qué crees que la herida puede sanar?

Responde a las siguientes preguntas teniendo en cuenta la siguiente correspondencia marcando con una X.

CA: COMPLETAMENTE DE ACUERDO    A: DE ACUERDO    D: EN DESACUERDO  
CD: COMPLETAMENTE EN DESACUERDO

9. Solo los seres vivos microscópicos están compuestos por células

CA \_\_\_\_\_ A \_\_\_\_\_ D \_\_\_\_\_ CD \_\_\_\_\_



---

---

11. Todos los seres vivos están compuestos por células

CA\_\_\_\_\_ A\_\_\_\_\_ D\_\_\_\_\_ CD\_\_\_\_\_

Justificación:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

12. Las células realizan todas las funciones de los seres vivos: Respiran, se reproducen, eliminan sustancias de desecho, se alimentan.

CA\_\_\_\_\_ A\_\_\_\_\_ D\_\_\_\_\_ CD\_\_\_\_\_

Justificación:

---

---

---

---

---

---

---

---