

**DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL DE EDUCACIÓN**  
**ÉNFASIS EN EDUCACIÓN EN CIENCIAS**  
**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL**

**“HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DEL CONCEPTO GEN COMO REFERENCIA  
PARA SU ENSEÑANZA”**

Tesis realizada por Lola Constanza Melo Salcedo

En el Programa de doctorado Interinstitucional  
En Educación de la Universidad Pedagógica Nacional.

Director:

Dr. Alfonso Claret Zambrano

*Science Education*. University of London

**2013, Bogotá, Colombia**

**DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL DE EDUCACIÓN  
ÉNFASIS EN EDUCACIÓN EN CIENCIAS  
UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL**

**“HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DEL CONCEPTO GEN COMO REFERENCIA  
PARA SU ENSEÑANZA”**

**Estudiante de doctorado**

**LOLA CONSTANZA MELO SALCEDO**

**Director**

**Alfonzo Claret Zambrano,**

**PhD. En *Science Education***

**University of London**

**2013, Bogotá, Colombia**

*“Para todos los efectos, declaro que el presente trabajo es original y de mi total autoría; en aquellos casos en los cuales he requerido del trabajo de otros autores o investigadores, he dado los respectivos créditos”(Parágrafo 2. Art. 42, Acuerdo 031 del 04 de diciembre de 2007 del Consejo superior de la Universidad Pedagógica Nacional.*

**A mi Familia,  
Universidad y  
País.**

## AGRADECIMIENTOS

Han sido muchas las personas que han contribuido y ayudado, de una u otra forma, a la realización de esta tesis y por esto quiero manifestarles mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, quiero agradecer a mi director de tesis, Alfonso Claret Zambrano; por sus orientaciones, motivación constante y el apoyo que me ha brindado durante todos estos años, así como la confianza que ha depositado en mí desde que me acepto como doctoranda.

A los doctores Elsa Meinardi, Adela Molina y Agustín Auduriz-Bravo por la paciente lectura de este trabajo y por sus recomendaciones para que mis escritos sean más presentables, por su permanente orientación e inestimable aliento en las distintas etapas de la tarea de investigación.

A todos mis compañeros y amigos del Departamento de Biología, por su constante e incondicional apoyo y compañía en especial a Edgar, Análida, Sonia, Angelica, Guillermo, Normita, David, Carlitos. A mis egresados en especial a Rosita, Helena y estudiantes a quienes les robe tiempo de trabajo y discusiones. A las Universidades Colombianas, profesores y estudiantes que me facilitaron el espacio y el tiempo para realizar la investigación.

A la Universidad Pedagógica Nacional por la financiación económica y finalmente aunque no menos importante a mi familia, Mis padres, hermanas y sobrinos, Daniel quien hombro a hombro me acompañó algunas noches y en especial a mi hermana **Ángela** a quien dedico este trabajo.

## INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

<b>Título: HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DEL CONCEPTO GEN COMO REFERENCIA PARA SU ENSEÑANZA”</b>
<p>Énfasis del Doctorado: Educación en ciencias</p> <p>Línea de Investigación: Ciencias, Acciones y Creencias</p> <p>Grupo de investigación: Relación entre Conocimiento científico y el conocimiento común.</p>
Entidad: Universidad Pedagógica Nacional
<p>Tipo de Entidad:</p> <p>Universidad Pública: <input checked="" type="checkbox"/>                      Universidad Privada:                      Entidad Pública:                      ONG:                      Entidad Pública:</p> <p>Centro de Investigación Privado:                      Instituto de Investigación Pública:</p> <p>Empresa:</p> <p>Centro Empresarial o Gremio de la Producción :</p>
<p>Tipo de Contribuyente:</p> <p>Entidad de derecho Público <input checked="" type="checkbox"/>                      Entidad de Economía Mixta                      Entidad Industrial y comercial del estado</p>
<p>Lugar de Ejecución del Proyecto:</p> <p>Ciudad: Bogotá                      Departamento: Cundinamarca</p>
<p>Tipo de Proyecto:</p> <p>Investigación Básica: <input checked="" type="checkbox"/>                      Investigación Aplicada:                      Desarrollo Tecnológico o Experimental</p>
<p>Descriptores/Palabras claves: gen, concepto, pedagógico, historia, filosofía y epistemología, representaciones.</p>

## **Jurados de la tesis**

Adela Molina.

Doctora en Educación. Universidad de Sao Paulo, Brasil. Coordinadora del Doctorado Interinstitucional. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Directora del grupo INTERCITEC-Doctorado Interinstitucional.

Áreas trabajo vinculadas a la presente investigación: Biología, Conocimiento y las epistemologías de los profesores

[adela@udistrital.edu.co](mailto:adela@udistrital.edu.co)

Agustin Adúriz-Bravo.

Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales

Universidad Autónoma de Barcelona, España. Profesora en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Director de grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales (GEHyD) del Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CeFIEC),

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires  
Áreas trabajo vinculadas a la presente investigación: Historia y epistemología de las ciencias.

[Adúriz-Bravo@yahoo.com.ar](mailto:Adúriz-Bravo@yahoo.com.ar)

Elsa Meinardi.

Doctora en Ciencias Biológicas de la Universidad de Buenos Aires (UBA) y Especialista en Constructivismo y Educación (FLACSO). Profesora Adjunta con dedicación exclusiva de Didáctica Especial y Práctica de la Enseñanza I y II (para Biólogos) en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Directora del CEFIEC (Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias), centro que lleva adelante tareas de investigación y lleva a cabo seminarios y cursos de posgrado relacionados con la didáctica de la ciencia.

Áreas trabajo vinculadas a la presente investigación: Biología y didáctica de la Biología.

[emeinardi@gmail.com](mailto:emeinardi@gmail.com)

## RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación está circunscrita al marco de referencia de la línea “Relaciones entre el Conocimiento Científico y el Conocimiento Común” de la Universidad del Valle”, toma como referente central el “valor pedagógico de la Historia y la Epistemología para la enseñanza de las Ciencias”, y específicamente la Historia y la Epistemología para la enseñanza de conceptos biológicos, en donde éstos se proponen como el marco conceptual de referencia para investigar, analizar, reflexionar sobre la enseñanza, el aprendizaje, la evaluación y la organización curricular para la educación en Biología.

En este sentido, al incluir la Historia y Epistemología como referentes en la enseñanza de la Biología, se posibilita el rastreo del origen de problemas que se han constituido en fundamentos conceptuales de la biología, y la comprensión de conceptos teóricos a la luz de sus desarrollos históricos (Matthews, 1994). La complejidad desde la cual construimos explicaciones en relación a lo vivo, implica incluir y hacer evidentes en éstas las transformaciones y reestructuraciones que han sufrido los conceptos biológicos a través de la historia.

Uno de los conceptos que es considerado fundamental en la Biología del Siglo XX es el concepto de *gen*, un contenido biológico con diversos significados a través de la historia de la Biología (El-Hani, 2005), en donde según Falk (1986)

cada definición es un intento de responder a la pregunta acerca de ¿qué es un gen?, ante la cual el autor propuso cuatro perspectivas distintas desde las cuales se podría abordar esta diversidad conceptual.

Una primera es tratar de definir el gen desde el papel que juega en la evolución, lo que implica considerarlo en término de entidades o unidades, una conceptualización que resulta útil para la comprensión de procesos como la selección natural y la mutación. La segunda propende por una definición a nivel molecular que implica definir el gen desde sus atributos de estructura, que permite dar cuenta de los mecanismos y complejidades de su regulación molecular. La tercera es definir los genes desde el papel funcional que juegan en el desarrollo; esto es, dar cuenta de la complejidad de sus mecanismos modulares de regulación.

Estas tres opciones implican definir los genes desde contextos específicos (evolutivo, molecular y desarrollo), lo cual genera limitaciones explicativas porque el concepto solo puede ser usado bien sea para comprender fenómenos evolutivos, comprender la complejidad molecular del genoma en relación a su estructura u organización ó, dar cuenta de la regulación molecular durante el desarrollo, pero no permite explicar todos estos eventos a la vez sin que se incurra en un error epistemológico.

La cuarta y última perspectiva también propuesta por Falk, es tratar de definir los genes como *“entidades operacionales genéricas”*, lo cual implica



adaptarlos a las necesidades de experimentación dadas por el biólogo, una perspectiva exclusivamente pragmática.

En el plano educativo, que es el que nos ocupa, cualquiera que sea la opción o perspectiva planteada por Falk que se tome para enfrentar la diversidad del concepto gen implica limitar su poder heurístico como concepto, por lo cual para efectos de esta investigación se trabajó con la propuesta de la diversidad conceptual de Moss (2003), quien asume la polisemia del concepto desde un referente epistemológico y no histórico en donde la diversidad conceptual de gen no es vista como una reformulación o ampliación del concepto sino desde los referentes epistemológicos donde tiene acción, para ello Moss (2003) propone la noción de **Gen P** gen que tiene lugar en genética clásica y genética de poblaciones y la noción de **Gen D** que tiene su lugar en la genética del desarrollo y la genética molecular.

Investigaciones en la enseñanza y aprendizaje de la genética han logrado identificar algunos de los problemas u obstáculos más generalizados para la comprensión en los estudiantes (Ayuso y Banet, 1996 a, b; Flodin, 2009); sin embargo no hay antecedentes respecto de la relación si éstos problemas de comprensión puedan estar relacionados con el concepto de gen asociado y el ámbito restringido en el cual cada concepto de **gen P** o **D** adquiere su significado.

Ante un concepto que se constituye en esencial para la enseñanza y el aprendizaje de la biología, pero que no posee una única definición, al punto tal que

algunos autores han hablado de varios conceptos bajo la misma denominación (Falk,1986; Fogle,1990; Flodin, 2009; Griffiths,2002). Es propósito de la siguiente investigación fue plantear una propuesta de enseñanza del gen basada en su historia y su epistemología, asumiendo la polisemia de gen términos propuestos por Moss (2003) reconociendo su valor epistemológico y desde el referente teórico dentro del cual cada uno se construyó.

La investigación toma como marco de referencia debates en relación a los conceptos en biología, la historia y epistemología del concepto gen. Tomo como población o sujetos de investigación a profesores de las áreas de biología celular, molecular, evolución, desarrollo y fisiología que laboran en programas de formación de profesores, en cinco universidades públicas colombianas; estudiantes de licenciatura en biología y realizo el análisis de contenido de tres libros de texto de genética en lengua castellana que son los más ampliamente empleados para la enseñanza de la genética. Para el desarrollo de la investigación se siguió un programa de investigación lakatosiano en forma de tareas que responden a hipótesis auxiliares que conforman juntas un sistema ó cinturón protector para la hipótesis principal: *¿Cómo la historia y la epistemología del concepto gen pueden ser empleadas como referentes para una propuesta de enseñanza del concepto gen?* Las hipótesis auxiliares planteadas fueron: ***¿Cuál es la diversidad conceptual de gen desde el referente histórico y epistemológico? ¿Cuáles son las representaciones sobre gen entre los profesores universitarios y en estudiantes en programas de formación de licenciados en biología? ¿Cuál es el concepto gen tratado en libros de texto? ¿Cómo integrar los referentes HyE del concepto gen, las***

***representaciones y análisis de libros en una estructura teórica para su enseñanza?***

Los datos obtenidos al desarrollar cada tarea nos permiten afirmar que la representación de gen usual en los docentes es la de **Gen D**, en estudiantes de **Gen P** y en libros de texto de **gen D**. Estas diferencias son relevantes a la hora de pensar estrategias didácticas orientadas a establecer correspondencia entre el concepto de gen que se quiere enseñar. Las representaciones de gen y los análisis establecen como aspecto sobresaliente la *función de gen* más allá de su organización y estructura. No basta con que el estudiante comprenda la organización y estructura e incluso ubicación del gen, sino que es más relevante la *función* que este gen cumple y el *nivel de acción* (jerarquía) del mismo, que para los docentes en su mayoría está circunscrito al molecular y celular mientras que en los estudiantes al fenotipo (macro) y al organismo o población. Estas características yuxtapuestas de **gen D** y **gen P** pueden generar visiones deformadas o híbridas de los conceptos si no se trabajan desde los referentes en los que cada uno se construyó y consolidó.

La propuesta de enseñanza derivada del análisis histórico y epistemológico (HyE) del concepto junto con el conocimiento en torno a las representaciones del concepto en profesores, estudiantes y libros texto se basa en el uso de la HyE para la identificación de las preguntas que fueron centrales y que generaron problemas de investigación que dieron origen a cada concepto de gen a lo largo de la historia de la genética y de la biología misma y las implicaciones que el concepto tuvo en la consolidación de campos de conocimiento de la biología o

teorías , de forma tal que éstas preguntas se constituyan en posibles secuencias de contenido de enseñanza en genética con un enfoque HyE, pero que a la vez permita el reconocimiento de los puntos cruciales para la atención a los problemas de aprendizaje de la genética reportados por autores.

Con la investigación se pretende aportar argumentos y propuestas para generar un cambio didáctico en los programas de formación de licenciados en biología en donde este controversial contenido biológico podría constituirse en dinamizador u obstáculo para la enseñanza de otros conceptos o fenómenos biológicos; en la necesidad de una formación Histórica y Epistemológica de las ciencias desde los currículos de formación de docentes, en la necesidad de reevaluar los libros de texto y en la generación de material didáctico con base a una propuesta de trabajo Histórica y epistemológica.

## PRESENTACION

En el documento se presenta de manera sistemática el diseño, la ejecución y los resultados de la investigación doctoral sustentada en la tesis del valor educativo de la Historia y la Epistemología para la enseñanza de conceptos polisémicos en biología y particularmente del concepto gen.

La investigación siguió como estrategia metodológica de investigación cualitativa la perspectiva lakatosiana, en donde se tomó como objeto de trabajo educativo la polisemia del concepto gen para la construcción de una propuesta de enseñanza basada en su historia y epistemología.

Entre los referentes teóricos que se tuvieron para el desarrollo de esta investigación se pueden mencionar los siguientes:

- El valor del concepto en Biología y los conceptos polisémicos (Lecourt, 1978, Canguilhem 2005, Díez 2006 y Moulines 2006,)
- La historia y epistemología del concepto gen desde la perspectiva de Falk (1986) y Moss (2003).
- El valor de la Historia y epistemología para la enseñanza de las ciencias (Matthews, 1994; Bachelard ,1976, Claret, 2003; Adúriz-Bravo, 2004, 2006, 2010)

Para el registro y posterior análisis y discusión de la información recolectada se tuvieron en cuenta tres perspectivas: La historia y epistemología del concepto gen,

Las representaciones de gen en profesores y estudiantes y el análisis de contenido de tres libros texto de genética sobre el concepto gen.

Para las discusiones en los análisis y en las conclusiones se tuvieron en cuenta los referentes históricos y epistemológicos del concepto gen como de igual manera las representaciones de gen que poseen profesores y estudiantes.


En varias publicaciones se ha planteado la importancia de la comprensión del concepto gen para el aprendizaje de la genética y de la biología misma, autores como Diez, (2004,2006a,b,2007) y El-Hani (2005,) Goldbach y El-Hani (2008), han identificado la polisemia del concepto gen y la hegemonía del concepto clásico Molecular sin dar mayores explicaciones o implicaciones que cómo esta representación de gen pueda tener alguna relación con las dificultades para la enseñanza o para el aprendizaje del concepto. No existen propuestas prácticas de abordaje a la polisemia del concepto, ni material didáctico o de uso y consulta para docentes y estudiantes que les permitan abordar la enseñanza de gen desde una perspectiva menos rígida y ahistórica.

El acercamiento a la construcción de los conceptos de gen y a su polisemia desde su referente epistemológico y no desde el referente histórico permite un tratamiento más reflexivo del mismo y permite entender las implicaciones que los conceptos tuvieron en evolución y desarrollo específicamente. Comprender los obstáculos, los errores, los paradigmas propios de los momentos y cómo ello afectó los programas de investigación de cada época permite entrever las

potencialidades y limitaciones de los conceptos gen P y gen D con implicación en la enseñanza y aprendizaje de los mismos.

El documento está estructurado en dos partes:


Una primera parte, marco teórico en el cual se presenta el sustento de la investigación y deja entrever el problema de investigación y la segunda parte marco metodológico de la investigación, resultados y las conclusiones de la investigación, finalmente se incluyen los referentes bibliográficos y los anexos.

	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 16 de 240	

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	TESIS DOCTORAL
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	HISTORIA Y EPISTEMOLOGIA DEL CONCEPTO GEN COMO REFERENCIA PARA SU ENSEÑANZA
<b>Autor(es)</b>	LOLA CONSTANZA MELO SALCEDO
<b>Director</b>	ALFONSO CLARET ZAMBRAO.
<b>Publicación</b>	Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional. 2013. 234p
<b>Unidad Patrocinante</b>	UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL
<b>Palabras Claves</b>	Gen, concepto, pedagógico, historia, filosofía y epistemología, representaciones.

<b>2. Descripción</b>
<p>La presente investigación está circunscrita al marco de referencia de la línea “Relaciones entre el Conocimiento Científico y el Conocimiento Común” de la Universidad del Valle”, toma como referente central el “valor pedagógico de la Historia y la Epistemología para la enseñanza de las Ciencias”, y específicamente la Historia y la Epistemología para la enseñanza de conceptos biológicos, en donde éstos se proponen como el marco conceptual de referencia para investigar, analizar, reflexionar sobre la enseñanza, el aprendizaje, la evaluación y la organización curricular para la educación en Biología.</p> <p>En este sentido, al incluir la Historia y Epistemología como referentes en la enseñanza de la Biología, se posibilita el rastreo del origen de problemas que se han constituido en fundamentos conceptuales de la biología, y la comprensión de conceptos teóricos a la luz de sus desarrollos históricos (Matthews, 1994). La complejidad desde la cual construimos explicaciones en relación a lo vivo, implica incluir y hacer evidentes en éstas las transformaciones y reestructuraciones que han sufrido los conceptos biológicos a través de la historia.</p> <p>Uno de los conceptos que es considerado fundamental en la Biología del Siglo XX es el concepto de <i>gen</i>, un contenido biológico con diversos significados a través de la historia de la Biología (El-Hani, 2005), en donde según Falk (1986) cada definición es un intento de responder a la pregunta acerca de ¿qué es un gen?, ante la cual el autor propuso cuatro perspectivas distintas desde las cuales se podría abordar esta diversidad conceptual.</p> <p>Una primera es tratar de definir el gen desde el papel que juega en la evolución, lo que implica considerarlo en término de entidades o unidades, una conceptualización que</p>



 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>EXCELENCIA EN LA EDUCACIÓN</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 17 de 240	

resulta útil para la comprensión de procesos como la selección natural y la mutación. La segunda propende por una definición a nivel molecular que implica definir el gen desde sus atributos de estructura, que permite dar cuenta de los mecanismos y complejidades de su regulación molecular. La tercera es definir los genes desde el papel funcional que juegan en el desarrollo; esto es, dar cuenta de la complejidad de sus mecanismos modulares de regulación.


Estas tres opciones implican definir los genes desde contextos específicos (evolutivo, molecular y desarrollo), lo cual genera limitaciones explicativas porque el concepto solo puede ser usado bien sea para comprender fenómenos evolutivos, comprender la complejidad molecular del genoma en relación a su estructura u organización ó, dar cuenta de la regulación molecular durante el desarrollo, pero no permite explicar todos estos eventos a la vez sin que se incurra en un error epistemológico.

La cuarta y última perspectiva también propuesta por Falk, es tratar de definir los genes como “*entidades operacionales genéricas*”, lo cual implica adaptarlos a las necesidades de experimentación dadas por el biólogo, una perspectiva exclusivamente pragmática.

En el plano educativo, que es el que nos ocupa, cualquiera que sea la opción o perspectiva planteada por Falk que se tome para enfrentar la diversidad del concepto gen implica limitar su poder heurístico como concepto, por lo cual para efectos de esta investigación se trabajó con la propuesta de la diversidad conceptual de Moss (2003), quien asume la polisemia del concepto desde un referente epistemológico y no histórico en donde la diversidad conceptual de gen no es vista como una reformulación o ampliación del concepto sino desde los referentes epistemológicos donde tiene acción, para ello Moss (2003) propone la noción de **Gen P** gen que tiene lugar en genética clásica y genética de poblaciones y la noción de **Gen D** que tiene su lugar en la genética del desarrollo y la genética molecular.

Investigaciones en la enseñanza y aprendizaje de la genética han logrado identificar algunos de los problemas u obstáculos más generalizados para la comprensión en los estudiantes (Ayuso y Banet, 1996 a, b; Flodin, 2009); sin embargo no hay antecedentes respecto de la relación si éstos problemas de comprensión puedan estar relacionados con el concepto de gen asociado y el ámbito restringido en el cual cada concepto de **gen P** o **D** adquiere su significado.

Ante un concepto que se constituye en esencial para la enseñanza y el aprendizaje de la biología, pero que no posee una única definición, al punto tal que algunos autores han hablado de varios conceptos bajo la misma denominación (Falk, 1986; Fogle, 1990; Flodin, 2009; Griffiths, 2002). Es propósito de la siguiente investigación fue plantear una propuesta de enseñanza del gen basada en su historia y su epistemología, asumiendo la polisemia de gen términos propuestos por Moss (2003) reconociendo su valor epistemológico y desde el referente teórico dentro del cual cada uno se construyó.

	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 18 de 240	

### 3. Fuentes

En total se emplearon 186 fuentes bibliográficas entre las que se destacan Matthews, 1994; Claret, 2003; Adúriz-Bravo, 2004, 2006, 2013, Lecourt, 1978, Canguilhem 2005, Díez 2006 y Moulines 2006, Falk (1986) y Moss (2003)

### 4. Contenidos


El documento está estructurado en dos partes:

Una primera parte, marco teórico en el cual se presenta el sustento de la investigación y deja entrever el problema de investigación y la segunda parte marco metodológico de la investigación, resultados y las conclusiones de la investigación, finalmente se incluyen los referentes bibliográficos y los anexos.

### 5. Metodología

La investigación toma como marco de referencia debates en relación a los conceptos en biología, la historia y epistemología del concepto gen. Tomo como población o sujetos de investigación a profesores de las áreas de biología celular, molecular, evolución, desarrollo y fisiología que laboran en programas de formación de profesores, en cinco universidades públicas colombianas; estudiantes de licenciatura en biología y realizo el análisis de contenido de tres libros de texto de genética en lengua castellana que son los más ampliamente empleados para la enseñanza de la genética. Para el desarrollo de la investigación se siguió un programa de investigación lakatosiano en forma de tareas que responden a hipótesis auxiliares que conforman juntas un sistema ó cinturón protector para la hipótesis principal: *¿Cómo la historia y la epistemología del concepto gen pueden ser empleadas como referentes para una propuesta de enseñanza del concepto gen?* Las hipótesis auxiliares planteadas fueron: ***¿Cuál es la diversidad conceptual de gen desde el referente histórico y epistemológico? ¿Cuáles son las representaciones sobre gen entre los profesores universitarios y en estudiantes en programas de formación de licenciados en biología? ¿Cuál es el concepto gen tratado en libros de texto? ¿Cómo integrar los referentes HyE del concepto gen, las representaciones y análisis de libros en una estructura teórica para su enseñanza?***

Los datos obtenidos al desarrollar cada tarea nos permiten afirmar que la representación de gen usual en los docentes es la de ***Gen D***, en estudiantes de ***Gen P*** y en libros de


 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>EXCELENCIA EN CALIDAD</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 19 de 240	

texto de **gen D**. Estas diferencias son relevantes a la hora de pensar estrategias didácticas orientadas a establecer correspondencia entre el concepto de gen que se quiere enseñar. Las representaciones de gen y los análisis establecen como aspecto sobresaliente la *función de gen* más allá de su organización y estructura. No basta con que el estudiante comprenda la organización y estructura e incluso ubicación del gen, sino que es más relevante la *función* que este gen cumple y el *nivel de acción* (jerarquía) del mismo, que para los docentes en su mayoría está circunscrito al molecular y celular mientras que en los estudiantes al fenotipo (macro) y al organismo o población. Estas características yuxtapuestas de **gen D** y **gen P** pueden generar visiones deformadas o híbridas de los conceptos si no se trabajan desde los referentes en los que cada uno se construyó y consolidó. La propuesta de enseñanza derivada del análisis histórico y epistemológico (HyE) del concepto junto con el conocimiento en torno a las representaciones del concepto en profesores, estudiantes y libros texto se basa en el uso de la HyE para la identificación de las preguntas que fueron centrales y que generaron problemas de investigación que dieron origen a cada concepto de gen a lo largo de la historia de la genética y de la biología misma y las implicaciones que el concepto tuvo en la consolidación de campos de conocimiento de la biología o teorías, de forma tal que éstas preguntas se constituyan en posibles secuencias de contenido de enseñanza en genética con un enfoque HyE, pero que a la vez permita el reconocimiento de los puntos cruciales para la atención a los problemas de aprendizaje de la genética reportados por autores.

## 6. Conclusiones

### **¿Cuál es la diversidad conceptual de gen desde el referente histórico y epistemológico?**

Al respecto la investigación permitió reconocer que la polisemia del concepto gen ha sido tratada por historiadores de la biología desde los años 80's pero realmente es muy reciente la reflexión de la implicación que tiene esta diversidad conceptual en la enseñanza. Son pocos los grupos o autores que han adelantado investigaciones al respecto y ellas se quedan en investigaciones del estado de la cuestión sin propuestas prácticas para el abordaje de la situación. La diversidad conceptual de gen ha sido abordada desde dos perspectivas; Un primera perspectiva es histórica (Falk, 1986) quien reconoce la existencia de 5 conceptos de gen; gen mendeliano, gen bioquímico, gen clásico molecular, gen moderno y gen nominal esta diversidad es delimitada desde un contexto histórico que implicó la reformulación del concepto con base a los aportes y nuevos conocimientos que provenían de la biología molecular, bajo esta diversidad conceptual la noción de gen está dada por momentos particulares en la historia de la genética y es la diversidad adoptada por varios autores interesados en la implicación

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Excelencia en la Educación</i>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 20 de 240	

educativa de esta diversidad (Pitombo, Rocha de Almeida y El Hanni (2008), Flodin (2009), Carvalho dos Santos, Joaquim y El-Hani (2012) y Gericke *et al.*, (2012). La segunda perspectiva es la epistemológica propuesta por Moss (2003) y asumida en la presente investigación solo limita la diversidad conceptual de gen a dos tipos **Gen P** y **Gen D**. Esta diversidad es asumida desde una perspectiva epistemológica y no histórica, en ella **gen P** caracteriza la noción de gen que subyace en la biología evolutiva actual, tras la teoría sintética de la evolución en la cual *los genes se interpretan como señales que sirven para predecir rasgos fenotípicos ya que normalmente señalan una característica funcional del organismo*. Tras ello, el gen implica un ente abstracto en el sentido que no tienen un referente molecular y espacial particular, el *gen* o los genes se constituyen en marcadores de diferencias, que dan cuenta de las diferencias entre rasgos fenotípicos, pero no contribuyen a la explicación sobre cómo se forma el rasgo. **Gen D** identifica la noción de gen que le subyace a la biología del desarrollo, *en donde el gen es visto como un recurso para el desarrollo*, mas no señala ninguna parte del fenotipo; no es intencional, sino que se define en virtud de la secuencia de aminoácidos que intervienen en la construcción de una proteína cuya construcción es altamente compleja y dependiente de factores epigenéticos.

***¿Cuáles son las representaciones sobre gen entre los profesores universitarios y en estudiantes en programas de formación de licenciados en biología?***


153

La identificación de las representaciones de concepto gen en profesores y estudiantes a través del empleo de una encuesta con enunciados que caracterizan **gen P** o Gen D en facetas de contexto: utilidad, estructura y organización, definición, modelo y función y preguntas abiertas permiten reconocer que: Los docentes explicitan su representación asociada a la noción de **gen D** que guarda relación con las imágenes que lo representan, pero las correlaciones y el problema que se plantean muestran hibridación en las características que usualmente establecen entre definición, estructura y organización propia del **gen D** con función y utilidad de **gen P**, aspecto evidente en las asociaciones poco definidas entre enunciados de una misma faceta al o al presentarse agrupaciones híbridas de enunciados tanto de **gen P y gen D** de facetas distintas.

En cuanto a los estudiantes, se evidencia en ellos una representación asociada a la noción de **gen D**, evidente en las definiciones e imágenes con las que lo representan. Las correlaciones entre enunciados muestran una interesante delimitación de las facetas con ambos genes pero una poca claridad y uso de la faceta utilidad y modelo. La representación de **gen P** guarda relación con la función específicamente asociada a la herencia propiamente dicha.

***¿Cuál es el concepto gen tratado en libros de texto?***

Con respecto a la noción de gen que se privilegia en los libros de texto (**gen P y gen D**),

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>EXCELENCIA EN CALIDAD</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 21 de 240	

los textos tres textos analizados poseen un mayor número de enunciados propios de **gen D**. describiendo de éste aspectos alusivos principalmente a su función, seguido de su estructura y organización y muy poco de su nivel de acción o jerárquico y contexto. Aunque en términos de número los enunciados de **gen P** se presentan de manera menos recurrentes que el **gen D**, estos profundizan más la categoría Función, contexto y nivel jerárquico lo cual genera dificultades al tratar de extrapolar los niveles de acción en los cuales tiene lugar cada gen.

Los tres textos privilegian el uso de enunciados para los **genes P y D** de manera conceptual y histórica-experimental sin mayor tratamiento de aspectos epistemológicos y cronológicos que podría estar fortaleciendo una visión instrumentalizada y reduccionista del desarrollo de esta ciencia.

**4. ¿Cómo integrar los referentes HyE del concepto gen, las representaciones y análisis de libros en la propuesta de modelo teórico para su enseñanza?**

155

La identificación de las representaciones de gen en docentes y estudiantes así como de la noción de **gen P** promovida en libros de texto bajo la perspectiva de la historia y epistemología permitirá reconocer algunas dificultades asociadas a la noción del concepto con implicación en la enseñanza y en el aprendizaje, en la generación de modelos teóricos en libros de texto, diseños curriculares y en propuestas de formación de maestros. La integración de los *referentes HyE del concepto gen, las representaciones y análisis de libros* permitió la generación de una propuesta para la enseñanza del concepto gen a través del desarrollo de diez (10) preguntas orientadoras que posibilitarían un abordaje metodológico para la enseñanza del concepto gen, a través de la inclusión de aspectos históricos y epistemológicos. La propuesta se concretiza en la elaboración de un texto innovadora de Historia y epistemología del concepto **gen P** para uso en cursos de genética u otros relacionados. Las 10 preguntas se constituyen en la secuencia de contenidos y de abordaje en relación al concepto gen se presume un aprendizaje del concepto en todas sus dimensiones y su estructura permitirá la integración, delimitación, aplicación y diferenciación del concepto gen dentro de los campos de la biología como lo son la genética la evolución y el desarrollo desde la perspectiva histórica y epistemológica.

<b>Elaborado por:</b>	LOLA CONSTANZA MELO SALCEDO
<b>Revisado por:</b>	ALFONSO CLARET ZAMBRANO.

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	04	12	2013
--	----	----	------

## INDICE

INTRODUCCION	24
JUSTIFICACIÓN	27
PRIMERA PARTE	
I. MARCO TEORICO	31
1.1. Historia Y Epistemología Para La Enseñanza De Las Ciencias	32
1.2. Para Una Epistemología De Los Conceptos Polisémicos	36
1.3. Enseñanza De La Genética	47
1.4. Las Representaciones En La Enseñanza	58
1.5. Planteamiento Del Problema Y Objetivos De La Investigación	60
SEGUNDA PARTE	
2. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	109
2.1. Diseño Metodológico de De La Investigación	110
2.2. Resultados y Análisis	113
2.2.1. <i>¿Cuáles son las representaciones sobre gen entre los profesores universitarios y en estudiantes en programas de formación de licenciados en biología?</i>	113
2.2.2. <i>¿Cómo conceptualizan el concepto gen algunos libros de texto?</i>	134
2.2.3. <i>¿Cómo integrar los referentes HyE del concepto gen, las representaciones y análisis de libros en la propuesta de un modelo de enseñanza?</i>	151
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	156
APORTES E IMPLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	164

BIBLIOGRAFIA	165
ANEXO 1: INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN.	194
ANEXO 2: CUESTIONARIO.	196
ANEXO 3: REPRESENTACION GRAFICA DE GEN EN DOCENTES	198
ANEXO 4: REPRESENTACION GRAFICA DE GEN EN ESTUDIANTES	200
ANEXO 5: DEFINICIONES DE GEN ESTUDIANTES Y PROFESORES.	211
ANEXO 6: PREGUNTA 4, ENCUESTA A ESTUDIANTES Y PROFESORES.	216
ANEXO 7: TABLA DE DATOS ENCUESTA A ESTUDIANTES CON TODOS LOS ENUNCIADOS.	219
ANEXO 8: TABLA DE DATOS DE ENCUESTA A PROFESORES CON TODOS LOS ENUNCIADOS	225
ANEXO 9: TABLA DE DATOS DE ENCUESTA A ESTUDIANTES CON VALORES FILTRADOS POR CATEGORIAS	227
ANEXO 10: CAPITULOS DE LIBRO TEXTOS ANALIZADOS	230
ANEXO 11: ENUNCIADOS DE LOS DE TEXTOS	232
ANEXO 12: DATOS DE ANÁLISIS DE CONTENIDO DE LOS TRES TEXTOS DE GENETICA TRABAJADOS	237
ANEXO 13: TABLA DE CONTENIDOS DESDE LA HISTORIA Y EPISTEMOLGOÍA DEL CONCEPTO GEN	239
ANEXO 14: DOCUMENTO HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DEL CONCEPTO GEN PARA SU ENSEÑANZA	240

## INTRODUCCION

El conceso existente entre la comunidad de didactas de la relevancia de la Historia y Epistemología de las Ciencias (HyEC de aquí en adelante) en la enseñanza y aprendizaje de las mismas, es evidente en el número de publicaciones que en relación a este campo (Acevedo, 2008, Adúriz-Bravo, 2006, 2010). Sin embargo aún son pocos los trabajos que de forma aplicada son propuestos para inclusión efectiva de historia y la epistemología en los programas de formación de maestros y en la enseñanza de las ciencias; algunas propuestas se circunscriben al trabajo de algunos conceptos o las denominadas situaciones o problemas relevantes en física, química y algunos muy escasos en biología (Adúriz-Bravo 2004)

Para nosotros, la historia de una ciencia, teoría o concepto- *como será en este caso* - constituye el recurso de análisis epistemológico a través del cual el concepto toma forma, diversifica y consolida. La epistemología aquí asumida, requiere reflexionar sobre el conocimiento científico en cada momento de la historia, para ello se hace necesario conocer los diferentes niveles de implicación del concepto y las formalizaciones que de ello se derivaron, esta perspectiva se constituye en una propuesta para la enseñanza y aprendizaje de conceptos polisémicos que permitirá el acercamiento a los problemas que los generaron y a los desenvolvimientos que tuvieron, vinculando en ello los



procesos de enseñanza/aprendizaje, las dificultades que entrañan los mismos y los medios de divulgación de uso tradicional como los libros texto.

Se establece la necesidad de conocer el desarrollo Histórico y Epistemológico del concepto “Gen” y su estado actual en el contexto de la Biología. Esta etapa constituye así misma una tarea esencial, al establecerse como el marco teórico y argumentativo que respalda la investigación y es el fundamento para el desarrollo y análisis de las subsecuentes tareas. Para el desarrollo de esta tarea se realizó una revisión del estado del arte relacionado con el concepto gen que permita interpretar los hechos históricos que tienen consecuencia en la diversidad conceptual del concepto *gen* y que constituyen el referente base para el planteamiento de estrategias de investigación. Para el tratamiento de esta primera la primera tarea de investigación seguimos los planteamientos de Lecour (1978), quien a) *asume que tras el uso de un determinado concepto, está todo un marco teórico en el cual tiene vigencia y validez el concepto* y, b) *asumir los conceptos como respuestas a un problema persistente, en donde lo importante de un concepto es, reconocer a través de las teorías la persistencia del problema cuya solución cree habersele dado*. Lo importante según este último, es ver a través del concepto el problema y la respuesta que se resolvió con el concepto.

Posterior a lo anterior se identificaron y caracterizaron las representaciones de gen que poseen los profesores, estudiantes y libros texto de genética que ayudarían a confirmar si existen representaciones sobre gen que distan de su

naturaleza histórica y epistemológica a partir de las cuales se diseñó una propuesta de material de lectura de referencia en torno a la Historia y Epistemología del concepto gen que reconozca su diversidad conceptual desde el referente epistemológico en el cual tiene lugar y la importancia del contexto en el cual se construyó.

## JUSTIFICACIÓN

Los conceptos son las unidades básicas de la práctica científica y por lo mismo no se encuentran aislados, se organizan formando un entramado de relaciones cuya estructura, en su conjunto permite explicar el contenido y dar cierto grado de confiabilidad (Beltran, 2006). Así, conocer las múltiples posibilidades y dinámicas que poseen los conceptos en biología para la conformación de las redes conceptuales se convierte en el principal problema al cual se enfrenta el profesor.

El identificar conceptos estructurantes en Biología en el sentido dado por Gagliardi “como un concepto cuya construcción transforma el sistema cognitivo, permitiendo adquirir nuevos conocimientos, organizar los datos de otra manera, transformar incluso los conocimientos anteriores ...”(Gagliardi,1986,p.31) posibilitaría al profesor realizar una transformación didáctica para que a partir de ella dinamice la enseñanza de estas unidades conceptuales básicas e identifique obstáculos que impiden su apropiación por parte de los estudiantes.

Comprender las múltiples aplicaciones, implicaciones y relaciones de un concepto de ciencias solo es posible a la luz del conocimiento de su referente histórico y epistemológico. Es decir, la historia de las ciencias, vista como la historia de los conceptos como lo describía Lecourt (1978), constituye el centro de

atención de la actividad científica, de la historia y filosofía de las ciencias al igual que de su enseñanza.

Aunque tradicionalmente a los conceptos científicos que son objeto de enseñanza se les reconoce la existencia de su devenir histórico, estos son finalmente vistos y enseñados como un resultado, expresados a través de una relación cuantitativa, una constante o un enunciado estandarizado que posee alto valor explicativo dentro de una teoría, diluyendo el poder explicativo que tiene su desarrollo epistemológico a la hora de construir un modelo pedagógico con el cual se explica su contenido.

Los conceptos en biología, bajo esta interpretación, constituyen para muchos, si no la gran mayoría, un problema (Melo, 2013). En biología se presentan grandes controversias a la hora de tratar de definir un concepto, controversias que tuvieron su origen hace varias generaciones y cuyo debate no se ha agotado, constituyéndose hoy día en objeto de atención de biólogos y epistemólogos por la complejidad, contradicción y confusión que implican, como son los conceptos de información, programa, especie y desde luego gen.

Entre los conceptos que son hoy día objeto de debate en Biología se encuentra **“gen”**; debate generado muchas veces por el intento de generalizar un concepto de gen que sea aplicable en todos los campos de la biología (biología evolutiva y del desarrollo) con amplio poder explicativo. Si bien no existe consenso en el significado actual del concepto gen, como lo enunciamos anteriormente, sí es

claro y ampliamente aceptado que este no puede ser considerado como *una unidad ni como una entidad física*, lo cual ha sido señalado por Keller E. (Beurton, et al. 2001) como una limitante para comprender su significado actual como componente de los sistemas vivientes.

Lecourt, (1978) en su libro *Para una crítica de la epistemología*, propone asumir los conceptos como respuestas a un problema persistente, en donde lo importante de un concepto es, reconocer a través de las teorías la persistencia del problema cuya solución cree habersele dado. Desde este planteamiento, una propuesta para la enseñanza del concepto *gen estaría implicada en el diseño de secuencias de contenido coherentes con la HyE del concepto a través del las cuales se posibilite el identificar la o las pregunta(s) problema que originó su significado dentro de un contexto o marco teórico particular (evolución y desarrollo) demarcando diferencias en las posibilidades explicativas y las limitaciones que se presentan al tratar de trasladarlo a otro marco teórico.*

Concebir la enseñanza del concepto *gen* desde el planteamiento anterior, implica para el docente asumir el concepto como un proceso histórico y continuo de resolución de problemas, rutas, intentos de solución e identificación de caminos por los cuales se construyó, estabilizó, rompió o disolvió. Lo que en palabras de Matthews (1994b) constituye una de las características que diferencia el ser educado en ciencias y simplemente ser formado en ciencias, en el sentido propuesto por Cooper (1987, en Matthews, 1994b) en que una persona educada

en ciencias será aquella que no solo tenga la comprensión del conocimiento sino que entienda la naturaleza de ese conocimiento.

En la actualidad se dispone de numerosas publicaciones en relación a la investigación de problemas de enseñanza y aprendizaje de la genética, las cuales han sido tradicionalmente enfocadas en la identificación de problemas de aprendizaje en los estudiantes como las llevadas adelante por Lazarowitz y Penso, (1992); Ayuso,y Banet, (2002); Banet y Ayuso,(2003); Venville, Gribble y Donovan, (2005); Mudry y Andrioli, (2005), entre otros, quienes han enfocado el origen de los problemas de aprendizaje en la complejidad de los contenidos, la organización curricular, los libros de texto, el tipo de problemas y las exigencias cognoscitivas que esto le implica al estudiante.

Por su parte, la presente investigación toma como línea de trabajo el empleo de los referentes histórico y epistemológico para inferir secuencias y contenidos de enseñanzas relacionadas con el concepto gen y recomendaciones para la formación de maestros alusivas a la necesidad de incorporar en los planes curriculares aspectos asociados a la Historia y epistemología. .

**1<sup>ra</sup> PARTE**  
**MARCO TEÓRICO**

Este apartado pretende situar al lector en los referentes teóricos que soportan la presente investigación desde tres aspectos fundamentales; 1) La importancia de la Historia Y La Epistemología Para La Enseñanza De Las Ciencias 2) Los conceptos polisémicos y 3) la diversidad conceptual de gen.

### **1.1. Historia Y La Epistemología Para La Enseñanza De Las Ciencias**

En Colombia, la formación de profesores en ciencias es objeto de trabajo e investigación dentro de las instituciones que se han formalizado para este fin. Muestra de ello son los diversos eventos en los cuales el tema de la formación e investigación de maestros en ciencias es su punto central p.ej el Congreso Internacional de Formación de Profesores de Ciencias organizado de manera interinstitucional por varias universidades de Colombia y liderado por la Universidad Pedagógica Nacional que se realiza de forma bianual; El congreso de La Asociación Colombiana para la Investigación en Educación en Ciencias y Tecnología EDUCyT y Encuentro de Enseñanza de las Ciencias y las Matemáticas de la Universidad de Antioquia. Sin embargo los Estudios en las Facultades de Educación han revelado que en los currículos de educación superior sigue predominando el paradigma tradicional que asume que “para enseñar es suficiente conocer la ciencia” (Rodríguez, Albarracín y Gallego, 2007)

Este paradigma, *“para enseñar es suficiente conocer la ciencia”* en cierta forma se ha visto cuestionado no dentro de los cursos específicos de ciencias sino desde las nuevas cátedras de pedagogía y didáctica que muchas veces son trabajadas como recursos instrumentales para la formación de profesores (Rodríguez et al.2007) pero que no como parte medular de la enseñanza de los contenidos disciplinares a enseñar.



Según la nueva didáctica de las ciencias, en la formación inicial y continuada de profesores es necesario que ellos solo conozcan las teorías, paradigmas o programas de investigación de la ciencia que enseñan, sino que también deberían dar cuenta del proceso histórico de construcción de esas teorías, esto les posibilitaría el poder identificar obstáculos epistemológicos, en el sentido dado por Bachelard para quien, los obstáculos epistemológicos son las limitaciones o impedimentos que afectan la capacidad de los individuos para construir el conocimiento real o empírico (Bachelard, 1976). Estos obstáculos ejercen un efecto en el individuo impidiendo la adquisición correcta de los conocimientos científicos. Para Bachelard, *“La noción del obstáculo epistemológico puede ser estudiada en el desarrollo histórico del pensamiento científico y en la práctica de la educación”* (Bachelard, 1976, p.19).

Al respecto, no es reciente ni son pocos los autores que han recomendado la inclusión de la historia de la ciencia como estrategia que mejora la enseñanza, porque proporciona una mejor comprensión de los conceptos científicos (Matthews, 1994; Claret, 2003; Adúriz-Bravo, 2004, 2006, 2013). Ya Mach (1983) proponía que para comprender un concepto científico es necesario conocer su desarrollo histórico (Matthews, 1994b). El problema es que la mayor parte de la historia que es enseñada a través de textos y en seminarios no hacen didáctica sino que se enseña de manera simplificada y distorsionada.

Diversas investigaciones en educación reclaman la urgencia de verdaderos programas de formación de maestros que contribuyan a una epistemología más rica y auténtica. La epistemología la entendemos en el sentido dado por Adúriz-Bravo (2007, p17) como una metaciencia que estudia las ciencias naturales desde una perspectiva enfocada al conocimiento científico en sí mismo; la epistemología vista como una disciplina científica de carácter metadiscursivo. De igual manera la apropiamos del mismo autor el planteamiento que el aporte de estas dos metaciencias poseen un valor didáctico para la enseñanza de conceptos desde las aproximaciones que realiza Adúriz-Bravo en el 2010, en la medida que se mira el contenido y se le realiza un análisis Histórico-epistemológico principalmente internalista para entender sus relaciones complejas.

Una auténtica formación epistemológica en los profesores debe capacitarles para explicar por qué una proposición se estima justificada, por qué vale la pena conocerla y cómo se relaciona con otras proposiciones tanto dentro como fuera de su disciplina, tanto en la teoría como en la práctica (Shulman,1986 en Gess-Newsome y Lederman,2001).

Sin embargo, a pesar de las diversas razones que justifican la inclusión en la formación de profesores, se requiere de una adecuada formación epistemológica (Matthews,1994b). Cómo se forma esta epistemología y el efecto sobre la práctica educativa (Robinson 1969 en Matthews 1994b) constituye un campo de investigación cuyos aportes posibilitaría generar una redimensionalización de la

enseñanza capaz de promover cambios didácticos que favorezcan el aprendizaje de las ciencias. Al respecto, se han elaborado y propuesto diversas estrategias que permiten describir, analizar y resolver los problemas significativos de la enseñanza aprendizaje de las ciencias (Porlan 1998) como los que están siendo planteados por algunos grupos de investigación colombianos como el Grupo de Investigación en Didáctica de la Química DIDAQUIM con la línea de investigación Cambio Didáctico y Formación del Profesorado de Ciencias, liderada por el Doctor Carlos Javier Mosquera Suárez de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el grupo El Conocimiento Profesional del Profesor de Ciencias de la Universidad Pedagógica Nacional liderado por el doctor Edgar Orlay Valbuena.

Sin embargo, estimar cuál es y cómo se transforma el conocimiento del profesor de ciencias no es tarea no fácil. Si la epistemología como parte del conocimiento del profesor se configura informalmente como fruto de la conjunción de diversos conocimientos formales y no formales, entonces puede hacerse explícita o no en su actuación en el aula; como lo anunciaba Robinson en 1994, *“la epistemología afecta la actuación de los profesores en el aula”* (en Matthews, 1994, p.265); De acuerdo con lo anterior, conocer cuál es, cómo se forma esta epistemología y que efecto tiene sobre la práctica docente toma entonces peso la necesidad de reconocer y comprender las representaciones que el docente posee sobre el contenido a enseñar.

Desde la perspectiva docente y ante la necesidad de mejorar los programas de formación inicial y continuada, la investigación demuestra que se ha avanzado

en la exploración del pensamiento de los profesores en torno a temas específicos, experimentando con éstas estrategias de enseñanza y aprendizaje con el objeto de promover en ellos un conocimiento suficientemente claro. Esta línea de investigación ha sido predominante y fructífera en física y química (Ostermann y Moreira, 2000, Alemán, 1987) pero aún son pocos los trabajos en didáctica de la biología (Valbuena, 2008).

## **1.2. Para Una Epistemología De Los Conceptos Polisémicos**

### **De Los Conceptos En Ciencias A Los Conceptos En Biología.**

Para Díez y Maulines (1999) los conceptos son las unidades básicas y por tanto imprescindibles de toda forma de conocimiento humano y en especial, del conocimiento científico; ello ha dado lugar que los conceptos constituyan un papel fundamental en los procesos de teorización de la filosofía y de las ciencias generando diversas controversias que se remontan desde Platón hasta la actualidad, en lo que atañe especialmente a su significado, relaciones y propiedades; en cualquier caso, existen diferentes escuelas filosóficas que mantienen posiciones muy dispares frente a la esencia informativa de un concepto.

Entre las definiciones de concepto, podemos encontrar la de Wagensberg, para quien la formación de *un concepto* (científico o no) es el resultado de la

comprensión de la información que atesoramos de él (Wagensberg, 1994); Pero dado que el mundo es muy complejo, ningún concepto capta toda la realidad ya que en *el proceso de comprensión hay pérdida de información* (Ibáñez, 2007). Para Mosterín (1984), el progreso de la ciencia no consiste en el aumento del número de verdades que conocemos. La noción de verdad es relativa a la de enunciado, y está a la de concepto. *Qué verdades haya depende de qué conceptos empleemos*. Estos dos autores hacen referencia a los términos de verdad y realidad como sinónimos y asumen que los conceptos median la comprensión de la verdad o la realidad, pero cómo no hay verdades absolutas ¿no existen los conceptos absolutos!

Conceptualizaciones en torno a los conceptos propenden por asumir estos *como constructos u objetos mentales*, por medio de los cuales comprendemos las experiencias que emergen de la interacción con nuestro entorno o como las unidades básicas de la práctica científica que no se encuentran aisladas y que en su conjunto permiten explicar el contenido y dar cierto grado de confiabilidad. G. Bachelard (1984) presenta una noción de concepto en ciencia un poco más compleja; para él los *objetos*, en vez de ser simplemente abstracciones extraídas de la riqueza de lo concreto, son los productos regulados teóricamente y ordenados materialmente de un trabajo que los dota de toda la riqueza de las determinaciones del concepto y de toda la sensibilidad de las precisiones experimentales (Lecourt, 1978). Desde esta perspectiva bachelardiana, los *conceptos u objetos* de la ciencia son *abstractos-concretos*, afirmación que tiene afinidad en su base con el materialismo dialéctico de Hegel, para el cual en su

terminología, el concepto es un *grupo*, en donde este es un *concreto* ya que es una unidad de diversos componentes. Es un *todo* cuyas partes no son separables; sin embargo, en el movimiento de producción de este todo se presupone de un momento en que sus partes han existido fuera de sus vínculos, han sido totalidades en sí, han sido *existentes concretos*, antes de quedar abstraídos en una unidad superior. Este doble movimiento de producción y reproducción ha sido denominado por Hegel *ascenso de lo abstracto a lo concreto*

*[...] Aquí donde empieza el tratado, cuyo contenido es el concepto, hay que volver una vez más a su génesis. La esencia se ha generado a partir del ser, y el concepto a partir de la esencia y, por ende, también el ser. Sin embargo, este devenir tiene también el significado del contragolpe de sí mismo, de modo que lo generado es más bien lo incondicional y originario. (Hegel, 1959, citado por Samara, 2006, p. 111).*

Al respecto, Bachelard (1984) afirma que entre lo *abstracto* y lo *concreto* se instituye más que un lazo de unión, es *una verdadera transacción*, y propone representarla mediante una *doble flecha*; así; el uso científico de las imágenes, está regulado por la estructura transaccional de las relaciones *concreto-abstracto*. Toda imagen científica solo es la metáfora de la doble flecha, es decir, que toda imagen tiene flecha, que interviene en el *proceso histórico* de concretización de lo abstracto, su tesis permite construir una teoría de la historia de la producción de los conceptos como región relativamente autónoma del materialismo histórico, y desde esta niega a la filosofía del derecho a decir la verdad de las ciencias.

George Canguilhem, heredero del pensamiento bachelardiano, propone que el reconocimiento de la historicidad del objeto debe imponer una nueva concepción

de historia de las ciencias (Lecourt, 1978); sin embargo Canguilhem se distancia un poco de Bachelard, porque mientras la epistemología de Bachelard es *histórica*, la historia de las ciencias de Georges Canguilhem es *epistemológica*. La práctica de la historia de las ciencias (HdC) propuesta por Canguilhem realiza, desarrolla y rectifica las categorías epistemológicas bachelardianas, manteniendo la misma relación específica con su objeto, al instaurarse en un espacio descubierto por la postura bachelardiana en filosofía, profundizando las distancias con la filosofía de los filósofos (Lecourt, 1978).

Para Canguilhem *“Cada ciencia tiene su propio aspecto, ritmo y temporalidad específica; su historia no es un hilo lateral, procede de reorganizaciones, rupturas y mutaciones, pasa por periodos críticos, puntos en los que el tiempo se acelera o se hace más pesado, efectúa bruscas aceleraciones y retrocesos repentinos”* (Lecourt,1978,p 60), de allí su postura epistemológica, según la cual la HdC no es el relato de una sucesión de azares. Canguilhem en su libro *Lo normal y lo patológico* (2005) propone una HdC, concebida como *historia de los conceptos*. Si definir un concepto es formular un problema, entonces describir la historia del concepto es describir la historia del problema. La presencia continua del concepto en la línea diacrónica que constituye su historia, testimonia la persistencia de un mismo problema. Por lo cual lo importante es “reconocer a través de la sucesión de las teorías la persistencia del problema dentro de una solución que se cree haberle dado”(Canguilhem,2005,p 17). De esta manera, hablar del objeto de las ciencias es hablar de un problema que se debe plantear y luego resolver; hablar de la HdC es mostrar cómo –por qué motivos teóricos o prácticos– una ciencia se

planteó y resolvió ese problema (Lecourt,1978). Pero hay que reconocer en esta historia de los conceptos la distinción entre la palabra y el concepto. La palabra o el término no hacen al concepto.

Los conceptos nos permiten identificar, comparar y diferenciar los objetos de los que consta el mundo real, esto ocurre fundamentalmente bajo una operación intelectual llamada subsunción. Por ella, varios objetos quedan subsumidos bajo un mismo concepto, un concepto subsume varios objetos; sin embargo, los conceptos son en cierto modo entidades abstractas, no localizables espacio-temporalmente y por tanto no localizables como objetos físicos, y dado que no tenemos acceso sensorial a los conceptos, son las palabras las que nos remiten a los conceptos, nos permiten apresarlos y comunicarlos; de ello se deriva la importancia del lenguaje que denota el concepto, pues es ella, la palabra, la que expresa el concepto, la que puede ser relevante en su análisis conceptual (Díez y Moulines, 2006).

Sin embargo, a pesar del cuidado terminológico que se le da a los conceptos en ciencias, una de las dificultades más grandes por las que atraviesa un investigador en HdC, es la ambigüedad terminológica. Dado que la palabra es el vehículo más común de los préstamos teóricos, muchos términos que denotan conceptos se transfieren inadvertidamente de un fenómeno o proceso a otro completamente diferente; esto no solo genera confusión debido al uso de un mismo término –o palabra– para designar diferentes significados (términos polisémicos), sino que trae importación de valores ideológicos no científicos a lo científico.



Así, los conceptos polisémicos plantean un serio problema a la objetividad en las ciencias, que en palabras de Mosterín (1984), “si los conceptos varían, el resultado de la prueba varía. Con las mismas pruebas podemos obtener resultados probatorios distintos cambiando solamente la definición de los conceptos que usemos”. El autor llama la atención de la necesidad de tener criterios para controlar la corrección de las reglas conceptuales. Por tanto, desde la dificultad o incoherencia de la existencia de una sola epistemología para los conceptos polisémicos, la perspectiva de Canguilhem ofrece una opción al plantear los conceptos como objetos epistémicos, en donde su historia es la historia de su devenir, en donde definir un concepto es describir la historia del problema que lo originó (Canguilhem, 2005), tesis propuesta para la enseñanza de los conceptos polisémicos, como es el caso del concepto de *gen*.

Según Mayr (1998), uno de los filósofos biólogos más reconocidos y seguidos del siglo XX, un principio básico de la ciencia dice que un término que se use de una manera más o menos universal para designar una entidad concreta no debe transferirse a una entidad diferente. Mayr presenta una posición bastante fuerte al proponer que si el concepto o fenómeno presenta confusión, se deben, proponer definiciones más precisas de cada término, como ha ocurrido muchas veces en las ciencias, en las cuales, las definiciones se han ido modificando. *“Si la ciencia demuestra que la definición es incompleta o errónea, dicha definición debe cambiarse, ya que sin definiciones precisas en todo momento, no se puede*

*hacer ningún progreso o esclarecimiento de conceptos o teorías”* (Mayr,1998, p.78)

La posición establecida por Mayr, XX, denota inflexibilidad en la definición de los conceptos, quien se apoya la argumentación de Ghiselimen (1984), según la cual: *dada la función básica que poseen los conceptos como instrumento heurístico nunca, debería existir tensión entre la definición y la interpretación científica* (Mayr,1998,p.75) Consecuentemente se reconoce que en la ciencia son usuales las redefiniciones y estas no deben ser vistas como rupturas completas con la definición tradicional, sino formulaciones más precisas de términos que anteriormente se usaban de manera imprecisa. Una reinterpretación o redefinición nunca debe significar una sustitución del concepto anterior por uno completamente nuevo, aspecto que contribuye al aumento del conocimiento científico, no por la yuxtaposición de conceptos *sino por la revisión perpetua de los contenidos por profundización y tachadura* (Canguilhem, 2005, p. 36).

Quizás la posición de Mayr en relación a la necesidad de tener conceptos claros y muy definidos es consecuencia de la preocupación al constituirse según él los conceptos en biología, en el núcleo explicativo de las teorías por encima de las leyes (Mayr,1998).Mientras en otras ciencias, el progreso generalmente se debe al descubrimiento de nuevos hechos, en las ciencias biológicas de debe en su mayor parte, al planteamiento de nuevos conceptos; Aunque no todos los conceptos tienen el mismo impacto en las ciencias biológicas por su integración en la sociedad - como lo fue el concepto de evolución, especie, genética-, existen otros

conceptos con términos conservados como organización, adaptación, herencia ó conceptos bajo términos inéditos como mensaje, programa, teleonomía que han sido generadores de los más grandes y recientes avances en campos como la ecología, biología del comportamiento, desarrollo y evolutiva(Mayr,1998).

La posición de Mayr, no niega que sea posible en ciertos momentos de la historia de un concepto, la existencia de ambigüedades, pero sí excluye la posibilidad de la diversidad conceptual de los mismos como un hecho permanente. Aunque la historia de la biología nos presenta numerosos casos en donde los conceptos han sufrido trasmutaciones hasta alcanzar su conceptualización actual como ha pasado con la mayor parte de los conceptos biológicos (*p.ejm.* especie, célula, especiación), parece ser que la existencia de conceptos con diversidad conceptual es de lo más común.

La historia de los conceptos biológicos está inundada de relatos incompletos, supersticiosos, plagados de hechos azarosos e ingeniosos, que han generado permanentes controversias (Martínez y Barahona, 1998) Aunque la historia tradicional de los conceptos biológicos reconoce su devenir histórico, ésta muchas veces no permite reconocer si el concepto realmente ha sufrido trasmutaciones o sí posee diversidad conceptual, ya que estas historias son generalmente orientadas hacia la construcción de una ruta lineal y causal que permita describir cómo el concepto finalmente fue elaborado, el cual finalmente es visto como un resultado, *expresado a través de una relación cuantitativa, una constante o un enunciado estandarizado que posee alto valor explicativo dentro de*

*una teoría*, diluyendo así, el poder explicativo que tiene su desarrollo epistemológico y desconociendo cómo fue la formulación del problema que lo originó, cómo se resolvió o porqué continua vigente, lo cual constituiría según Canguilhem, la verdadera historia del concepto.

Entre los conceptos que la Historia tradicional de la biología presenta como un concepto reelaborado a través del tiempo, es el concepto gen, en donde el objetivo permanente fue el dar cuenta de una definición mucho más amplia y flexible que tuviese presente los descubrimientos generados desde la biología molecular para construir un concepto de gen con valor explicativo para la biología en su totalidad (biología funcional y evolutiva). Sin embargo esta historia, solo persigue los desarrollos y contingencias que se generaron a partir de las preguntas planteadas desde la biología molecular en relación a ¿Cuál es la naturaleza y función del material de la herencia? y, pretendiendo que desde ella misma, se obtenga la respuesta, desconociendo que el concepto *gen* fue planteado desde otro contexto teórico y que pretendía resolver a la pregunta ¿Cuál es el mecanismo de transmisión?

Así, la historia del concepto *gen* no da cuenta real del debate en cual se encuentran filósofos de la biología y los biólogos en torno al concepto *gen*, debate generado por la imposibilidad del concepto (aludiendo a toda su diversidad conceptual) de resolver la paradoja que implica la tendencia de tratar de conservar una noción de gen estructuralmente estable que 1) *de cuenta de la transmisión* y 2) *que a la vez de cuenta del desarrollo*, lo cual implica para 1), explicar la

constancia de ciertos rasgos a través de sucesivas generaciones, por lo cual los genes no pueden cambiar en función del contexto del desarrollo y para 2), dar cuenta de la diferenciación celular (teniendo en cuenta que todas las células de un mismo organismo son equivalentes genéticamente) por lo cual los genes cambian (Griesemer, 2000).

Si bien no existe consenso en el significado actual del concepto **gen**, si es claro y ampliamente aceptado que éste no puede ser considerado como *una unidad ni como una entidad física*, lo cual ha sido señalado por Keller (2005) como una limitante para comprender su significado actual como componente de los sistemas vivientes. De allí que plantee que el gen debe ser considerado mucho más que una estructura física con determinada función biológica: y ante lo cual expone:

*...de acuerdo con William Gelbart, biólogo molecular de la Universidad de Harvard, a diferencia de los cromosomas, los genes no son objetos físicos, sino conceptos que han adquirido un bagaje histórico durante las últimas décadas"... y se ha llegado al punto de su uso con este significado puede de hecho ser limitante de nuestro entendimiento (Keller,2005, p.4).*

Al asumir los conceptos como procesos de respuesta a un problema persistente, como plantea Lecourt (1978) lo importante sería entonces el poder reconocer a través de la sucesión de teorías la persistencia del problema dentro de una solución que se cree haberle dado, de esta forma; el esfuerzo por intentar redefinir o reconceptualizar el concepto **gen** pierde importancia, como lo han señalado algunos filósofos y científicos quienes coinciden que la unificación en

un solo término de toda la diversidad que encierra los conceptos de **gen** puede ser un objetivo equivocado (Moss, 2006).

Hans-Jörg Rheinberger contrario a Mayr E., argumenta que los *genes* -como concepto- son objetos epistémicos y por ello derivan su significado de las operaciones experimentales en las que están incrustadas (Beurton *et al.*, 2000), según esto, el concepto de *gen* ó los conceptos de **gen** poseen validez dada por el nicho epistémico en cual se elaboraron y poseen alto valor transicional ya que los científicos lo pueden mover de un contexto a otro, sin que pierda su valor heurístico luego, si se analiza el concepto no se necesita buscar un conjunto de condiciones necesarias y suficientes para definir los límites del concepto *gen*, a lo cual Griffiths (2002) plantea que más que pretender dar una redefinición sería pertinente considerar a los *genes* como entidades dinámicas que emergen en contextos epistémicos y pragmáticos diferentes.

Vistos los conceptos como los plantea Lecourt, Rheinberger y Griffiths, la enseñanza de algunos conceptos biológicos, como el de **gen** implicaría asumirlos no como unidad sino como objetos epistémicos, en donde su historia es ante todo una historia del problema o los problemas que los originaron, las rutas de solución o intentos de solución, la identificación de los caminos por los cuales se construyeron, y de las rutas por las cuales algunos pudieron deconstruirse, estabilizarse, estandarizarse, abriese, romperse o disolverse. Asumir esta definición de concepto implica romper con la creencia generalizada de los conceptos como *productos, logros o unidades* en el sentido dado Hodge (en

López, 2005) ó por Mayr (1998), al ser reinterpretados como *procesos* donde cada cual posee una naturaleza propia que lo identifica y lo dota de valor.

### **1.3. Enseñanza De La Genética**

En la enseñanza de las Ciencias Biológicas, un campo que reviste principal atención es el relacionado con la Genética y reviste especial importancia en el aula ya que en su discurso despliega grandes implicaciones sociales, políticas, económicas y éticas además de la importancia como fundamento para la comprensión de otros tópicos de la biología como son la biodiversidad, evolución y desarrollo.

Aunque, el estudio de la genética se ha definido usualmente como área de mayor exigencia dentro de los estudios de biología ya que dentro de sus dominios trabaja aspectos citológicos, organísmicos, poblacionales, ecológicos y probabilísticos que articulan la mayor parte de los procesos biológicos (Melo, 2006) y es resaltada por otros autores como el campo más difícil de enseñar y aprender de la biología dada las numerosas dificultades asociada (Banet y Ayuso, 2003). No son pocos los autores que al igual a Thompon y Stewart (1985), Allen y Moll (1986), Collins y Stewart (1989) Wood-Robinson, *et al.*,(1998), Ayuso y Banet (2002), Esperben y Biraben (S/F), Goldbach y El-Hani (2008) Diez (2006), Chin y Chía (2006) quienes establecen que algunas causas de estos problemas de la enseñanza-aprendizaje de la genética residen en las estrategias adoptadas por los profesores, mientras que muchas otras residen en los estudiantes, en materiales y orientaciones de currículo y de la misma formación docente

Publicaciones encontradas en diversas revistas de índole nacional e internacional permiten dar cuenta de la importancia que posee el campo de investigación en la enseñanza de la genética en la enseñanza de la Biología. Bugallo (1994) y Díez (2000) realizaron una revisión de las principales tendencias de investigación la enseñanza-aprendizaje de la genética estableciendo tres enfoques básicos de investigación. I) Enfoque pedagógico, II) Enfoque epistemológico y III) Enfoque psicológico. Si bien los tres enfoques no se encuentran completamente independientes en las investigaciones, si presentan particularidades que permiten definirlos.

Las investigaciones con enfoque pedagógico según Díez (2000) han estado básicamente auscultando aspectos que se fundamentan en el diseño, aplicación y evaluación de estrategias didácticas para la enseñanza de la genética y su incidencia en el aprendizaje, como los desarrollados por Evans (1983), Purser (1987), Thomson (1989), Stuart (1990), Harrison y Sampson (1992), Banet y Ayuso(1998), Ayuso y Banet (1998), Banet y Ayuso (2000a, 2000b, 2003), Jiménez *et al.* (2000), Toledo y Camero (2005), Melo, (2006) Díez (2006a,2006b), Carvaigo Dos Santos y El-Hani (2007) entre otros.

Las investigaciones de enfoque psicológico son aquellas que consideran como fundamento elementos de la psicología cognitiva y del procesamiento de la información. En este enfoque encontramos los trabajos de Stewart (1982), Browning y Lehman (1988); Alen y Moll (1982); Banet y Ayuso (1995); Ayuso y Banet (1996a, 1996b,2002); Lock y Miles (1993); Chin y Chao( 2002); Chin y Chia



(2006); Singuenza y Francisco(2000); Tsai y Haung (2002),Martínez y Gil (2003); Davson y Taylor (2000) .

Las investigaciones con enfoque epistemológico han estado centradas en la revisión al desarrollo de conceptos de genética como el concepto gen , cromosoma, alelo, ADN, genotipo y fenotipo desde el punto de vista del estudiante, sin embargo recientemente dado el impacto de la Historia y epistemología de la ciencias en la didáctica, se han encontrado algunas investigaciones en donde establecen relaciones entre la historia del concepto, el desarrollo en biología y su dificultades de enseñanza-aprendizaje. Entre las publicaciones orientadas por este enfoque podemos encontrar las de Stewart (1982), Lazarowitz y Penso (1992), Banet y Ayuso (1995), Pashley (1994), Russell y Millar (1996) Taras *et al.*(1999), Allchin (2000), Lonsbury y Ellis (2002), Venville *et al.* (2005), Mudry y Andrioli (2005), Gericke y Hagberg, (2007) entre otros.

Recientemente se puede incluir otro enfoque muy definido de investigación que podríamos denominar *análisis de libros de texto de genética*. Si bien en diversas publicaciones de los anteriores enfoques se toma como referente los libros de texto para proponer secuencias curriculares, análisis de tipos de problemas etc., en este enfoque se incluyen investigaciones relacionadas con la pertinencia de los libros de texto en la enseñanza de la genética como los desarrollados por Valade Del Río (1999) quien realiza una revisión de la genética en libros de textos, el trabajo de Melo y Cabrera (2007) que hacen la revisión de cuatro libros de genética encontrando específicamente 7 visiones deformadas de ciencia según los presupuestos de Furiò y los trabajos de dos Santos (2007) sobre

ideas de genes en libros didácticos de biología de enseñanza media publicados en Brasil, además del realizado por Diez y Caballero (2004) del análisis de los esquemas de genética en materiales didácticos.

Dentro de este grupo de investigaciones sobresale la realizada por Flodin (2007) quien analizó el uso del concepto de gen en uno de los libros de texto de biología más ampliamente conocido encontrando particularmente que el gen es visto desde cinco preposiciones diferentes a saber; el gen como característica, el gen como unidad estructural de información, el gen como actor, el gen como regulador y el gen como marcador;<sup>1</sup> visiones igualmente, encontradas en la investigación de Gericke y Hagberg con estudiantes. Esta coincidencia entre las cinco preposiciones de gen en libros de texto y en estudiantes demuestra que el gen como concepto adquiere una identidad según el campo en el cual se desenvuelve; campos que van desde la genética de la transmisión (mendeliana), Biología Molecular, Genómica, Biología del desarrollo y Genética de poblaciones,

### **Dificultades para la comprensión de contenidos de genética**

Resultados de las anteriores investigaciones independiente de su enfoque son coincidentes con las principales dificultades para la comprensión de la herencia

---

<sup>1</sup> Flodin (2007) describe cada una de estas percepciones de gen en donde **el gen como característica o rasgo** es tratado como una unidad *para* (funcional) que posee un lugar en el cromosoma (*locus*) de un individuo y su nivel de acción es el organismo. Así mismo el gen **como estructura de información** provee *instrucciones, posee comandos*, es transcrito, expresado, regulado y controlado. Su nivel de acción es molecular. **El gen como actor** es ADN flexible, este *actúa e interactúa, posee movimiento*. Su nivel de acción es celular y molecular. **El gen como regulador** estimula al ADN que controla; dirige, determina y define un patrón modular, su nivel de acciones celular y tisular. **El gen como marcador** es un alelo que puede ser mezclado, fijado, introducido. Existe en frecuencias y estas unidades son marcadores en la población de tiempo y cambios evolutivos. Su nivel de acción es poblacional.

propuestas por Ayuso *et al.* (1996) y que se proponen como necesarias de tener en cuenta al desarrollar actividades de genética, con estudiantes estas son: Dificultades de tipo conceptual, nivel de desarrollo cognitivo, dificultades relacionadas con el enfoque de los problemas y estrategias de resolución, problemas de índole matemático. Incluso autores como Knippels, (2002) reportan que muchas de estas dificultades son compartidas por profesores.

- a. Dificultades de tipo conceptual: la falta de significación de algunos conceptos.

Las estrategias adoptadas por profesores en la selección de los contenidos y formas de trabajo pueden dificultar la comprensión. Según Gauld (2001), “*..la comprensión de alguna noción es una construcción de ideas que están ligadas a otras o conectadas a otras ideas...*” Sin embargo en los cursos tradicionales de genética tanto de secundaria como universitarios, ésta entraña un submundo aparte del que usualmente aborda la biología; netamente regido por leyes probabilísticas, en las cuales los estudiantes se deben sumergir en otro lenguaje (matemático) y en donde pocas veces se logran establecer relaciones con otros procesos celulares, orgánicos, poblacionales y ecosistémicos. Esta limitación promovida por el uso del lenguaje restringe posibilidades de aprendizaje, de transformar los niveles de conocimiento de los estudiantes, por lo cual el docente debe favorecer un espacio de mayor comunicación que posibilite el diálogo, la concertación, transformación y el uso de diferentes lenguajes.

La figura N<sup>o</sup>1 presenta un mapa en donde se pueden visualizar algunas de las distintas implicaciones y relaciones que guarda en concepto gen. Aspectos tratados a lo largo de los contenidos típicos de los cursos de genética básicos

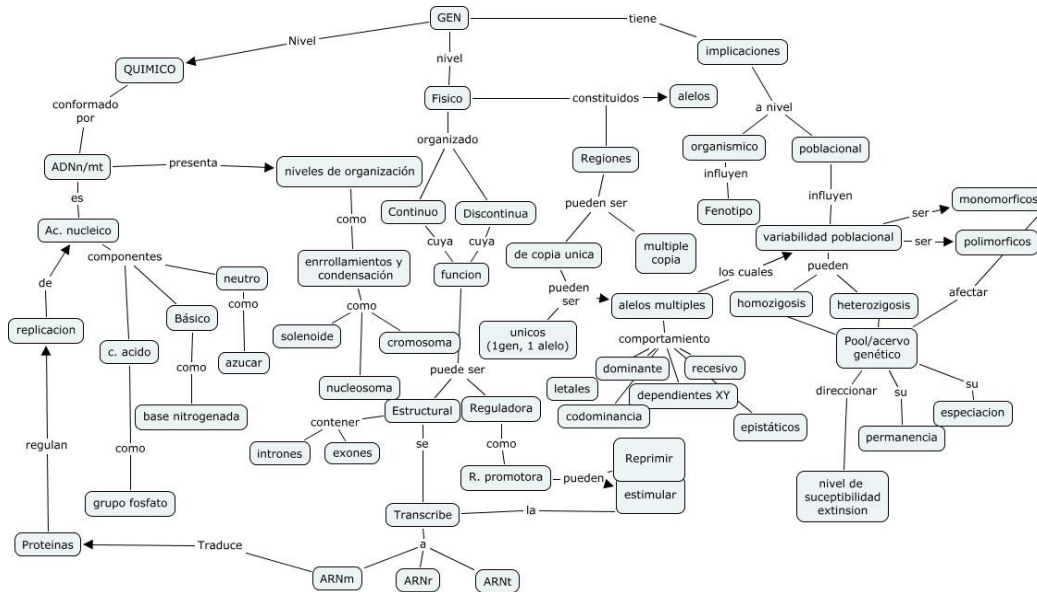


Figura N<sup>o</sup> 1. Red de conceptos de genética. Melo, 2006.

Trabajando este campo como usualmente se trabaja, es muy difícil que el estudiante logre establecer relaciones ya que tradicionalmente la mayor parte de las actividades orientadas por el docente hacia la solución de problemas que involucran enfermedades desconocidas en familias hipotéticas (humanas, animales y plantas) con un sentido de aplicación nulo o restringido, al cual el estudiante le asigna poco sentido. La genética involucra aspectos moleculares, celulares, poblacionales y ecológicos, que pueden ser trabajados desde diversos enfoques. Generalmente, la enseñanza de la genética se orienta desde el nivel más abstracto y sin sentido para el estudiante. Esta forma de abordarla facilita la emergencia de algunos obstáculos como la concepción herencia-mezcla, imagen continua del material genético, valorizaciones en torno a los híbridos (de tipo

negativo), lo genético en contraposición a lo ambiental, materialización del gen, entre otros. Por lo cual el alcance de su aplicación puede ser reducido, dado los conflictos que por la significación le asigna el estudiante.

De igual forma, el docente desconoce estrategias para trabajar la genética estableciendo otras relaciones fuera de las de herencia-enfermedad; como las implicaciones que la genética tiene para los procesos evolutivos, de variabilidad, evolución, ética, salud, agropecuaria favoreciendo relaciones CTSA, que podrían ser formas más cercanas de establecer conexiones dándole un mayor sentido de realidad al estudiante.

**b. Dificultades relacionadas con el nivel de desarrollo cognitivo.**

Ayuso, *et al.*,( 1996) plantean que los problemas relacionados con genética presentarán dificultades dado que la mayor parte de las actividades relacionadas con el estudio de la herencia denotan un razonamiento hipotético-deductivo que muchos estudiantes no han desarrollado. Este razonamiento está muy ligado al pensamiento implícito del docente que los estudiantes realizan este tipo de deducciones en su vida cotidiana, desconociendo que el conocimiento cotidiano y el científico varían en sus procesos representacionales y espacios de acción.

El planteamiento de Ayuso puede ser una realidad, en la mayor parte de nuestros cursos de ciencias, el reto del docente esta en acompañar al estudiante en la generación de estrategias de resolución de problemas y realizar un análisis más pertinente del tipo de problemas y actividades, ya que tradicionalmente lo que se trabaja en el aula son los problemas planteados en los libros de texto

(usualmente retomados de texto universitarios), que no son planteados por el docente en el contexto de su curso y estudiantes.

- c.** Dificultades relacionadas con el enfoque de los problemas y estrategias de resolución.

Muchas de las actividades que usualmente se emplean en la enseñanza de la genética están relacionadas con resolver problemas. Sin embargo, dada la complejidad de los postulados los problemas no pueden ser abordados de la misma forma, por lo cual existen diversos tipos de problemas que no presentan el mismo nivel de dificultad. Generalmente el abordaje de muchos problemas empleados en los ejemplos responden a planteamientos causa-efecto que no requieren el análisis de datos, ni la emisión de hipótesis o interpretación de la situación sino que inducen a una puesta en práctica de reglas conocidas y empleadas anteriormente en situaciones similares, por lo cual se crea una percepción de facilidad en la resolución y una falsa idea de comprensión. Este tipo de actividades no posibilitan el desarrollo de estrategias de resolución que impliquen mayor razonamiento o, la construcción de nuevos modelos dado el enfoque como se presentan a los estudiantes (Ayuso, *et al.*, 1996)

- d.** Dificultades de tipo matemático

La concepción errónea del docente de abordar los temas, dando por supuesto que los estudiantes ya comprenden la importancia de los fenómenos probabilísticos, y que por tanto les será fácil relacionarlos con las proporciones fenotípicas y genotípicas; desconociendo la complejidad que el análisis

matemático en sí encierra *p.ej:* proporción, probabilidad, distribución binaria, promedio, ley de Laplace- Gauss en consecuencia el azar finalmente no es comprendido y pueden reafirmar concepciones creacionistas.

### **Dificultades para el aprendizaje del concepto gen**

Investigaciones específicamente relacionados con el concepto gen y su enseñanza han sido abordados por diversos autores de origen americano y australiano y suizos como Forissier y Climent (2003), Lewis y Wood-Robinson (2000), Lewis y Kattmann (2004), Pashley N (1994), Wood-Robinson (1994) Wood-Robinson, Lewis y Leach (2000a,200b). Gericke Y Hagberg en el 2007 recogen estos trabajos y proponen dos dimensiones de dificultades, la primera está relacionada con los *modelos mentales de gen o con la naturaleza de la información genética*<sup>2</sup> y la segunda con el *asocio de los genes con la síntesis de proteínas o mecanismo de transmisión de la información* de una célula a otra entre las generaciones.

Dificultades de comprensión del concepto gen genera otras dificultades asociadas con la síntesis de proteínas que tienen implicaciones en todos los niveles jerárquicos de la Biología: Molecular, Celular, Organismico, Poblacional.

- No se diferencia entre gen e información genética.
- Los estudiantes no diferencian genotipo de fenotipo
- Los estudiantes pueden definir de una forma simple conceptos de genética pero presentan dificultades al relacionar estos conceptos.

---

<sup>2</sup> Modelos mentales de gen que coinciden con el trabajo de Flodin (2007) mencionado anteriormente.

- Los estudiantes ofrecen explicaciones de tipo causal de tipo idealístico y no en términos de procesos bioquímicos.
- Se presentan dificultades en relacionar estructuras y conceptos en adecuados niveles sistémicos.
- Se presentan dificultades al tratar de extrapolar entre diferentes niveles organizacionales.
- Estudiantes ofrecen explicaciones fenomenológicas a nivel macro o celular pero no a nivel molecular.
- Los estudiantes rara vez investigan el efecto ambiental sobre las características.
- Los estudiantes presentan deficiencias para separar el concepto alelo del concepto de gen

Por otra parte, a nivel latinoamericano se han adelantado investigaciones en relación a la diversidad del concepto gen y su función a nivel educativo como los de Diez, (2004,2006a,b,2007) y El-Hani (2005,) Goldbach y El-Hani.(2008) quienes han concluido *p.ej.* Que en los estudiantes de Educación Básica predomina una visión estructuralista (gen como *unidad* contenida en cromosomas, gen como unidad de la herencia) por una parte y que los materiales de Educación Media en Venezuela introducen el concepto de gen como unidad funcional que contiene información, al tratar la secuencia del nucleótidos del ADN, que se ubican en los cromosomas. El enfoque funcionalista se amplía y profundiza en los materiales analizados para estudiantes de educación superior, además de incluir consideraciones evolutivas, conceptos del desarrollo y la



existencia de distintos tipos de genes (Diez, 2006a). Por su parte los resultados obtenidos por el profesor El-Hani, es que el Concepto Clásico Molecular de genes es el que prevalece en estudiantes de graduación en Biología de dos universidades brasileñas, concepto que puede estar relacionado con el tratamiento que en los libros didácticos de biología se les da sin que sus anomalías y críticas actuales sean tenidas en cuenta.

Estos resultados en poblaciones en formación muestran similitud con los resultados obtenidos por Stotz, Griffiths y Knight (2004), según los cuales, el concepto clásico molecular de gen sigue siendo el estereotipo para los biólogos. Por su parte, el trabajo realizado por Gerike y Hagberg en el 2007, muestra un paralelismo entre las dificultades para comprender aspectos de genética y las dificultades propias que presentan cinco modelos históricos de gen y su función, identificando siete características epistemológicas que pueden ser un problema para la comprensión del concepto de gen y fusión: *i) La relación entre estructura y función de el gen, ii) la relación entre niveles de organización y definición de función génica, iii) el real aprovechamiento de la definición de función de gen, iv) la relación entre fenotipo y genotipo, v) la relación idealista versus la naturalista en los modelos, vi) la reducción del problema epistemológico y vii) La relación ente genética y factores ambientales*, aspectos que deberían ser trabajados por el docente haciendo uso de los modelos históricos a través de la denominada Historia de la Ciencia (HOS siglas en ingles)

#### 1.4. Las Representaciones en la Enseñanza

Desde las teorías representacionales se sostiene que la mente consiste en representaciones internas, pues los sujetos no captan el mundo exterior directamente sino que construyen representaciones internas de éste, que le permiten construir estados físicos, bloques de construcción cognitiva que pueden ser combinados y reestructurados cuantas veces sea necesaria y cuya única condición es la funcionalidad (Moreira,1996)

Las representaciones, no son técnicamente precisas pero deben ser funcionales y evolucionan interactuando con el Sistema (Greca y Moreira, 1995) por lo que son dinámicas, inestables e incompletas lo cual significa que pueden ser modificados, actualizados, enriquecidos y que evolucionan con la interacción y se formalizan en ella. Es quizá esa formalización de las representaciones a lo que Rodríguez, Rodrigo y Marrero (1993) han denominado Teorías implícitas, la cuales se asumen como representaciones individuales\_cuyo contenido está en su mayor parte socialmente normativizado. Las teorías Implícitas proporcionan *valores de anclaje* que sirven de motivo de acción, por otra parte tienen carácter propositivo. Adoptar una teoría supone, asumir un punto de vista sobre el objeto.

Las representaciones mentales que con el correr del tiempo y según la disciplina en la que se proponen, han recibido distintos nombres, como “marco” (Minsky, 1974), “guión” (Schank y Abelson, 1987), “modelos mentales” (MM) (Johnson-Laird,1990 en Moreria 1996).

Las representaciones mentales se fundamentan además en la premisa que las representaciones internas de los sujetos pueden inferirse de sus comportamientos y verbalizaciones, ósea que son posibles de explorarse indirectamente a través de lo que los sujetos son capaces de externalizar de manera verbal, simbólica o pictórica (Moreira,1996). No obstante, es necesario tener en cuenta que la mayoría de las veces las personas no son conscientes de sus propias representaciones y otras veces dan explicaciones de lo que hacen tratando de identificarse con la persona que hace el cuestionamiento.

Por lo anterior, en esta investigación no se pretende valorar en sí las representaciones docentes sobre el concepto gen, pero sí constituye una oportunidad para reflexionar sobre la importancia que posee la historia y la epistemología en la representación que poseen los profesores en relación al *concepto gen* para la enseñanza de la biología.

En línea con lo anterior, auscultar las representaciones que tienen los profesores del concepto gen aportará nueva información en el campo del Conocimiento del profesor de Biología con toda su implicación para la enseñanza.

## 1.5. Planteamiento Del Problema Y Objeto De La Investigación

En lugar de formular leyes los biólogos usualmente organizan sus generalizaciones dentro de un marco de conceptos, los cuales pueden luego ser traducido a una o varias leyes. Quizá sea por esto, según Mayr (1982) que la mayor parte del progreso en ciencias biológicas se deba al desarrollo de nuevos conceptos y principios.

La investigación en relación a los conceptos en biología ha demostrado os evidentes refinamientos que se han dado a los diferentes conceptos a lo largo de la historia, identificando problemas filosóficos y metodológicos derivados de la incorporación de nuevas características a los mismos, además de mostrar serias deficiencias terminológicas en algunos lenguajes, el uso de conceptos polisémicos o polivalentes<sup>3</sup> y más recientemente han revelado la existencia de lo que Falk (2002) ha denominado conceptos en tensión<sup>4</sup>.

Dentro de los conceptos de biología que han sido fundamentales como herramienta heurística de la biología del siglo XX e identificado en el campo educativo como estructurante según Joaquim (2007) se encuentra el concepto gen. Sin embargo, a pesar que las implicaciones de su historia, transformaciones y debates están teniendo gran incidencia dentro de las investigaciones que lleva adelante la comunidad científica en didáctica de la

---

<sup>3</sup> Término que es usado indistintamente en un campo a otro

<sup>4</sup> Para ampliar el tema se recomienda la lectura *The Gene: A concept in tension*, (Falk, 2002 en Beurton Falk y Hans-Jörg Rheinberger (eds.), *The Concept of the Gene in Development and Evolution*, Cambridge: Cambridge University Press, p. 317-348.

Biología, éstas no han sido suficientemente conocidas por los profesores e incorporadas en la práctica.

El análisis histórico al concepto gen realizado por Falk, permite reconocerlo como un concepto teóricamente *polivalente*<sup>5</sup> es decir, el concepto gen “...ha logrado pasar de un contexto explicativo en biología a otro, adaptándose sin desvanecer su esencia, estabilizándose y permitiendo dar sentido de coherencia lógica a otros conceptos con los cuales se le relaciona..” (Falk, 1986, p.133), cuyos múltiples significados han logrado permanecer a lo largo del siglo XX.

La diversidad conceptual de *gen*, identificada a través de análisis histórico de Falk, permite verla como resultado principalmente de las explicaciones dadas a los fenómenos relacionados con herencia, diversidad, conservación y a aspectos de su regulación, dominio espacial, estructural e incluso temporal, que han sido elaborados en momentos y ambientes de investigación diferentes que orientaron el empleo de modelos experimentales y técnicas distintas.

Para Falk (1986) la actual diversidad conceptual de gen se limita a cuatro identidades reconocibles a lo largo de la historia de la biología en los últimos 100 años, identificadas por él como: gen mendeliano, gen bioquímico, gen clásico-molecular y gen nominal. Las denominaciones de Falk, son una descripción básicamente elaboradas a partir de la transformación de concepto de gen como un ente abstracto (Mendeliano) a la concepción Molecular Clásica de gen como una

---

<sup>5</sup> En el sentido de Canguilhem en el cual *un concepto inicialmente esbozado o formado en un contexto teórico dado se encuentra posteriormente capturado por alguna teoría que lo utiliza en un contexto y en un sentido diferente de los primeros y encontrar un sentido de verdad, es decir de coherencia lógica con un conjunto de otros conceptos*”. Canguilhem (1994, p )

serie de nucleótidos inmediatos cuya sucesión corresponde a una cadena de polipéptidos de amino ácidos.

Las identidades descritas por Falk, se cruzan o se encuentran unificadas en el análisis realizado por Moss (2003,2006 a,b) quien hace una revisión epistemológica del concepto gen a lo largo del siglo XX y plantea la existencia de sólo dos posibles identidades a las que denomina **Gen-P y Gen-D**.

En el primero, **gen P**, los genes se interpretan como señales que sirven para predecir rasgos fenotípicos ya que normalmente señalan una característica funcional del organismo. El gen implica un *ente abstracto* en el sentido que no tiene un referente molecular y espacial particular, mientras que el **gen D**, es visto como un recurso para el desarrollo, mas no señala ninguna parte del fenotipo; no es intencional, sino que se define en virtud de la secuencia de aminoácidos que intervienen en la construcción de una proteína (Azkonobieta, 2005).

Si bien Moss soluciona en parte el problema de la elevada diversidad conceptual planteada por Falk, también genera una paradoja explicativa en biología. Al ser estos dos conceptos perfectamente demarcados, son inconmensurables entre sí, es decir no pueden ser asumidos simultáneamente por que entran en conflicto. Esto se debe a que según el autor, los conceptos de **gen** poseen atributos y funciones particulares que responden a teorías y contextos propios desde los cuales han sido generados esto es, la biología evolutiva y la biología del desarrollo.

Es decir, si el **gen P**, debe ser estable en la herencia para explicar la constancia de ciertos rasgos a través de sucesivas generaciones, por lo cual no pueden cambiar en función del contexto del desarrollo<sup>6</sup> (Moos,2006), cómo hacerlo responsable de la diferenciación celular –o de los atributos del gen D-, teniendo en cuenta que todas las células de un mismo organismo son equivalentes genéticamente entre sí, esto implica que los genes deben cambiar (Moss, 2006).

***¿Existe diversidad conceptual de gen desde el referente histórico y epistemológico?***

Con el fin de establecer los referentes históricos y epistemológicos del concepto gen que constituyan el referente teórico, para la construcción de un modelo teórico para su enseñanza se realizó un estado del arte en el sentido dado por Hoyos (1999, p. 57) “*una investigación documental que tiene un desarrollo propio, cuya finalidad esencial es dar cuenta de construcciones de sentido sobre base de datos que se apoyan en un diagnóstico y un pronóstico en relación con el material documental sometido al análisis...*” a partir del cual se pudiese responder la pregunta. El propósito de esta tarea fue reconstruir el estado actual del concepto, identificar y caracterizar su polisemia, plantear los debates existentes y, tomar una posición en relación a la discusiones con una propuesta alusiva a su diversidad conceptual que se constituya en el referente epistemológico desde el cual se generó la propuesta de enseñanza cuya tesis se soporta en el *valor educativo de la historia y epistemología del concepto gen Para la enseñanza de la Biología y*

---

<sup>6</sup> Presunción de invarianza del proceso transgeneracional.

*específicamente de la genética*. Esta tarea fue prioritaria para la continuidad de la investigación ya que determina las condiciones bajo las cuales se realizan las demás tareas planteadas.

Así, a través del desarrollo de la pregunta, se presentará el estado del arte de la diversidad del concepto gen a nivel histórico y el análisis epistemológico de su polisemia, los debates en torno a la misma y el posicionamiento epistemológico con implicación educativa para la enseñanza del concepto gen en Biología.

### **Desarrollo epistemológico del concepto gen**

Uno de los conceptos que más debate ha generado en biología es el concepto *gen*, y quizás dos de los textos más sobresalientes en relación a él sean los de Falk y Rheinberger (2000) y el de Keller (2000), sin dejar a un lado las múltiples publicaciones que desde el ámbito de la filosofía de la biología y desde la investigación biológica se han producido. Una de las posibles razones por la cual el concepto tiene gran importancia en el debate actual, es por el papel que juega en los numerosos intentos realizados parte de los genetistas de asociarlo a la definición de vida, trabajo que inició desde finales del siglo XIX con los intentos de los biólogos teóricos por conceptualizar una teoría sobre los procesos vivos con una base materialista y corpuscular (Morange, 2007)

La influencia del concepto **gen** sobre el pensamiento biológico y su papel en el debate en la definición de vida y muerte no solo han sido temas de discusión; el término y concepto también han sido sometidos a una exhaustiva revisión histórica y epistemológica motivada por los desarrollos de la biología



molecular de las últimas décadas que ponen en relieve la ambigüedades inherentes a sus diversas definiciones, muchas de ellas incompatibles con los descubrimientos de la biología molecular actual (Falk,1986; Fogle,1990; Portin,1993; Griffiths y Neumann-Held,1999; Keller,2000; Stotz, *et. al.*, 2004; Moss, 2006; El-Hani, 2007; Knight, 2007)

Si bien, gran parte de la consolidación de la biología como ciencia en el siglo XX tuvo lugar gracias a los descubrimientos generados desde la biología molecular y del desarrollo, en donde el concepto *gen* fue el corazón de estas disciplinas (Giffiths, 2002), quizá por ello, entonces Keller (2000) tuvo razón en denominar al siglo XX como ***el siglo del gen***, por las implicaciones que tuvo el concepto y el desarrollo de la genética en la transformación de la biología experimental y teórica. No obstante al cumplirse casi una centuria desde la denominación original del concepto y de la valoración pragmática dada al *gen*, la pregunta ***¿Qué es un gen?*** Sigue siendo tan actual como desde el año 1909 cuando W. Johannsen definió este término<sup>7</sup>.

El estudio del desarrollo histórico de la biología, permite identificar diversos significados atribuidos al concepto de ***gen***, que responden al contexto explicativo de los distintos episodios y sucesos históricos que se dieron lugar a través los siglos XX.

El ***gen*** como término se ha desplazado en el tiempo y transferido a diversos ambientes o campos de la biología, en alguno de los cuales se estabilizó

---

<sup>7</sup> En Johannsen, 1909. *Elemente der Exakten Erblchkeitslehre*. Jena: Gustav Fischer. Esta traducción es citada por Maienschein (1992, p. 122)

conservando algo de su connotación original; pero en otros, el concepto ha a sido objeto de desestabilización llegando incluso a desnaturalizarse pero no disolverse para posibilitar el establecimiento de nuevos nodos y redes de conexiones para llegar finalmente a convertirse en una “*caja negra*” en el sentido que Lecurt da al término.

### **Origen del concepto gen y sus contextos. Acercamiento epistemológico**

Según la tesis de Beltrán (2006), hasta el siglo XVIII, el ámbito conceptual que dominó la distinción entre lo que aportan los padres y lo que aporta la materia externa incorporada al cuerpo y al espíritu no daba lugar a la pregunta *sobre la transmisión* (el mecanismo)<sup>8</sup>. El problema hereditario como el espacio de representaciones que llamamos “herencia” no se configuró, para la ciencia sino hasta la primera mitad del siglo XIX, cuando el concepto cambio del uso adjetivo “hereditario” al sustantivo “herencia”, gracias a la ampliación o generalización de las nociones médicas de transmisión, de causalidad latente, de atavismo, siendo su orientación el polo fenomenológico de la genealogía (normal o patológica)<sup>9</sup>.

Es solo hasta mediados del siglo XIX que se termina de articular la pregunta por el mecanismo de la herencia (de transmisión de rasgos) en donde los problemas por solucionar incluyen la caracterización de los rasgos, las rutas y el tipo de causa o mecanismo, la irregularidad de la transmisión, la oposición

---

<sup>8</sup> Al respecto podemos encontrar diversos textos que exponen las teorías explicativas en relación el sitio donde se produce el semen o germen y el papel en la herencia, como es el caso la teoría de la herencia de los caracteres adquiridos (basado en el concepto de pangénesis) y los diversos argumentos de los preformistas del siglo XVII y XVIII que incluían a los ovulistas y espermistas y las ideas de la herencia combinada.

<sup>9</sup> Una ampliación bastante clara de este aspecto es tratada por Beltran, 2006. por una nueva historiografía de los conceptos científicos. En Martínez y Guillaumin, 2006. Historia, Filosofía y Enseñanza de la ciencia. Editorial filosofía de la ciencia. UNAM. México.

herencia/variación<sup>10</sup>, preguntas que comparten escenario con las generadas a partir del amplio espectro de desarrollos en citogenética como el descubrimiento del núcleo celular por parte de Robert Brown en 1833 y la enunciación de la teoría celular en 1939 que generaron la posibilidad de examinar las células para ver cómo se transmiten los rasgos durante la división celular, aceptándose de forma general hacia 1855 que el núcleo contenía la información de la herencia (Pierse, 2006). Siendo en el último tercio del siglo XIX en donde se perfilan y definen dos líneas de interés en biología a) la causa de la diversidad biológica y sus complejas adaptaciones y b) el desarrollo. Ante las cuales surgen modelos explicativos que combinan de modos diversos aspectos de embriología, teoría celular, para intentar explicar la compleja fenomenológica de la transmisión hereditaria.

*“ El hecho de que de una pequeña semilla, o de un óvulo fertilizado, emerja en un corto lapso temporal, que va desde varios minutos a varios años, un organismo vivo, compuesto de una gran cantidad de células, órganos especializados, y capaz de comportamientos extremadamente complejos, nunca dejó de estimular el interés de los biólogos, y llevó a muchos investigadores a considerar el problema del desarrollo como paradigma del problema de la vida en general” (Bertalanffy, 1933, p. )*

Cualquier explicación en estas dos líneas respondía o no a un principio general de la época, la primera Ley contenida en *De Motu Corporum: Todo cuerpo permanece en reposo o en movimiento rectilíneo y uniforme, a no ser que actúe sobre él una fuerza exterior* (Lewontin, 1979). Pero no fue el principio orientador

---

<sup>10</sup> Pregunta principalmente generada por las discusiones entre los criadores de borregos en torno a la capacidad de de los sementales de transmitir las características a sus descendientes. Este espacio contextual posibilitaría la gestación de la Genética, la cual intentaría explicar dos observaciones aparentemente antitéticas; que los organismos se parecen a sus progenitores y difieren de ellos. La genética estudia pues el problema de la herencia y la variación,

sino precisamente el tipo de preguntas que intentaban resolver las que generaron el amplio espacio que separó a la genética de la fisiología que posteriormente sería denominada biología del desarrollo.

De forma particular, las explicaciones dadas durante la época sobre el origen y la herencia biológica, estaban en consonancia con el pensamiento de que la naturaleza incluyendo la viva, era considerada solo en términos de idea, y la falta de conciencia de los casos particulares con la idea era una medida de imperfección de la naturaleza<sup>11</sup>.

Es precisamente en relación a este principio *De Motu Corporum*, que la teoría de Darwin resulta ser revolucionaria; la Teoría de la Evolución propuesta por Charles Darwin en 1859, con la publicación "*El origen de las especies*", transformó el pensamiento clásico de los estudios de la historia natural, al develar una explicación del mundo diferente a la religiosa; una explicación que desplazó la concepción de un mundo controlado de manera divina, por una donde los fenómenos son gobernados por leyes naturales. El impacto de la teoría de Darwin no solo se limitó a la evolución, sino a las consecuencias del pensamiento evolucionista con la inclusión de conceptos esenciales dentro de la teoría como; evolución, ascendencia común, gradualismo, especiación natural y selección natural (Mayr,2006), pero para algunos estudiosos del proceso evolutivo, la única contribución intelectual de Darwin fue realmente el concepto de selección natural (Lewontin,1979) que aunque Darwin no lo postuló de forma completamente clara y amplia representó quizá uno de los puntos de su teoría más polémicos y de difícil

---

<sup>11</sup> Entre estas explicaciones podemos ubicar las del creacionismo y la teoría de la herencia de los caracteres adquiridos.

aceptación en su época ya que representaba una clara oposición a los pensamientos de causas finalistas de origen sobrenatural, y a cualquier determinismo en el mundo orgánico (Mayr, 2006).

Aunque Darwin introduce una concepción claramente opuesta al pensamiento de la época al plantear el concepto de selección natural como un proceso oportunista, su gran vacío fue el desconocimiento de las leyes que gobiernan la herencia (Zambrano, 2000) por lo cual incurrió en el uso de un principio determinista, al aceptar que cada proceso aleatorio en el universo tenía una causa. De este modo, Darwin usó el principio aceptado de la época “*la herencia de los caracteres adquiridos*”<sup>12</sup> para plantear su teoría de la pangenesis, teoría que posteriormente sería refutada por August Weismann en 1893, quien publicó su oposición a la herencia de los caracteres adquiridos<sup>13</sup>, junto con Russel Wallace y otros evolucionistas no tan conocidos y a la vez abrieron puerta a la búsqueda a otras explicaciones de la herencia; lo que posibilitaría años más tarde, el redescubrimiento de las leyes de Mendel, las cuales se convertirían en el eslabón que faltaba para completar la cadena del argumento darwiniano.

---

<sup>12</sup> Con la cual la herencia es vista como una “*fuera*”, que se acumula sobre las generaciones, idea ampliamente aceptada entre los llamados “criadores” (botánicos, agricultores) de este siglo, Charles Darwin, denominó a esta *fuera* “*gemules hereditarios presumidos de partículas*” (Ramírez, 2006 en Tancredi, 2007).

<sup>13</sup> A finales del siglo XIX aun no se conocía como se producía la transmisión de caracteres y muchos biólogos aceptaban la idea de la herencia mezclada en la cual se mezclaban células paternas y maternas y el resultado era un nuevo organismo; bajo esta idea tiene sentido la herencia de los caracteres adquiridos; la actividad del ser vivo produce modificaciones en él, modificaciones que residen en las células y pasan a la descendencia, sin embargo, el experimento realizado por August Weissemann (1834-1914) sepultó la idea de la herencia de los caracteres adquiridos, al proponer la teoría plasmática-germinativa. Su teoría publicada en 1883, sostenía que los caracteres que se heredan no podían transmitirse simplemente de todo el cuerpo a las células germinativas (óvulos y espermatozoides) sino que las células que dan origen a los gametos contienen debía darse una separación entre un material que portaba instrucciones hereditarias y el resto del material celular, que no portaría material responsable de la herencia. Weissemann denominó a esa parte responsable de la herencia “germoplasma” para diferenciarlo del “soma”, el contenido de la célula que no tiene relación con la herencia. En la fecundación, se mezclarían el plasma germinal paterno y materno de modo que el nuevo ser tendría instrucciones hereditarias derivadas de ambos progenitores. Estas instrucciones serían las que determinarían la estructura corporal del ser generado; dicho plasma germinal se transmite de generación en generación, pero no se ve afectado por lo que le suceda al resto del cuerpo (VER ANEXO 14)

Simultáneamente, el espacio generado por la herencia colapsaba con el redescubrimiento en 1900 de la teoría mendeliana al presentarse un nuevo esquema de la transmisión hereditaria, que instauro a la genética como ciencia imponiendo una reorganización y reorientación a las preguntas de la herencia en torno al par gen-carácter, siendo así que desde 1900 la genética ocupa el espacio de la herencia<sup>14</sup>.

Pero ¿cuál fue el aspecto sorprendente o innovador de la propuesta de Mendel? El artículo de Mendel, publicado en 1865, formula los principios fundamentales de la teoría de la herencia por medio de pares de factores, heredados cada uno de un progenitor, que no se “mezclan” sino que se “segregan” uno del otro en la formación de células sexuales o gametos, su trabajo aunque contemporáneo con el de Darwin, permaneció desconocido por mucho tiempo y la interacción entre estas dos ideas solo tuvo lugar hasta inicios del siglo XX<sup>15</sup>.

El descubrimiento en 1900 de la publicación de 1866 en *las Proceedings of the Brunn Society for Natural History* de los postulados de Mendel de forma simultánea por Hugo de Vries (Holanda), Carl Correns (Alemania) y Eric von

---

<sup>14</sup> Como lo señalan Canguilhem y Foucault, “el mendelismo no se construyó sobre tierra virgen, no abrió por si solo un espacio de representación, sino que se constituye en una estrategia de simplificación y desplazamiento exitosa de otro espacio de representación sin que la preguntas de esta última se aniquilaran” (Beltrán,2006,p.337). Sin embargo, autores como el mismo Beltrán reclaman la urgente necesidad de establecer las diferencias de la estructuración biológica del concepto de herencia con la estructura conceptual de la genética, según este autor, el concepto de herencia no es asimilable al de la genética. Por tanto es un error asumir que el concepto de herencia biológica es una especie de vaga noción común a todos los tiempos y todas las épocas, que halló su formulación correcta con el advenimiento del neomendelismo, con el cual podemos decir sin miedo a equivocarnos fue reducido e instrumentalizado.

<sup>15</sup> Específicamente el aporte de la herencia mendeliana a la teoría evolutiva es que ayuda al salvar la dificultad que esta última presenta en relación a la falta de una teoría de la herencia que pudiese explicar la reproducción, de generación en generación, de las variaciones sobre las que actúa la selección natural. La teoría ampliamente aceptada por esta época era la de la herencia mezclada y, como Darwin mismo notaba, si la herencia es “mezclada”, no es fácil explicar el fenómeno de la selección natural al multiplicar las variaciones favorables. Si existe una variante favorable ventajosa en un individuo dado, la ventaja se reducirá a la mitad de sus hijos, al mezclarse con la variante menos ventajosa presente en el otro padre. Las variantes favorables se diluirán de generación en generación (Martínez y Barahona, 1998. Historia y explicación biología. Fondo de cultura económica. México. p. 327)

Tshermak-Seysenegg (Austria) y su citación en sus propios trabajos posibilitó la generalización y aceptación de sus postulados mendelianos en las denominadas leyes de la herencia y abriría paso al nacimiento de la “*Genética*” por William Bateson en 1905<sup>16</sup>, la cual intenta explicar dos observaciones aparentemente antitéticas; que los organismos se parecen a sus progenitores y difieren de ellos.

Precisamente es en este punto, en el de la *variación* en el cual, el trabajo de Mendel tiene trascendencia y lugar en la teoría de la evolución; Darwin hizo de la variación la piedra angular de su teoría (Lewontin,1979), lo cual posibilitó posteriormente a los neodarwinistas hacer hincapié en el papel *de la herencia en la evolución*.

Mendel, diseñó un patrón matemático preciso para explicar la transmisión de las unidades de la herencia, denominadas por él como “*Factores- Faktor*” los cuales son visualizados como rasgos o “*Caracteres-Charakter*”<sup>17</sup> pero no tuvo noción de los mecanismos biológicos que intervienen en la transmisión. Así, inicialmente los denominados factores de Mendel<sup>18</sup> son entidades hipotéticas o dispositivos instrumentales que sirven para expresar las regularidades en la transmisión de los caracteres del fenotipo (Falk, 1986). Sin embargo la teoría Mendeliana aun sigue sin explicar cuáles son las entidades materiales o la naturaleza del material de la herencia, y esto precisamente lo que impulsaría los trabajos experimentales que

---

<sup>16</sup> Término acuñado a partir de la palabra griega que significa “*generar*” (Gardner y Snustad, 1998).

<sup>17</sup> Esta idea original de gen, a partir de los factores mendelianos como responsables de la transmisión de caracteres hereditarios de padres a hijos, es el significado que con mayor frecuencia se atribuye a este concepto en la historia de la Biología.

<sup>18</sup> Mendel es consecuente con su forma de pensar la “herencia” como un contenido o materia que se transmite entre las generaciones, por lo cual la herencia es vista como patrimonio heredado.

junto con los desarrollos de las técnicas de citología posibilitaría posteriores desarrollos en genética.

En 1909, que Wilhelm Johannsen's introduce el término **Gen**, junto con los de fenotipo y genotipo para diferenciar las entidades hipotéticas de Mendel (Flodin, 2009), sin embargo esta denominación solo tiene un valor semántico ya que sigue conservando el significado de los factores de Mendel.

*'The word gene is completely free of any hypothesis; it expresses only the evident fact that, in any case, many characteristics of the organism are specified in the germ cells by means of special conditions, foundations, and determiners which are present in unique, separate, and thereby independent ways - in short, precisely what we wish to call genes.. Wilhelm Johannsen's 1909 en Flodin, 2009, p. ),<sup>19</sup>*

Durante la primera década del siglo XX, los genetistas se diversificaron en varios campos de atención; los que enfocan su atención por establecer *el lugar o la estructura hereditaria*<sup>20</sup>, los que se interesan por los aspectos fisiológicos y de desarrollo asociados con los factores hereditarios y algunos pocos genetistas interesados por la evolución, entre estos últimos que encontramos a Hugo de Vries <sup>21</sup> (uno de los que redescubrió el trabajo de Mendel), William Batenson y

---

<sup>19</sup> La palabra gen es completamente libre de cualquier hipótesis, esta expresa solamente el hecho evidente que en cualquier caso, muchas de las características del organismo son especificadas en los gametos por medio de condiciones especiales, fundantes y determinantes que están presentes en únicas, distintas y, por tanto, independiente vías- en una palabra-, precisamente lo que nosotros deseamos llamar genes" *Traducción personal.*

<sup>20</sup> Durante esta primera década del siglo XX el conocimiento asociado a la naciente genética se incrementa al conocerse la relación entre la mitosis, los cromosomas y las leyes mendelianas gracias específicamente a los trabajos de Boveri y Sutton (1902 y 1993) quienes demuestran el papel de los cromosomas en la herencia y proponen la ubicación de los genes (factores de Mendel) en grupos dentro de los cromosomas del núcleo celular, hipótesis que es corroborada por Thomas Morgan trabajando con *Drosophyla ampelophila* y *D. melanogaster*, con lo cual señala a los cromosomas como portadores de los genes y con ellos de los caracteres hereditarios, estableciendo con ello la formulación de la llamada Teoría de Cromosómica de la Herencia.

<sup>21</sup> Quien en la década de 1890 introduce el concepto de mutaciones espontáneas pero continuó haciendo alusión a una evolución saltacionista y no gradual lo que generó un movimiento de adherencia a una teoría Mendeliana-mutacionista durante las primeras décadas del siglo XIX.



Wilhelm Johannsen's quienes rechazaban la selección natural plantada por Darwin, los descubrimientos de la época en citogenética originarían un debate casi irreconciliable entre genetistas evolutivos y los biólogos evolutivos propiamente dicho, aproximadamente hasta 1915.

Este debate esta principalmente asociado con el papel que desempeña la selección natural en la evolución; los primeros genetistas evolutivos proponen una nueva teoría de evolución conocida como *mutacionismo*, que esencialmente elimina la selección natural como principal proceso en la evolución. De acuerdo con De Vries y otros genetistas evolutivos existen dos tipos de variaciones en los organismos: uno consistente en la variación "ordinaria" observada entre los individuos de una especie que no tiene consecuencias ultimas en la evolución<sup>22</sup> y el otro tipo que consiste de las variaciones que surgen **Por** mutación genética: esto es por alteraciones espontáneas en los genes que ocasionan grandes modificaciones de los organismos y pueden dar origen a nuevas especies, aspecto que se contrapone al gradualismo planteado por Darwin.

*"...como la selección natural actúa solamente a través de la acumulación de sucesivas y ligeras variaciones favorables, no puede producir modificaciones grandes o súbitas; sólo puede actuar a través del pasos cortos y lentos"* (Darwin 1859, en Mayr, 2006, p )

Este mutacionismo planteado por De Vries para explicar el origen de las especies, fue rechazado por los llamados *biometristas* (biólogos evolutivos), para los cuales la selección natural es la principal causa de la evolución por los efectos

---

<sup>22</sup> Porque "...no puede llegar a traspasar los límites de la especie, incluso en condiciones de la más fuerte y continua selección" véase Mayr, 2006.

acumulativos de variaciones pequeñas y continuas, variaciones que denominaron métricas o cuantitativas porque se pueden medir. Bajo la férrea discusión entre mutacionistas y biometristas en relación si las especies aparecen repentinamente por mutaciones importantes (cualitativas) o gradualmente por acumulación de variaciones pequeñas (cuantitativas) yacía el papel de la selección natural y la herencia mendeliana.

La resolución a la confrontación entre mutacionistas y biometristas ocurrió en las décadas de 1920 y 1930 con el reconocimiento de que la herencia de las variaciones cuantitativas obedece a las leyes mendelianas: los caracteres están determinados por varios genes cada uno con un efecto muy pequeño pero medible a través de demostraciones matemáticas, con las cuales se demuestra que la selección natural actuando acumulativamente sobre pequeñas variaciones puede producir cambios evolutivos importantes en forma y función, lo que brindó una estructura teórica para que la genética se integrara a la teoría de Darwin<sup>23</sup>, lo que se constituye como la síntesis moderna de la evolución.

De acuerdo con estos descubrimientos teóricos la evolución fue definida ..” *como un cambio en las frecuencias génicas de las poblaciones, cambio producido por medio de la selección natural gradual de mutaciones aleatorias pequeñas*”, sin embargo la comprensión de dichos descubrimientos no fue posible sino hasta

---

<sup>23</sup> Dentro de este grupo de genetistas teóricos que demostraron que genes con no más que pequeñas selectivas podían , en su momento incorporarse al genotipo de la población tenemos a Ronald A Fisher, J.B.S Haldane y a Sewall Wright (Martinez y Barahona A, 1998, p. 330 y Mayr, 2006, 157)

1937 cuando Theodosius Dobzhansky explica de manera comprensible y detallada el proceso evolutivo en términos genéticos apoyándose en argumentos teóricos y evidencias experimentales, publicación tras la cual naturistas y biólogos experimentales aceptaron casi de inmediato la nueva teoría de la evolución como “cambio en la constitución genética de las especies”

**“Nada tiene sentido en Biología sino es a la luz de la evolución”  
Theodosius Dobzhansky**

Un análisis realizado por Moss, (2003, 2006), caracteriza la noción de gen que subyace en la biología evolutiva actual, tras la teoría sintética de la evolución, identificando y denominando a este gen como *Gen-P*, en la cual ***los genes se interpretan como señales que sirven para predecir rasgos fenotípicos ya que normalmente señalan una característica funcional del organismo.*** Tras ello, el gen implica un ente abstracto en el sentido que no tienen un referente molecular y espacial particular, el *gen* o los genes se constituyen en marcadores de diferencias, que dan cuenta de las diferencias entre rasgos fenotípicos, pero no contribuyen a la explicación sobre cómo se forma el rasgo.

***“ Gen-P I claim, is the sense if the gene when it is defined by a predictive relationship to a phenopyte, but Gen-P is indeterminate with respect to its material basis..” Moss, 2006 p<sup>24</sup>***

Paralelamente a los debates entre genetistas interesados en la evolución y los biólogos evolutivos, el mecanismo de la selección natural también era discutido por parte de morfólogos y experimentalistas de la biología del desarrollo del siglo

---

<sup>24</sup> Yo reclamo Gen-P, en el sentido si el gen es definido por predicción en relación a un fenotipo, pero Gen-P es indeterminado con respecto a su base material. *Traducción personal.*

XIX, quienes intentaban explicar la complejidad de la organización biológica interna centrándose principalmente en encontrar las causas próximas del desarrollo; para ellos, el *desarrollo* es un proceso de diferenciación causado por las interacciones entre diversas sustancias, tejidos y formas emergentes, por lo que conceptos como adaptación, selección, lucha por la existencia, eran completamente ajenos a la práctica habitual de los mismo, y sencillamente, no servían para explicar adecuadamente el desarrollo, por lo cual inicialmente presentaron oposición al modo de explicación principalmente historicista del darwinismo, a través de la selección natural (Azkonobieta , 2005).

Azkonobieta T (2005) plantea la existencia de dos formas fundamentales de intentar caracterizar la vida, una basada en su aspecto evolutivo denominada por algunos (externalista) y otra en su aspecto organizativo (internalista) que, en principio, no son fácilmente integrables. La visión externalista intenta comprender los sistemas vivos como producto de un proceso histórico adaptativo que puede interpretarse como el cambio de las frecuencias genéticas de las poblaciones en función de las presiones selectivas externas del entorno. La visión internalista, por su lado hereda la tradición biológica proveniente de la biología del desarrollo, la fisiología y la biología teórica, la cual considera la comprensión de la organización biológica como una condición previa necesaria e ineludible para poder entender la evolución (Varela, 2000). Una verdadera causa de la evolución debería dar cuenta de la producción de variación (Bertalanffy 1933). La evolución, desde este punto de vista, más que como un “mecanismo” generador de orden, se interpreta como

un proceso dinámico, orgánico, que emerge de la organización biológica.<sup>25</sup>, por ello, desde esta perspectiva, la selección se interpreta más como efecto que como una causa de las propiedades de los organismos.

En esta última visión dentro de la que se podría ubicar la actual biología del desarrollo, se critica el papel principal dado a los genes en la evolución, sin pretender eliminar su relevancia. Algunos biólogos entre los que podemos ubicar a Newman y Muller, están en la línea de establecer los mecanismos de control *genéricos* que habrían procedido a los genéticos en la evolución del desarrollo, mientras que otro grupo entre los que ubicamos a Gilber, Opitz y Raff (1996) quienes están en la línea del *sistema modelar* en la que proponen la existencia de varias entidades modulares que median la acción genética, tanto del desarrollo como en la evolución; dentro de la visión internalista, Moss (2003b), identifica la noción de gen que le subyace denominándola *Gen-D*, **en donde el gen es visto como un recurso para el desarrollo**, mas no señala ninguna parte del fenotipo; no es intencional, sino que se define en virtud de la secuencia de aminoácidos que intervienen en la construcción de una proteína (Azkonobieta, 2005), pero este mismo concepto es ampliado por Morange (2000), definiéndolo al **Gen-D** como una región del cromosoma en la que existen recursos que sirven de molde molecular para la síntesis de “productos genéticos”, cuya construcción es altamente compleja y dependiente de factores epigenéticos y nuevamente redefiniéndolo Moss en el 2006.

---

<sup>25</sup> La selección natural, desde este punto de vista, no tiene propiedades generativas, no es un mecanismo que produzca organización, ya que la selección actúa sobre una variabilidad previamente organizada que demanda de una explicación.

*Gene-D.. it is defined by a nucleic acid sequence that provides the template resource (or information) for some set of potential downstream polypeptide and/or RNA products. But gene-D is indeterminate with respect to phenotypic outcome just because between variable splicing, co-and post-transcriptional modification, targeting , and many other contextual factors, the some gene-D could be a contributing factor to entirely different, even antithetical, phenotypic outcomes". Moss, 2006,p. )<sup>26</sup>*

Se evidencia entonces, una tensión generada entre esas dos nociones de gen (**Gen-P y Gen-D**), la cual proviene de la tendencia de intentar conservar un concepto de gen estructuralmente estable, que dé cuenta de su transmisión y a la vez dinámica que permita dar cuenta del desarrollo (Griesemer, 2000).

Sin embargo, si el gen *debe ser estable* en la herencia (para explicar la constancia de ciertos rasgos a través de sucesivas generaciones, por lo cual no pueden cambiar en función del contexto del desarrollo) y a la vez, es responsable de la diferenciación celular (teniendo en cuenta que todas las células de un mismo organismo son equivalentes genéticamente) entonces, *los genes deben cambiar*.

*"Genes must be developmentally invariant because otherwise they could not be shown to be hereditarily stable, but they must be developmentally variable if they are to be the cause of differentiation in development. The paradox of development is the paradox of genetics" (Griesemer 2000 p. )<sup>27</sup>.*

Griesemer (2000), propone tres alternativas para solucionar la paradoja: a) mantener el concepto clásico de gen abandonando cualquier intento de explicar el

---

<sup>26</sup> Gene-D, se define por una secuencia de ácido nucleico que proporciona el molde de recursos (o información) para algún grupo de posibles polipéptido cadena abajo y / o productos ARN. Pero gen-D es indeterminado con respecto al fenotipo, sólo porque entre la variable corte y empalme, modificaciones co- y post-transcripcionales, selección, y muchos otros factores contextuales, algunos gen-D podrían ser un factor que contribuye totalmente a diferentes, incluso antitéticos resultados fenotípicos *Traducción personal*.

<sup>27</sup> Los Genes para el desarrollo deben ser invariables, porque de lo contrario no podría demostrare su heredabilidad estable, pero ellos deben ser variables al desarrollo a fin de que sean causa de la diferenciación en el desarrollo. La paradoja del desarrollo es la paradoja de la genética. *Traducción personal*.

desarrollo, b) modificar y reestructurar el concepto de gen, con el fin que éste nuevo concepto conserve la idea de gen como una unidad estable en la transmisión hereditaria pero a la vez permita explicar el papel del gen en la expresión y diferenciación o c) Reconfigurar la prioridad causal de los genes en la evolución y la definición de propiedad de invariante del desarrollo, cediéndole un mayor control explicativo, pero sin abandonar el poder explicativo del gen clásico.

Ésta última parece ser la solución tomada. Los estudios experimentales de los últimos años han evidenciado que la complejidad y organización de lo vivo no es el resultado directo del número de genes, sino de los desconcertantes mecanismos de regulación de la expresión genética en todo el genoma, por lo cual su complejidad y organización sigue siendo un misterio fascinante, máxime los resultados aportados por el Proyecto Genoma Humano (PGH), con el que pronto quedo claro que los genes aunque contiene la información para construir las piezas de un rompecabezas, no contiene la información para armarlo.

El paradigma genético<sup>28</sup> ha cambiado porque ahora se empieza a comprender que las características fenotípicas del organismo además de estar comprendidas explícitamente en la secuencia de bases de cada gen, también está contenida en la *topología* de la red genética (cómo están conectados los genes) y en su *dinámica* (qué genes se expresan en determinado momento), la cual depende de elementos como: (a) la naturaleza activadora o represora de los

---

<sup>28</sup> Plantea que la herencia viene determinada por un material informativo (genes) que se expresan para producir unas proteínas según un sistema controlador de expresión, de modo que los genes serían como los directores de orquesta de la morfogénesis y del funcionamiento de los organismos.

factores de transcripción y (b) las señales que recibe la célula de su contexto (Aldana, 2007)<sup>29</sup>.

Según esto, la propuesta desde la biología del desarrollo es estudiar la dinámica de las redes genéticas, desde este punto de vista la evolución por saltos (aunque no como se proponía inicialmente por los mutacionistas) en la que fenotipos totalmente nuevos aparecen súbitamente en oposición a la evolución gradualista en la que los fenotipos se modifican poco a poco, puede entenderse simplemente como la emergencia de nuevos atractores dinámicos<sup>30</sup> ante una reconfiguración de la red genética (Aldana, 2007).

### **Diversidad conceptual de Gen. Acercamiento histórico**

Falk R, es considerado el historiador del concepto gen. El realizó una revisión exhaustiva de las identidades y transformaciones que se le pueden reconocer al concepto. Sus escritos revelan de forma permanente, diversas evidencias empíricas que desafían el CMG y la tentativa de conservar la idea de gen como unidad de estructura y función, lo que ha conducido a una proliferación de significados del término **gen** que generan confusión semántica<sup>31</sup>. De hecho, el

---

<sup>29</sup> Se recomienda dar lectura a los experimentos llevados a cabo por Calin Guet de la universidad de Chicago, con los que demuestra que el funcionamiento celular puede cambiar drásticamente alterando conexiones dentro de una red génica. En C. Guet, Michael B. Elowitz, Weihong Hsing, Stanislas Leibler (2002) Combinatorial Synthesis of Genetic Networks. Science, Vol 296, Issue 5572, p.1466-1470. 24 May.

<sup>30</sup> Se denomina atractor dinámico al estado de expresión cíclico de una red, en el cual unos genes alcanzan un estado de expresión constante que no cambia en el tiempo, mientras que otros se siguen prendiendo y apagando pero de forma periódica generalmente una misma red genética posee varios atractores dinámicos, y cada atractor dinámico queda identificado de una forma única por el conjunto de genes que están prendidos en él. Así, en atractores dinámicos distintos, se expresan conjuntos de genes diferentes, característica que identifica a los diferentes tipos de células en un organismo.

<sup>31</sup> La *polisemia* es el fenómeno por el que una misma palabra, con un solo origen, puede tener diferentes significados, cuyo funcionamiento morfológico y sintagmático no varía (esto último quiere decir que no cambia su categoría gramatical ni las funciones sintácticas que puede desempeñar).



problema no es que existan diversos significados del término **gen**, sino que los diversos significados de **gen** y sus contextos de aplicación que no son claros y suficientemente demarcados, a lo cual, varios filósofos y científicos concuerdan en la urgente necesidad de un análisis cuidadoso para la reformulación de este concepto que se constituye fundamental para del pensamiento biológico (Griffiths, 2002; Moss, 2006; El-Hani, 2007).

A continuación se enuncia brevemente los diversos significados del término gen elaborados a lo largo del siglo XX.

#### **a. El Concepto Mendeliano De Gen:**

El descubrimiento en 1900 de la publicación de los postulados de Mendel en 1866 en *Proceeding of the Brunn Society for Natural History*, en forma simultánea por Hugo de Vries (Holanda), Carl Correns (Alemania) y Eric von Tshermak-Seysenegg (Austria) y citas en los propios trabajos de Mendel, posibilitó la generalización y aceptación de sus postulados en las denominadas leyes de la herencia y abriría paso al nacimiento de una nueva disciplina en el campo de la historia natural que sería denominada “*Genética*” por William Bateson en 1905, término acuñado a partir de la palabra griega que significa “*generar*”

Mendel diseñó un patrón matemático preciso para explicar la transmisión de las **unidades de la herencia**, denominadas por él como “**Factores**” los cuales son visualizados como rasgos o “*Caracteres*”, pero no tuvo noción de los mecanismos biológicos que intervienen en la transmisión. Así, inicialmente los denominados factores de Mendel son entidades hipotéticas o dispositivos

instrumentales que sirven para expresar las regularidades en la transmisión de los caracteres del fenotipo. La existencia de estos factores propuesta por Mendel, no hace distinguir entre fenotipo y genotipo en sentido funcional<sup>32</sup>, sino que “*los factores*” son los responsables del fenotipo a través del crecimiento. De allí que el genotipo sea asumido como un fenotipo en miniatura, en donde cada factor es responsable de un determinado componente del fenotipo<sup>33</sup>. La relación es *uno a uno* en donde un factor genético determina una característica o factor somático<sup>34</sup>.

Es solo hasta 1909 que Wilhelm Johannsen's introduce el término **Gen**, creado deliberadamente para representar una unidad, sin que ello implicase nada de su estructura o función, Johannsen's introdujo igualmente los términos de fenotipo y genotipo para diferenciar las entidades hipotéticas de Mendel (Stotzy Griffiths,2005). Es así que los genetistas clásicos tempranos del siglo XX, toman el término *gen* de Johannsen para referirse a la entidad mendeliana (*Factor*) interpretando a éste, *el gen como una entidad instrumental* que expresa regularidades en la transmisión de los caracteres fenotípicos y lo asumen como material hipotético constitutivo de la célula<sup>35</sup>.

En el trabajo original de Mendel *Versuche über Pflanzenhybriden* no se propone ningún modelo gráfico para sus unidades de herencia sino un modelo de patrón matemático *p. ej.*

---

<sup>32</sup> Es necesario clarificar que el empleo de los términos fenotipo y genotipo son indispensable hoy para establecer las limitaciones que trae los modelos de los conceptos de gen del siglo XX. Mendel empleo términos como factores y carácter que posteriormente Johannsen redefinió como genotipo y fenotipo

<sup>33</sup> No como un homonucleus sino como un mosaico partículas hereditarias (unas veces llamadas gemmules, pangenes, Unidad de factores,)

<sup>34</sup> Existen tantos factores genéticos como un organismo había caracteres. Véase Mayr, 1998

<sup>35</sup> Falk, Raphael (1986), "What is a gene?" *Studies in the History and Philosophy of Science* 17:p.133-173.

$$A + 2Aa + a$$

**Ecuación 1:** Expresión que denota combinación de caracteres para una 2da generación<sup>36</sup>. Mendel, Gregor. 1866. Versuche über Pflanzenhybriden. *Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn, Bd. IV für das Jahr 1865*, Abhandlungen, 3–47.

Patrones que posteriormente serían interpretados y Gráficados, como los encontrados en libros de texto de genética y molecular en los capítulos de Genética Mendelina y que no dan cuenta del concepto de carácter propiamente dicho sino del modelo experimental empleado por Mendel. (Susuki, *et, al.* 1996 ; Gardner, *et, al.*, 1998, Klung y Cummings, 1999) al cual dedican varias páginas de diagramación.

---

<sup>36</sup> Donde A denota una de los dos caracteres constantes por ejemplo el dominante, a, el recesivo y Aa la forma híbrida en que ambos son combinados.

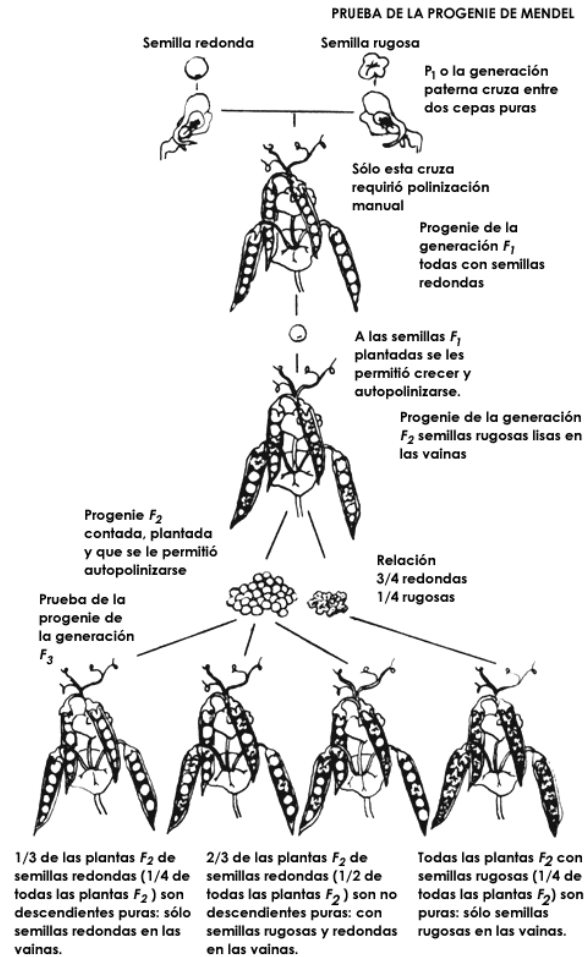


Figura 2: Experimentos de Mendel. Barahona y Piñero (1994). Genética: La Continuidad de la vida.

Existen otros modelos gráficos que intentan elaborar el concepto de función génica mendeliana como el de Gericke y Hagberg (2007), pero este modelo es una interpretación propiamente dicha de la visión mendeliana de la herencia, en él se tiene como el elemento de mayor significancia asumir el gen como una unidad de transmisión y función capaz de producir un carácter.

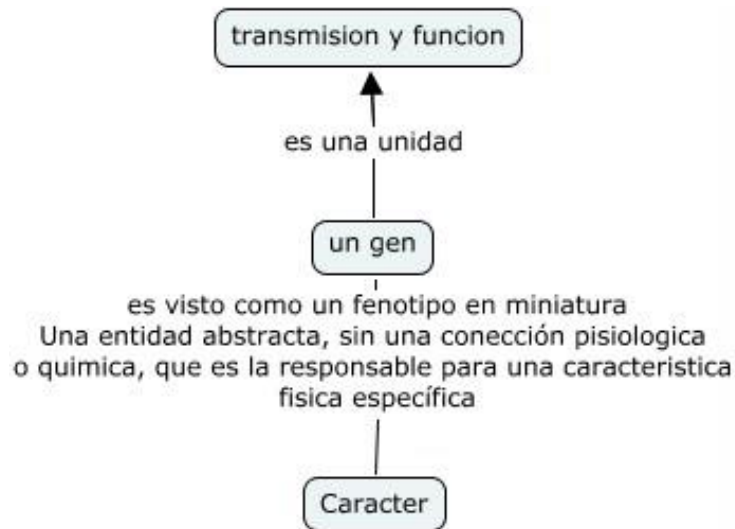


Figura 3. Modelo de función génica mendeliana. Gericke y Hagberg (2007),

A nivel conceptual es frecuente encontrar definiciones enmarcadas en la concepción mendeliana de herencia como *p.ejem*:

*“...los caracteres (asumidos como las características físicas<sup>37</sup>) están determinados por unas entidades físicas (factores o genes), que estaban presentes en los organismos en pares.....durante la reproducción sexual, los miembros de cada par de alelos se separan hacia las diferentes células reproductivas o gametas masculinas y femeninas que se fusionan para generar la descendencia”. (Gardner, et. al, 1998. p.)*

*“.. La existencia de genes se infiere observando las proporciones matemáticas precisas en las generaciones filiales derivadas de dos individuos parentales genéticamente distintos...” ( Susuki et, al..1996, p. )*

Estos dos extractos permiten dar cuenta por un lado de definición de carácter y función del mismo y por otro lado la visión lineal, causal y matematizada del fenómeno de la herencia.

Resultados de los trabajos de El-Hani (2007) establecen que concepciones de gen mendeliano y función génica mendeliana son poco frecuentes en los libros de

<sup>37</sup> El texto entre paréntesis es mío.

genética y que solo aparecen en el contexto de las descripciones de historia de la biología.

#### **b. Concepto Clásico De Gen:**

Gran parte de la investigación en genética a inicios del siglo XIX, se orientó a establecer las relaciones entre factores-caracteres empleando como modelo biológico a la mosca de la fruta *Drosophyla melanogaster*, con la cual Thomas Morgan logro en 1919 proponer la teoría cromosomica de la herencia al establecer una correlación entre los factores de Mendel y el comportamiento de bandas en los cromosomas.

Posterior al trabajo de Morgan, los genes serian reinterpretados como entidades físicas que se alinean a lo largo de los cromosomas durante la división celular, resolviendo el problema de la ubicación de los genes mas no el de ¿Cuál es la naturaleza de los genes?. Se logra establecer entonces las relaciones estructura-función, siendo ***un gen un segmento de cromosoma, que porta diferentes alelos y pueden ser analizados por sus efectos fenotípicos***; una reinterpretación del concepto gen que pasa de ser una entidad instrumental para convertirse ***en una entidad material*** (Griffiths, 2001)

Cerca de los años 40, en la cima de la investigación de la genética clásica, el gen se define operativamente con base a cuatro criterios interdependientes entre sí: la transmisión, recombinación, mutación y función génica. Criterios que a la vista dieron lugar a pensar al gen como una unidad. Siendo definido el gen

como “una unidad indivisible de transmisión, recombinación mutación y función génica” (Portin,2000),

Cada gen se supone independiente del gen vecino, definido por sus productos y ubicados en loci bien definidos a lo largo de los cromosomas. Se conocen los principios de herencia diploide y los fenómenos de poliploidia (varios genes que influyen en un solo carácter) y de pleiotropia (un solo gen afectan a varios caracteres) por lo cual se inicia una nueva forma de investigación en genética ya no basada en un principio de herencia – relación uno a uno- ó relación entre genes y rasgos (Schwartz 2000 en Gericke y Hagberg, 2007), hecho que crea confusión entre la investigación y los principios conceptuales que la direccionan. La función del gen empieza a ser comprendida en términos bioquímicos.

Al final de los años 30`s, la teoría Mendeliana y la teoría cromosomica de la herencia aun siguen sin explicar cuál es la entidad material o la naturaleza del material de la herencia, y es esto precisamente lo que impulsaría los trabajos experimentales que junto con los desarrollos de las técnicas de citología posibilitaría nuevos desarrollos a la genética y la transformación que sufriría a lo largo del siglo XX el concepto de gen dado por Johanssen's.

Gericke y Hagberg (2007), intentan elaborar un modelo función de gen clásico (**CCG**) a la luz de los desarrollos de la investigación en citogenética, los cuales se representan en la figura 4. En este modelo, Gericke y Hagberg introducen aspectos alusivos a las observaciones de comportamiento celular durante la

división celular como la recombinación incluyendo aspectos propios de las investigaciones de las décadas del 30's y 40's del efecto de los rayos X sobre los cromosomas y los cruces de mutantes identificando sus implicaciones a nivel de nuevas características y la posición a lo largo del cromosoma.

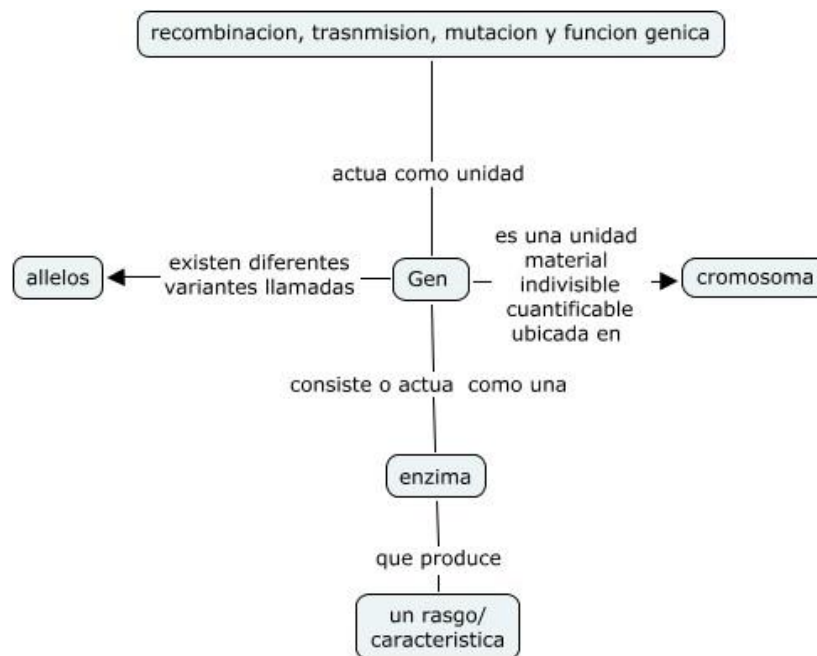


Figura 4: Modelo de función del concepto clásico de gen (Gericke y Hagberg, 2007).

### c. Concepto Bioquímico De Gen:

Los desarrollos en la genética, especialmente dados por el cambio de organismos de estudio motivado especialmente por el desplazamiento del interés en la genética por la función y la mutación hacia la función en general y de desarrollo de los procesos en particular, establecieron otros criterios para la comprensión de la función génica.



En la revisión bibliométrica realizada el primer referente al concepto gen data de 1937, en una publicación de carácter interno de la universidad de California, escrita por el profesor Richard Goldschmit (1937), en la cual el autor basándose en los datos experimentales de la época en relación a los desarrollos de la genética, realiza un acercamiento al concepto de gen como unidad de la herencia y específicamente plantea una posible hipótesis sobre cuál sería su naturaleza, contando para ello especialmente con datos de carácter citológico relacionados con el *cross-over*<sup>38</sup> de los cromosomas durante la división celular y su posible relación con los factores mendelianos; para ello hace uso de la información experimental referente a la naturaleza de los cromosomas “aun no completamente dilucidada”, y el efecto de los rayos X que inducen mutaciones fenotípicamente observables. Concluyendo que las unidades llamadas genes existen como puntos definidos en el cromosoma, unidades que pueden ser estables, identificables y que ejercen un constante efecto sobre el desarrollo del organismo y que pueden cambiar espontáneamente bajo condiciones experimentales a otras unidades estables por mutación. Asume que conocer la teoría química de la herencia permitirá una mayor comprensión de la teoría del gen; para lo cual, cree en el modelo sugerido por Dorothy Wrinch en 1935 quien propone que los genes, ubicados a lo largo de los cromosomas, serían cadenas largas de diferentes polipéptidos unidas a ácidos nucleicos así, la unión entre diferentes polipéptidos son los puntos que delimitan y podrían constituir un gen (Goldschmit, 1937). Richard Goldschmit, constituye el principal autor de oposición

---

<sup>38</sup> Entrecruzamiento

al concepto mendeliano de gen, proponiendo encaminar los estudios de la teoría del gen en relación a la química de las proteínas.

Artículos de la década de los 40's, están mucho más enfocados a trabajar aspectos de la teoría de gen, relacionando los factores mendelianos, con las evidencias experimentales realizadas con microorganismos, diferenciándola de la década de los 30's que centraron su atención en insectos como *Drosophila melanogaster* como modelo biológico.

Los trabajos de la década de los 40's centrados en los efectos mutagénicos de los rayos X sobre *Neurospora sp.*, permitieron ampliar aspectos conceptuales del gen aceptando la existencia de genes en dos formas, una dominante, y una recesiva (alelos), para lo cual asumen los genes y los alelos en términos de componentes químicos. Por ello autores como, Mirshky A,(1943)<sup>39</sup>, Hollaender A (1946)<sup>40</sup>, Beadle, (1946)<sup>41</sup>, proponen pero no prueban que los genes son de naturaleza nucleoproteica. Así; esta época se caracteriza por la simbiosis que se establece entre la genética, la bioquímica y más fuertemente por la física al enfocar los estudios experimentales en la inducción de mutaciones sobre los genes, cuyo control es susceptible de describirse en términos de reacciones químicas lo que marca el inicio de una época fuerte en la genética bioquímica. Quizás la herencia más importante de esta época sean el postulado de **“un gen una enzima”** propuesto por George Wells Beadle y Edward Lawrie Tatum (1941) a raíz de los experimentos con *Nueroespora crassa*, al establecerse la correlación

---

<sup>39</sup> Véase Mirsky a.E. (1943). Chromosomes and nucleoproteins. Advances in enzymology 3:p.1-34.

<sup>40</sup> Véase Hollaebçndr, a,(1946) Effects of ultraviolet radiation. Ans Rev. Physilal 8:p.1-16.

<sup>41</sup> Véase Beadle, George W. (1946). The gene. Procc. Of the American philos. Society. Vol 90, Nº 5. P. 422-430.

entre los genes y las enzimas mediante el estudio de rutas metabólicas implicadas en la síntesis de aminoácidos. Así el concepto clásico de gen como unidad de la herencia, que solamente abarcaba los organismos de reproducción sexual es ampliado a las otras formas vivas, como son las bacterias y hongos con la demostración en 1944, realizada por Oswald T. Avery en el Instituto(hoy Universidad) Rockefeller, que el Acido Desoxirribonucleico (DNA por sus siglas en Ingles) es la sustancia de la cual los genes están hechos (Falk, 2002).

Beadle y Tatum recibieron el Premio Nobel en 1958 por sus trabajos con los mutantes nutricionales de *Neurospora crassa* y por la formulación de la Hipótesis "**un gen - una enzima**". *Esta hipótesis dice que existe una relación entre los genes y las enzimas que gobiernan los pasos metabólicos, de manera que la alteración en un **gen** produce el bloqueo de un determinado paso metabólico que está controlado por un enzima.* Esta hipótesis se basa en el siguiente modelo de relación entre el genotipo (los genes) y el fenotipo (rasgos característicos de un individuo).

- Los rasgos característicos de un individuo están determinados por el fenotipo de las distintas partes que lo componen.
- El fenotipo de las distintas partes que componen un individuo está determinado a su vez por el fenotipo de sus células.
- Las características de una célula (su fenotipo) a su vez están producidas por su metabolismo interno, que está controlado por las enzimas que intervienen en los distintos pasos metabólicos.

- La función de las enzimas depende de su estructura tridimensional que está determinada por su estructura primaria o secuencia de aminoácidos.
- Las proteínas estructurales y las enzimas de las células están determinadas por el genotipo (los genes) de las células.
- Los genes son los responsables (llevan la información) para la secuencia lineal de aminoácidos de las proteínas y enzimas, determinando en última instancia y a través de su interacción con el ambiente los fenotipos (rasgos característicos de un organismo).

Esta hipótesis fue y aun se considera esencial en investigaciones sobre genes microbianos, sin embargo no logró explicar en su momento la naturaleza de las vías bioquímicas. Si bien, la hipótesis de Beadley Tatum aportó información sobre la bioquímica y la genética molecular, sus conclusiones empleaban herramientas conceptuales de la genética clásica (Beurton, Falk y Rheinberger, 2000)

El modelo de función génica clásica es ampliado por el concepto bioquímico de **gen** pero conserva su visión de gen como unidad determinística para la producción de una enzima o proteína específica que tenía implicación en una ruta metabólica.

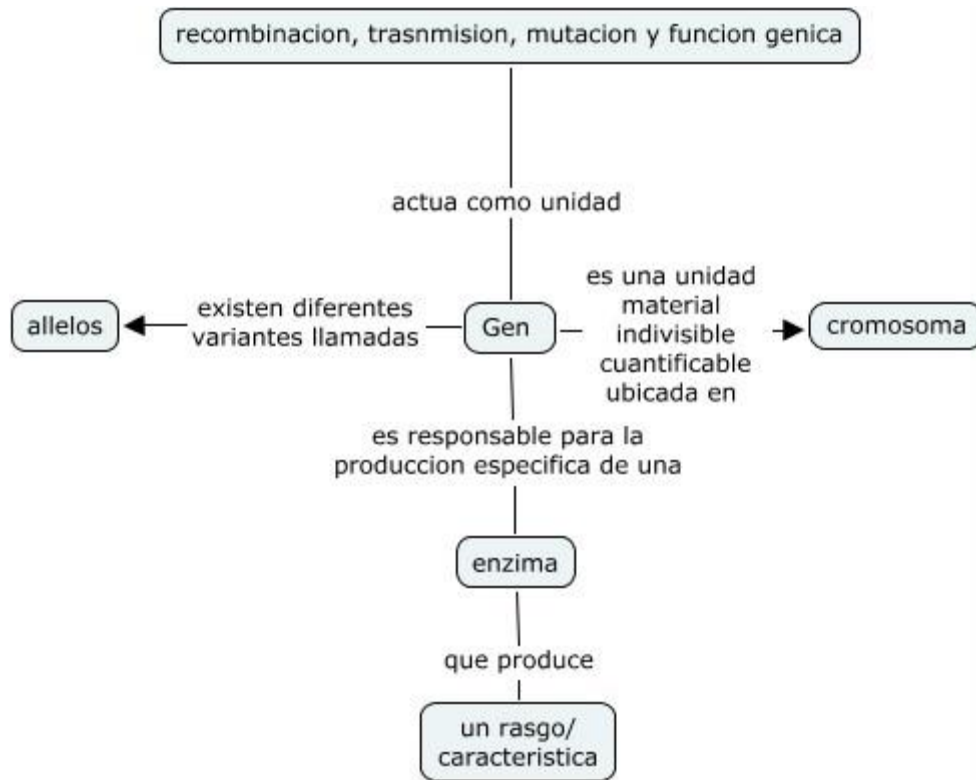


Figura 5: Modelo de Función del concepto bioquímico de gen (Gericke y Hagberg, 2007).

#### d. Concepto Neoclásico De Gen:

De la década de los 50`s se ha logrado obtener gran cantidad de publicaciones en donde se evidencia una notable orientación hacia el conocimiento del mecanismo de acción de los genes, principalmente empleando como material biológico microorganismos tipos virus, hongos y bacterias junto a los nuevos desarrollos traídos desde la física a la investigación en genética como la cristalografía de rayos X, electroforesis y electrofisiología. Las preguntas orientadoras de esta época básicamente son relacionadas a explicar los mecanismos químicos que

permiten la estabilidad<sup>42</sup> y función del gen<sup>43</sup>, el papel funcional de los pseudoalelos<sup>44</sup>, estableciendo relaciones entre los mecanismos de acción, el espacio y la función del gen. Sin embargo, el descubrimiento definitivo que materializó la **concepción molecular del gen, (CMG)** y marcó la transición entre la genética y la biología molecular, fue el descubrimiento en 1953 de la estructura atómica del ADN por parte de Watson y Crick.

Con la dilucidación de la estructura del ADN, la búsqueda de la base material de la herencia llegó a su fin y se dio puerta abierta a otras preguntas de índole más fisiológica referidas a la función del gen y su papel en la ontogenia y la fisiología. En esta visión de ADN como el genotipo que sirve como un conjunto de instrucciones, la atención se desplaza hacia el gen como una partícula que consta de códigos e información. Se da lugar a una nueva era en la biología molecular con especial atención a los términos de información, código y de programa que empiezan a ser populares en la genética molecular, estableciéndose dos dimensiones para estos dos conceptos: «el del programa de desarrollo incluyendo la totalidad de las células” "y" el programa genético explícitamente identificados con el genoma”; sin embargo en los años 70`s el programa para el desarrollo derrumbó el programa genético ya que este último alimentaba la creencia determinista del desarrollo dándole el papel

---

<sup>42</sup> Véase A Lindergren, Carçarl C, (1956). Stability Of The Gene. *Science, New Series*, Vol 124, Nº 3210 (Jul 6,1956) p 26-27.

<sup>43</sup> Véase A Goldschmidt, Richard, (1953) The Theory Of The Gene. *The American Naturalist*. Vol LXXXVII, Nº 833, March-April.p 119-123.

<sup>44</sup> Véase A Green,M., (1955) Pseudoallelism And The Gene Concept. *The Americam Naturalist*. March-April., Vol LXXXIX. Nº 845. p 65-71.

protagónico al ADN y así, la necesaria dependencia de los genes en su contexto celular fue fácilmente olvidado (Keller F.,2000).

La visión neoclásica del gen llegó a su máximo nivel, alrededor de los años 70`s al declararse que el gen o cistron, es un tramo contiguo de ADN que es transcrito como una unidad en ARN mensajero, que codifica un solo polipéptido (Portin, 1993).

Los experimentos que condujeron a establecer en concepto molecular de gen fueron realizados por Seymour Benzer en 1955 con mutantes de lisis rápida del fago T4. a través de los cuales Benzer propone la separación de conceptos de cistrón, mutón, en la definición teórica de gen lo que ha demostrado ser muy útil; Así, el cistrón es equivalente a un gen (una cadena de ADN) y mutón, equivalente a una única par de base en la estructura de ADN demostrando que un nucleótido es la unidad más pequeña de material genético que puede dar lugar a un fenotipo alterado o ser separada de otras unidades de recombinación. (Carlson 1991, en Gericke y Hagberg, 2007).

A partir del conocimiento de que los genes son segmentos más o menos largos de ADN y de que los genes se expresan dando lugar a polipéptidos (teoría un gen – una enzima) se planteó de nuevo el concepto molecular de gen y, se llegó a la conclusión de que el gen seguía siendo la unidad de función, pero el gen dejó de ser la unidad de mutación y la unidad de recombinación, siendo estas dos

últimas un par de nucleótidos y donde basta un cambio en un solo par de nucleótidos para que se produzca una alteración en el fenotipo de un individuo<sup>45</sup>.

En este modelo, las características, y el fenotipo a un nivel macro no son ya un problema en la definición de los genes. El gen es visto aún como una unidad, *un cistrón*, con una ubicación a lo largo de la hebra del ADN en el cromosoma, éste sufre procesos de transcripción y traducción que conducen a la producción de una proteína o polipéptido. En lugar de las explicaciones que se dan en el nivel micro y el sub-nivel molecular y celular. La información va en una la dirección de ADN a ARNm a polipéptidos.

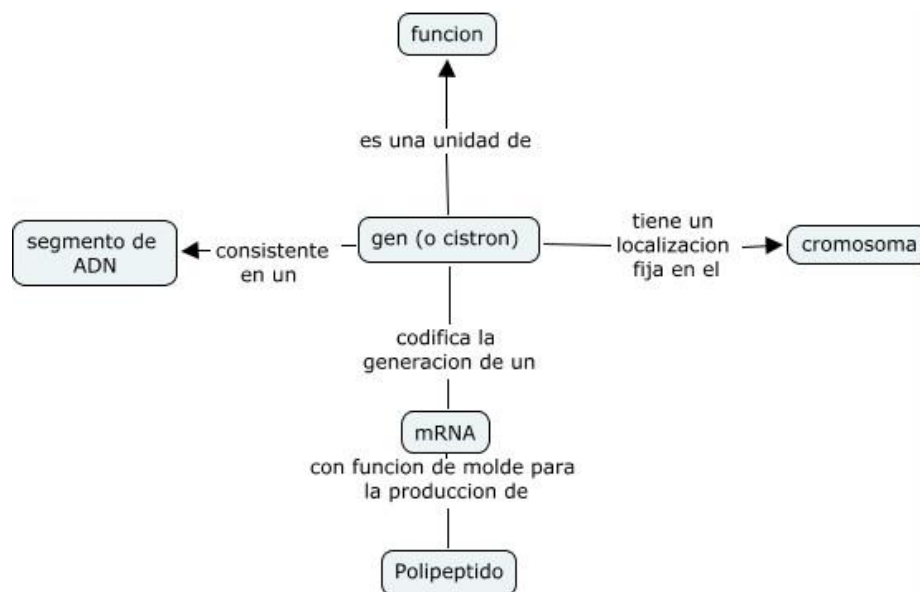


Figura 6. Modelo de función del concepto neoclásico de gen. Gericke y Hagberg (2007).

### e. Concepto Moderno De Gen:

El aporte dado por Watson y Crick (1953), marca la *concepción molecular clásica de gen como una serie de nucleótidos inmediatos* cuya sucesión corresponde a

<sup>45</sup> Información Obtenida En [Http://www.Ucm.Es/Info/Genetica/Grupod/Gen/Gen.Htm](http://www.Ucm.Es/Info/Genetica/Grupod/Gen/Gen.Htm). Recuperada 20/08/08. 2:12pm



una cadena de polipéptidos de amino ácidos. Sin embargo los desarrollos posteriores a la década de los 50`s principalmente durante los años 70`s al reconocerse funcional y espacialmente que un gen no necesariamente posee secuencias continuas, única dirección, presencia de regiones reguladoras, codificadoras y de terminación, intrones, exones, transposones, familias génicas, combinaciones de marcos de lectura, splicing alternativo, fenómenos de poliadenilación, potencializadores marcarían la duda sobre el paradigma de la época de “*Un gen una enzima*” y abriría paso para reconocer que un gen es una entidad mucho más flexible, un gen no es la unidad material o instrumental de la herencia y como Portin resume: “...*El gen ha dejado de ser un punto fijo en el cromosoma, definida por prueba cis-trans y que elabora un único ARN mensajero..*”. Por el contrario, la mayoría de los genes eucariotas consisten en secuencias de ADN divididas que a menudo producen más de un RNAm por medio de sistemas complejos de promotores y/o splicing alternativo como se ilustra en el modelo representado en la figura 7 (Portin, 2000; El- Hani, 2006). Así en una visión moderna la función de gen es mucho más abierta y compleja; No existe ya una verdad y una descripción general del gen sino que toma un significado diferente para los distintos científicos. ", el gen es una entidad, un segmento definido por la necesidad de experimentación individual, “*un gen es una entidad nominal*” como lo ha definido el historiador Ráphael Falk, un **gen** puede tener una existencia temporal y discontinua.

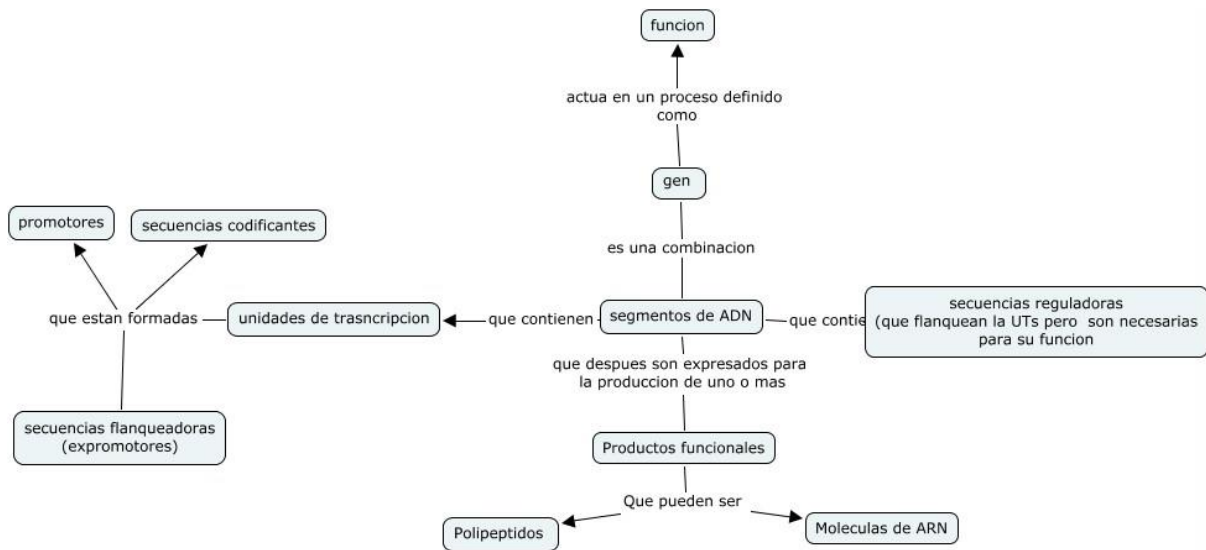


Figura 7. Modelo de función del concepto moderno de gen. Gericke y Hagberg (2007).

### Propuestas para la resolución a la crisis del concepto gen:

Ante lo que historiador Raphael Falk, ha denominado “*concepto en tensión*”, con respecto al **Gen** se han optado por diversas alternativas para responder la pregunta *¿Qué es un gen?*. Falk sugiere cuatro posibles alternativas a la aparente fragmentación del concepto molecular de gen: (i) la respuesta puede ser abstracta y estar fuera de las complejidades de la biología molecular definiendo los genes en términos del papel que desempeñan en la evolución. (ii) Seguir buscando una definición estructural de los genes a nivel molecular, (iii) Buscar el papel funcional del gen en la Biología Molecular del Desarrollo, (iv) Tratar a los genes como entidades operacionales genéticas, definidas por los experimentadores, de tal forma que el concepto se adapte al contexto, lo que él ha denominado *gen nominal*.

Otra alternativa es la de identificar y demarcar los conceptos de gen. *p.ejm;* Griffithsy Neumann-Held (1999) intentaron organizar la diversidad de conceptos de gen y proponen distinguir entre el concepto de *gen molecular* y *gen evolutivo*, asumiendo la conceptualización dada por Beurton Falk y Rheinberger(2000) en el cual un *gen es una pequeña colección de elementos génicos que subyacen a las simples diferencias adaptativas entre organismos sobre la cual actúa la selección natural*, definición que Richard Dawkins (1976) retoma para su definición del concepto de *gen evolutivo* y que no puede ser definido por su estructura molecular y poderes causales, pero es una pieza de ADN que tiene replicación diferencial como resultado de la selección natural. *El gen molecular* a su turno es una secuencia de ADN que codifica para un polipéptido o ARN, concepto que posee multitud de problemas a la luz de las evidencias empíricas actuales de la biología molecular enunciadas anteriormente.

Griffithsy Karola Stotz (2001) por su parte, realizaron una identificación de algunos de los diversos conceptos de gen a la luz de la historia y de los desarrollos actuales de la biología molecular caracterizando cinco diferentes conceptos de gen; *gen instrumental*, *gen material*, *gen clásico molecular*, *gen moderno* y *gen nominal*<sup>46</sup> siendo este último su propuesta final al asumirse los genes como *dispositivos útiles* cuya similitud al estereotipo de gen le ha proporcionado forma con utilidad pragmática aceptada por la comunidad científica en determinado contexto a la cual filósofos de la biología molecular como Rheinberger se adhieren.

---

<sup>46</sup> Descritos en el apartado anterior.

Otras conceptualizaciones de gen han sido proporcionadas por Pardini y Guimares (1992, en El- Hani, 2007) quienes proponen el concepto de *gen sistémico* definiendo este como “...*la combinación de uno o más secuencias de ácidos nucleicos (ADN o ARN), definidas por el sistema (que en la célula, interactuando con el ambiente o el ambiente solo, en sistemas subcelulares o celulares ) corresponden a un producto (RNA o polipéptido)* o la última propuesta realizada por Pearson en su publicación en la revista *Nature* en la cual sostiene que *un **gen** puede ser definido como una región localizable de secuencia genómica, correspondiente a una unidad de herencia, que está asociada con regiones reguladoras, transcripcionales y/o otras regiones de secuencia funcional* (Pearson, 2006). Estos intentos por reconceptualizar el concepto evidencian una nueva complejización del término al tener en cuenta las relaciones que dependen del contexto celular; sin embargo pareciese que ninguno de todos estos intentos de redefinir el concepto finalmente, es consecuente con su utilidad pragmática.

Gray R (1992) y Neumann Held (1999) por su parte, a la luz de los avances empíricos argumentan que el concepto de gen ha muerto, mientras Evelyn Fox Keller (2000) y Lily Kay (2000 en Knight, 2007), sugieren que es tiempo de forjar nuevas palabras y dejar a un lado la búsqueda del concepto gen, describiendo que el concepto *gen* en biología tiene su origen más en factores culturales e históricos que en factores empíricos y que su fin está cerca, argumentos que han sido fuertemente convertidos por Water (2004) y Knight (2007), para quienes el concepto *gen* sigue siendo útil en las investigaciones científicas y afirman que los informes sobre su muerte son exagerados.

El esfuerzo de redefinir o reconceptualizar el concepto gen ha sido criticado, por algunos filósofos y científicos quienes coinciden que la unificación en un solo término de toda la diversidad que encierra los conceptos de **gen** puede ser un objetivo equivocado (Moss, 2006), así *p.ej.* Rheinberger (1996) argumenta que los *genes son objetos epistémicos* y por ello derivan su significado de las operaciones experimentales en las que están encrustadas, según esto, el concepto de *gen* de Rheinberger posee un alto valor transicional ya que los científicos lo pueden mover de un contexto a otro. Luego si se analiza el concepto no se necesita buscar un set de condiciones necesarias y suficientes para definir los límites del concepto gen, de igual forma, la conceptualización de los científicos según Rheinberger no siempre está adaptada a su nicho epistémico y una única forma de definición rara vez ayuda a la ciencia, a lo cual Griffiths (2002) plantea que sería pertinente considerar a los *genes como entidades dinámicas* que emergen en un contexto epistémico y pragmático.

Simultáneamente están las propuestas de Griessemer J(2000)<sup>47</sup> que si bien no surgen de las reflexiones de biología molecular en torno al concepto *gen*, si se elaboran desde la *evo-devo* y que asumen una posición con respecto a ellos, al otorgarles un papel fundamental y estableciendo una necesidad de cambio conceptual que sortee las dificultades derivadas de la separación de los roles epistémicos del gen que derivaron en los dos tipos diferentes conceptos históricamente empleados en biología; el **Gen-P** ( o gen como determinante del

---

<sup>47</sup> a) mantener el concepto clásico de gen abandonando cualquier intento de explicar el desarrollo, b) modificar y reestructurar el concepto de gen, con el fin que éste nuevo concepto conserve la idea de gen como una unidad estable en la transmisión hereditaria pero a la vez permita explicar el papel del gen en la expresión y diferenciación o c) Reconfigurar la prioridad causal de los genes en la evolución y la definición de propiedad de invariante del desarrollo, cediéndole un mayor control explicativo, pero sin abandonar el poder explicativo del gen clásico

fenotipo o de las diferencias fenotípicas) y **Gen-D** ( o gen como recurso del desarrollo que es en si mismo indeterminado por el genotipo), conceptualizándolos a partir de sus efectos fenotípicos mediante redes de interacción epigenético.

Así, finalmente las opciones que podría establecer para la resolución del problema ¿Qué es un gen? desde el análisis empírico, semántico e histórico son básicamente tres: i) identificar los diversos conceptos existentes y demarcarlos respetando su valor epistémico, ii) Dejar a un lado la búsqueda del concepto y elaborar nuevas palabras, y iii) Tratar de elaborar una conceptualización más amplia y flexible que dé cuenta de la complejidad genómica desde la biología del desarrollo, molecular y evolutiva, siendo esta última la opción que parece ser la más aceptada.

### **Entretejiendo Ideas con relación a la diversidad conceptual de gen.**

En un primer acercamiento de tipo histórico al tema, hemos podido detectar un problema relacionado con la eficiencia explicativa del concepto gen. El problema, es que a pesar de la diversidad conceptual de gen, predomina el empleo hegemónico del concepto clásico molecular, al cual se le ha otorgado el mismo sentido y significado tanto en biología evolutiva como en biología funcional. Lo anterior quizá es consecuencia de la predominancia del valor empírico de este concepto en la investigación, sobre su valor heurístico, asunto que desde la historia y epistemología actual del concepto resulta inapropiado y epistemológicamente errado.

Ante el problema de la diversidad conceptual de gen existen dos posiciones dispares, una liderada por algunos biólogos y otra por los denominados epistemólogos de la biología. Entre los primeros hay quienes ven la diversidad de gen como una limitante, pero afirman que la situación no es insoluble. La solución radica en la reelaboración del concepto o elaboración de un nuevo término alternativo a gen, que sea lo suficientemente flexible, amplio y práctico para que pueda ser usado en cualquier contexto de la biología.

Los epistemólogos por su parte, niegan la anterior alternativa, con la propuesta del abandono a la búsqueda de una resignificación al concepto, abrazando una aproximación más filosófica al problema, desde el respeto por el nicho epistémico de cada concepto de gen. Es esta última propuesta a la cual pretendemos acercarnos en el ámbito de la enseñanza de la biología, tomando como referencia la noción de concepto como lo plantea Lecourt (1978), Rheinberger (1996) y Griffiths(2002) Desde esta opción, la enseñanza de algunos conceptos biológicos polisémicos como el de **gen** implicaría el asumirlos no como unidad sino como **objetos epistémicos**, lo que implica en el maestro un conocimiento histórico y epistemológico de su devenir para plantear estrategias de enseñanza eficaces.

Frente a la diversidad conceptual de gen, entonces reconocemos que el desarrollo histórico de la biología tiene elementos epistemológicos que deben ser considerados en la enseñanza de los conceptos, y este hecho es lo que identifica su enseñabilidad (Claret, 2003)

El concepto gen tuvo reconceptualizaciones a través de la historia derivadas de los campos de aplicación en el cual tuvo incidencia sobre todo en el campo de la Biología molecular, pero estas re conceptualizaciones se quedaron a nivel celular para la comprensión de su estructura, regulación y control, sin mayor incidencia al poblacional o su función dado los principios epigenéticos de muchos de ellos, viéndose que en este último nivel la noción de gen clásico molecular aun no es suficientemente útil. Lo anterior nos lleva a pensar que lo más eficiente a nivel de tratar de comprender la polisemia del concepto no es su acercamiento histórico sino su acercamiento epistemológico, para lo cual asumimos la perspectiva de Moss(2006), de **gen P y Gen D**, para lo cual es importante comprender cuál ha sido el desenvolvimiento de éstos a través de la Historia (Keller, 2000)



***¿Cómo emplear un mismo concepto de gen que sea estable para explicar la herencia y a la vez dinámico para explicar el desarrollo y que simultáneamente posea validez dentro de marco teóricos diferentes<sup>48</sup>?***

Pretender unificar estos dos atributos en un solo concepto constituye según Flogle (2000) un imposible sin que se forme una inconsistencia interna, constituyéndose esta situación en un puente roto para la explicación en biología evolutiva y biología del desarrollo pero que es imperceptible para muchos biólogos.

Y sin embargo, a pesar de los argumentos que soportan la indeterminación teórica o una única conceptualización de gen, esto no es excusa para el no abordar su problemática conceptual.

Por lo anterior, se considera necesario generar conocimiento a partir de las reflexiones en torno al concepto gen, desde el ámbito histórico y epistemológico para auscultar las posibles implicaciones educativas para la solución de algunos problemas de aprendizaje y como contenido mismo de enseñanza.

Conocer y comprender el origen, estructuración, dinámica y diversificación del concepto **gen** a través de su desarrollo histórico visto desde la perspectiva Canguilhemiana permitirá registrar aspectos de su entorno conceptual y extraer

---

<sup>48</sup> Cuando hablamos de marcos teóricos diferentes nos referimos a los marcos que determinan y delimitan la biología del desarrollo y la biología evolutiva en referencia a Mayr (1992).

algunos de los elementos explicativos que deberían privilegiarse en su enseñanza<sup>49</sup>.

En este sentido, se plantea como *problema de investigación* en este trabajo que El no reconocimiento de la epistemología e historia del concepto gen, imposibilita desarrollar estrategias de enseñanza que atiendan la polisemia, los alcances y limitaciones del concepto, teniendo en cuenta el campo en el cual éste adquiere su significado (biología evolutiva y biología del desarrollo).

En consecuencia, el objetivo general de la presente investigación es plantear un modelo de enseñanza del concepto gen centrado en su historia y epistemología. Para este objetivo es necesario realizar los siguientes objetivos específicos:

1. Establecer los referentes históricos y epistemológicos del concepto gen que constituyan el referente teórico con valor educativo, para la construcción de un modelo de enseñanza del concepto.
2. Analizar las representaciones del concepto GEN, que poseen profesores y estudiantes universitarios de biología en cinco programas de formación de licenciados en biología en Colombia a través de un diseño metodológico que incluya métodos cuantitativos y cualitativos.

---

<sup>49</sup> Así, la estructuración histórica del concepto gen que se pretende en este documento tiene como fondo las palabras de Grene, (en López, 2005) "*la historia de un concepto ofrece, la posibilidad de revelar un tramado complejo que nos lleve a explorar las articulaciones que dicho concepto tiene en los espacios sociales, históricos e ideológicos más amplios*", sin pretender hacer una interpretación de la misma.

3. Analizar el contenido relacionado con la conceptualización de Gen, en cuatro libros de texto de Genética general o básica, de carácter universitario, ampliamente utilizados, empleando como criterio la Historia y epistemología del concepto.
4. Generar una estructura teórica para la enseñanza del concepto gen, basado en todos los objetivos anteriores.

Teniendo en cuenta que un referente para la enseñanza y aprendizaje del concepto gen es el empleo de libros de texto de genética de carácter universitario, los cuales son orientadores de las estructuras curriculares en los cursos de educación superior, este material debe ser incluido dentro de la investigación como fuente de información en relación a las actuales propuestas de enseñanza muy relacionadas con la secuencia de contenidos y actividades que presentan.

Por otra parte se hace necesario indagar las representaciones de los profesores universitarios y estudiantes de licenciatura en Biología en relación al concepto gen teniendo en cuenta tres aspectos esenciales de las representaciones; En primer lugar, cuando se asume la representación de un concepto se hace desde un referente teórico-epistemológico. Segundo, es posible que no reconozca su propia representación y Tercero, la representación que posee el profesor del concepto a enseñar determina de muchas formas su intervención en el aula; esto implicaría la necesidad de conocer las representaciones del concepto gen tanto en

estudiantes como profesores para identificar que tanto éstas de acercan o alejan de los desarrollos histórico-epistemológicos del concepto gen.

Si esto es así, conocer y comprender las representaciones acerca de un contenido biológico o concepto no es tarea fácil, pero, constituye un referente importante para la formación de profesores y mejora de la calidad de los procesos de enseñanza. Sin embargo el interés de la presente investigación no se queda solo en identificar las representaciones de los profesores y estudiantes, los referentes en libros de texto *sino en el planteamiento de una estructura teórica para su enseñanza*. Por lo anterior, estaría justificada la pregunta de investigación ***¿cómo la historia y la epistemología pueden contribuir a la construcción de una estructura teórica para la enseñanza del concepto gen?***

Consideramos que la investigación relacionada con historia y epistemología del concepto para construcción de una estructura teórica para su enseñanza, constituye un aporte importante para el planteamiento de mejores estrategias de enseñanza,

## **SEGUNDA PARTE**

### **MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

En esta segunda parte del documento se presenta el enfoque metodológico y se describe la metodología empleada en la investigación así como sus fases o etapas.

## 2.1. Diseño Metodológico De La Investigación

### Hipótesis Y Fases De La Investigación De La Investigación

El problema planteado permite establecer que quizá el mejor programa de investigación a seguir es el lakatosiano<sup>50</sup>, ya que a través de este podemos construir una guía heurística que permite corroborar ó refutar la hipótesis central de investigación, la cual constituye el núcleo duro de nuestra teoría, la cual está planteada desde una perspectiva Histórica y Epistemológica.

Por lo anterior, la ruta metodológica está planteada en forma de tareas que conforman juntas un sistema ó cinturón protector para la hipótesis principal. Las hipótesis auxiliares se han elaborado a modo de pregunta específica (p. 106), en el sentido dado por Meinardi y Revel (2000), quienes definen hipótesis “como una respuesta a una pregunta”.

En relación a ello: La hipótesis central formulada a modo de pregunta es:

***¿Cómo la historia y la epistemología del concepto gen pueden ser empleadas como referentes para la propuesta de enseñanza del gen?***

Dada la implicación didáctica del problema, por las relaciones que se establecen entre el estado actual del concepto como contenido científico (*al que denominaremos Conocimiento Histórico y Epistemológico del Concepto*), las

---

<sup>50</sup> Metodología de los programas de investigación (PIC), en donde el PIC consiste en una sucesión de teorías relacionadas entre sí, de manera que unas se generan a partir de las anteriores. Estas teorías que están dentro de un PIC comparten un núcleo duro o central.

representaciones de gen que poseen profesores de biología y de estudiantes así como el análisis de textos de enseñanza de la genética; se ha planificado una serie de tareas que involucran técnicas de investigación de carácter mixto (cualitativa-cuantitativo), orientadas a poner a prueba cada una de las siguientes hipótesis auxiliares planteadas; las hipótesis constituyen las tareas o fases a desarrollar del trabajo de investigación.

1. **¿Cuál es la diversidad conceptual de gen desde el referente histórico y epistemológico?** Establecer los referentes históricos y epistemológicos del concepto gen que constituyan el referente teórico con valor educativo, para la construcción de un modelo explicativo de enseñanza del concepto. El desarrollo de esta pregunta de investigación se desarrolla en la primera parte del presente documento en la sección 1.6 y 1.7.
2. **¿Cuáles son las representaciones sobre gen entre los profesores universitarios y en estudiantes en programas de formación de licenciados en biología?** Analizar las representaciones del concepto GEN, que poseen profesores y estudiantes de programas de formación de licenciados en biología en Colombia a través de un diseño metodológico que incluya métodos cuantitativos y cualitativos.
3. **¿Cuál es el concepto gen tratado en libros de texto?** Analizar el contenido relacionado con la conceptualización de Gen, en tres libros de texto de Genética general o básica, de carácter universitario, empleando como criterio la Historia y Epistemología del concepto.
4. **¿Cómo integrar los referentes HyE del concepto gen, las representaciones y análisis de libros en el planteamiento de una**

***estructura teórica para su enseñanza?*** Generar un planteamiento teórico para la enseñanza del concepto gen, basado en todos los objetivos anteriores.

Adelantar las tareas anteriores constituye una oportunidad de reflexión en relación a la implicación de la HyE en los procesos de formación docente y una línea de trabajo e investigación en la planificación de las secuencias de enseñanza, la organización y presentación de contenido tanto de aula como en libros de texto.



## 2.2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presenta cada uno de los resultados encontrados y los análisis realizados a las preguntas dos, tres y cuatro planteadas en el diseño de la investigación. Para ello se siguió el modelo lakatosiano de dar respuesta a las preguntas (Cinturón de hipótesis) que se constituyen en las tareas realizadas a lo largo de la investigación. A través de la respuesta y análisis a cada pregunta se representa el esquema seguido como propuesta para la construcción de un modelo de enseñanza basado en la HyE que pueda tener incidencia en la formación de docentes, secuencias de contenido y elaboración de libros de texto.

### ***2.2.1. ¿Cuáles son las representaciones sobre gen entre los profesores universitarios y en estudiantes en programas de formación de licenciados en biología?***

Las investigaciones en la historia de la polisemia del concepto gen nos ha demostrado que existe hegemonía en el manejo e interpretación del concepto clásico molecular de gen. Comprender si esta hegemonía pueda tener base en los actores de la enseñanza es importante para establecer mecanismos de ruptura y propender una enseñanza más apropiada. Conocer las representaciones del concepto gen en docentes y estudiantes es un primer paso a identificar los aspectos alusivos al concepto más comunes en estas poblaciones y que puedan estar constituyéndose en obstáculos para la comprensión de la polisemia. Para

identificar estas representaciones se tuvo en cuenta la definición, la utilidad, las características y el modelo de concepto **gen P y gen D** que se extrajo de la revisión histórica –epistemológica.

Para identificar las representaciones del concepto, se estableció el cuestionario como la técnica más apropiada para la obtención de datos, en relación a las representaciones del concepto gen que poseen profesores y estudiantes de programas de formación de licenciados en biología en Colombia a través de un diseño metodológico que incluyó métodos cuantitativos y cualitativos de análisis.

La razón de la utilización de los cuestionarios como instrumento de recogida de datos es su ventaja de permitir el anonimato en relación a las opiniones garantiza datos de un número amplio de sujetos (Molina, Martínez, Mosquera y Reyes. Sf)

El cuestionario constituye una batería de preguntas sobre las cuestiones que se querían investigar acerca de las representaciones de concepto gen en Profesorado Universitario de programas de Formación de maestros de pregrado a nivel nacional y en estudiantes de licenciatura en Biología.

El cuestionario se diseñó y validó siguiendo la teoría de facetas con la cual se delimito la investigación, el contenido y se generaron las preguntas de investigación que eran pertinentes a la realización del cuestionario. Con respecto a esto, se delimitó al relevamiento de las representaciones del concepto gen desde el referente exclusivamente epistemológico, es decir desde los dos marcos

conceptuales desde los cuales Moss plantea el concepto de **gen P y gen D** (Ver anexo 1).

Como método formal de investigación se empleó la Teoría de Facetas (TF) descrita por Páramo (2008), que permite valorar en una escala cualitativa las respuestas y si estas corresponden a los propósitos de la investigación. La TF implica una estructura compleja de correlación de variables.

La teoría de facetas ha sido definida como una aproximación de tipo metateórico y metodológico que permite guiar un proceso de investigación (Páramo, 2008). En la teoría de facetas se diseñan de antemano los componentes conceptuales o facetas fundamentados en la revisión del estado del arte, con lo cual las facetas son las categorías conceptuales que describen un componente discreto de un objeto particular. A su vez, las facetas poseen categorías de clasificación denominadas elementos de la faceta. Los elementos de la faceta se refieren a los diferentes valores que describen las variaciones de cada faceta. Se pueden describir tres tipos de facetas: Facetas de contexto, referidas a la población de sujetos objeto de estudio. Facetas de Dominio las cuales describen los que puede considerarse el cuerpo del área de interés o trabajo y las facetas de rango, que describe las posibles respuestas a los ítems generados por las facetas de dominio.

Para el diseño de las facetas de una investigación se opta por formular una frase de representación denominada "**Frase map**" la cual ayuda a estructurar y resumir la investigación. La frase map resume el diseño de la investigación proporciona posibles las relaciones entre las principales facetas y sus elementos utilizando

conectores del lenguaje común permitiendo con ello generar frases o preguntas para un cuestionario.

Un concepto básico para el diseño de los cuestionarios siguiendo la TF es el de perfil, el cual representa un ítem posible en relación a dominio de interés, Un perfil resulta de tomar un elemento de cada faceta de dominio. El conjunto posible de ítems constituirá el universo posible de perfiles o afirmaciones que darían lugar al cuestionario.

Partiendo de lo anterior se diseñó la siguiente frase map

***¿Cuáles son las representaciones sobre gen entre los profesores universitarios y en estudiantes en programas de formación de licenciados en biología?***

Para ellos se establecieron dos facetas de dominio: La faceta de contexto y la faceta de rango común:

Conceptualiza (Faceta de contexto)

A1. Definición

A2. Función

A3. Modelo

A4. Utilidad

A5. Estructura y organización

Desde la nociones de Gen-P, Gen-D, enunciado de tipo Mixto o indeterminado.

B. Faceta de rango común

B1. Completamente en desacuerdo

B2. En desacuerdo

B3. Parcialmente en desacuerdo

B4. De acuerdo

B5. Completamente de acuerdo

B6. No sabe o no responde

El cuestionario fue validado. Para determinar si los enunciados son apropiados a los contextos se tuvo en cuenta el consenso establecido por un grupo de tres

expertos en el campo de la genética y la evolución; biología molecular y, fisiología quienes le asignaron identidad de **Gen P**, *identidad de Gen D* o establecieron si el enunciado es de carácter mixto; éste último corresponden a enunciados indeterminados pero de uso común en expresiones que pueden denotar una definición de concepto gen en relación a las proposiciones planteadas (*facetas de contexto*), la tabla N 1 establece la identidad asignada tras el consenso del grupo de expertos.

Posteriormente para la validación interna el cuestionario se aplicó a un grupo constituida por cinco docentes de biología de diferente nivel post-gradual y campo de enseñanza y a 10 estudiantes de pregrado de licenciatura en biología, tras la cual se realizaron los ajustes pertinentes, se eliminaron o reconstruyeron las afirmaciones que podrían causar confusión optándose por la generación de dos preguntas abiertas para hacer más explícito algunas representaciones en torno al concepto.

El cuestionario final presenta una estructura similar para profesores y estudiantes, en el enunciado de introducción aparecen los datos de identificación relativos a la Universidad, formación y campo de acción e investigación (para el caso de los docentes) y para el caso de los estudiantes de licenciatura el seminario al cual están cursando.

En la parte central del cuestionario finalmente aprobado consta de una serie de 28 preguntas, donde 26 ítems se responden con base a una escala numérica del 0 a 5, en donde 0 es no sabe o no responde y 5 total acuerdo (faceta de rango común)

y dos preguntas abiertas sobre aspectos relativos al concepto gen y su enseñanza (anexo 2).

Proposiciones	Enunciado	Identidad
Podemos decir que gen es	Aquello que marca la diferencia entre dos fenotipos.	GP
	Material hereditario con características funcionales.	GP
	Una secuencia de nucleótidos con ciertas características estructurales identificables en el genoma.	GD
	Módulos portadores de información integrados y coordinados en su regulación y acción.	GD
	información hereditaria	EM
La función del gen es	Aquello que regula la información hereditaria	EM
	Determinar el fenotipo	GP
	Amortiguar el efecto o ruido perturbador (ambiental o metabólico) de la expresión fenotípica para el desarrollo de fenotipos ecológicamente exitosos	GP
	Codificar la estructura primaria de un RNA o proteína	GD
	Proporcionar recursos que sirven de molde para la elaboración de productos moleculares.	GD
	Contener, transmitir y regular información para el desarrollo de un organismo	EM
El modelo de gen	Integrarse a la programación del organismo y orientar su desarrollo y éxito evolutivo	EM
	Es Coherente a (con) los modelos algorítmicos explicativos de la genética de poblaciones	GP
	Puede ser preciso en su potencial explicativo con relación a fenómenos poblaciones.	GP
	ES Consecuente con los avances y descubrimientos actuales en genómica y desarrollo.	GD
	ES La descripción gráfica que permite relacionar estructura y función del ADN..	GD
	Permite generalizar los mecanismos de acción y regulación de respuesta a los cambios del medio ambiente por los agentes biológicos.	EM
El concepto gen es útil porque permite	Puede ser preciso en su acción génica e impreciso en su activación génica	EM
	Predecir resultados fenotípicos	GP
	Definir la evolución como el cambio en la frecuencia de genes y dar una concepción general de evolución como selección de genes	GP
	Dilucidar el complejo molecular que constituye el desarrollo	GD
	Explicar fenómenos celulares	GD
	Comprender el papel de módulos multi-molecularmente conservados como unidades de desarrollo, morfología, variación e innovación.	EM
El gen se puede caracterizar por	Reunir ciertas propiedades de heredabilidad que poseen implicación organismica y poblacional.	EM
	Su frecuencia alelica	GP
	Por su éxito reproductivo	GP
	Por su producto caracterizado molecularmente	GD
	Su efecto en el desarrollo del individuo y en la población.	EM
	Su secuencia nucleotídica	GD
Por su ubicación en el genoma	EM	

Tabla N°1: Identidad asignada (**gen P**, gen D, o Mixto) a cada uno de los enunciados por parte de los expertos

### Población y muestra:

En cuanto al cubrimiento de la investigación, es de carácter nacional, La población constituye un grupo de maestros que laboran en programas de formación de maestros en el área de las ciencias naturales y educación ambiental y en

programas de licenciatura en biología. Todos los maestros poseen niveles de formación postgradual en algún campo de las ciencias o de la educación.

Los criterios para la selección de profesores que constituyen la muestra y con quienes se desarrolló la investigación fueron: a) Selección de programas de licenciatura en biología y/o ciencias naturales de universidades Colombianas y de carácter público b) profesores diferentes campos de la biología activos en programas de formación de maestros y que orientan un curso disciplinar que abordan de forma directa y explícita aspectos relativos a la enseñanza del concepto. Aunque la muestra a la cual se le aplicó el cuestionario constituye un número bajo (10 profesores), este número es representativo para la investigación. Las cinco universidades Públicas Colombianas que constituyeron el universo de investigación fueron:

Universidad del Valle  
Universidad Pedagógica Nacional  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Universidad del Tolima.  
Universidad Sur Colombiana.

Para el caso de auscultar las representaciones sobre el concepto gen en los estudiantes de licenciatura en Ciencias Naturales y/o Biología, se optó por aplicar el cuestionario en estudiantes de últimos semestres de formación y/o que estuvieran cursando seminarios en los cuales la enseñanza del concepto gen es explícita. Se tomó como población estudiantes de Licenciatura en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional en cursos de Embriología, Genética, Molecular,

sistemas microbianos y Evolución que representan un número de sesenta estudiantes.

Un aspecto que hay que resaltar es que aunque la encuesta se aplicó a diez maestros y sesenta estudiantes no todos respondieron las preguntas abiertas. Los datos obtenidos de las encuestas aplicadas a los profesores y los estudiantes fueron transcritos y sistematizados tras lo cual se procedió al análisis con la ayuda del programa estadístico LIFA 2000 y Análisis de distribución más pequeño (SSA), el cual nos permite establecer correlaciones de similitud entre las respuestas dadas a los enunciados y elaborar los perfiles que permiten establecer cuál es la representación de gen en docentes y estudiantes

Los anexos de 3 al 6 corresponden a la sistematización de las preguntas abiertas del cuestionario. El anexo 3 muestra las gráficas que ilustran la representación de gen en docentes y el anexo 4 las de estudiantes, el anexo 5 presenta la definición de gen dada por estudiante y profesores y el anexo 6 la respuesta a la pregunta 4 en estudiantes y profesores en torno al diseño de un problema que involucra el concepto gen.

Los anexos 7 , 8 y 9 corresponden a los datos sistematizados del cuestionario con los enunciados sobre **gen P** y D en profesores y estudiantes y contienen las tablas con los datos obtenidos de las encuestas con los valores filtrados después de la sistematización donde el valor tres (3) parcialmente en desacuerdo se reemplazó por cero (0); de igual manera se realiza la sumatoria de las puntuación para cada uno de los enunciados para establecer su representación dentro del



universo y dentro de las facetas de contexto (Utilidad, Estructura Y Organización, Modelo, Definición Y Función) para cada uno de los genes **P ó D**.

### **Interpretación de datos:**

En relación a la representación del concepto gen en los profesores sujetos de esta investigación, en los datos presentados en el anexo 7 se muestra una evidente tendencia en todas las facetas trabajadas a aceptar la **representación de gen asociada al gen D**, con un peso alto en aquellas facetas relacionadas con estructura y organización, utilidad y definición. El peso dado a estas facetas confirma la particularidad que cuando en las preguntas de carácter abierto se solicita a los docentes que elaboren su definición de gen, éstos recurren a implican en su definición aspectos de Estructura, Organización y Utilidad asociadas a **gen D**.

Las siguientes definiciones son ejemplos de cómo los docentes establecen su representación de **gen P** principalmente soportada en las relaciones estructura, organización y función.

"conjunto de fragmentos de ADN que al actuar en forma coordinada constituyen una unidad de expresión "**(Relación Estructura –Función)**

*"un gen consta de tres componentes básicos, zona de regulación: lugar del gen donde se unen proteínas que activan o reprimen la unión de la RNA polimerasa a la región promotora, zona de control, lugar del gen donde se une la RNA polimerasa, zona estructural: lugar del gene que es copiado desde DNA a RNA*

*por la RNA polimerasa el cual es traducido en los ribosomas aun polipéptido”*

**(Relación Estructura Y Organización)**

*"un segmento de ADN que codifica para una proteína, tiene un punto de inicio y un punto de terminación" (Relación Organización Y Función)*

*"..... se explicaría como una secuencia nucleotídica confirmada por cierto de bases las cuales codifican de una manera diferente en casos diferentes, según la secuencia" (Estructura)*

*"es la unidad básica de la herencia constituida por secuencias de nucleótidos que pueden determinar funciones específicas en organismos o en otros casos aun se desconocida su función" (Relación Estructura y Función)*

*"secuencia de bases nitrogenadas que codifican a un aminoácido están presentes en los cromosomas que constituyen el ADN" (Estructura y organización).*

Por otra parte es interesante señalar que las definiciones están dadas desde las connotaciones de **Gen Clásico Molecular** de la clasificación de Flodin (2007), donde se hace especial relevancia a la estructura del gen y su nivel de acción celular, aspecto que se confirma con las representaciones gráficas del mismo realizadas por los docentes (ver anexo 3) en donde se evidencia una clara tendencia a representar gen desde los aspectos propios de **gen D**, en coherencia con sus definiciones y de las relaciones que establecen con Función, Estructura y Organización.

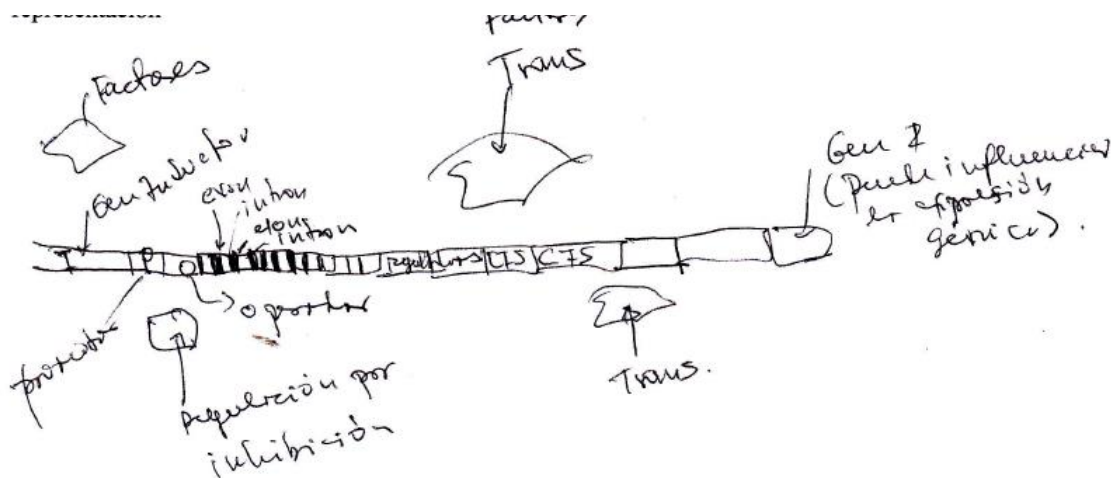


Figura N°8: Representación gráfica de gen de docente.

La connotación que tiene la representación de **gen D** en los profesores implica formalización de contenidos bioquímicos y moleculares que no tiene incidencia para el planteamiento de problemas de resolución por parte de los estudiantes ya que éstos son planteados principalmente desde la noción de **gen P**, observándose que su nivel de acción es el individuo, haciendo uso de términos estrictamente propios de genética mendeliana o clásica para lo cual el estudiante no hace uso ni tendría por qué hacerlo de las nociones de **gen D**.

Ej.:

*"los conceptos mendelianos y cruces, dominancia y recesividad. Su expresión en la f1, f2 y f3"*

*"en campo, los estudiantes colectaran plantas de diferentes grupos (familias) con diferentes fenotipos (características morfológicas) con el fin de que realicen comparaciones, luego en el salón de clase se realizara un dendograma donde agrupe las diferentes plantas colectadas y ellos puedan ver la cercanía o lejanía de los diferentes grupos"*

*"realizar una práctica de laboratorio que consiste en construir ordenadamente el genotipo de una persona con síndrome de turner y otra sana. Para observar la diferencia en los cromosomas y consultar la implicación funcional de los genes en la alteración cromosómica"*

Estos datos plantean que si bien los docentes presentan claridad y coherencia en la representación de **gen D** en términos de su Definición, Estructura y Organización, Función y Utilidad, ésta representación no tiene mayor incidencia a la hora de plantear un problema a los estudiantes que estaría en su mayor caso asociado a la noción de **gen P**. Esto tiene implicaciones ya que no existe claridad o no se hacen explícitos por parte de los docentes de aspectos que determinarían cual es el nivel de acción de cada tipo de gen y los marcos teóricos bajo los cuales se consolidaron.

Por otra parte al emplear el programa LIFA 2000 con los datos de la encuesta, la figura N°9 permite entrever que si bien explícitamente los docentes manifiestan una claridad y una aceptación por la representación de **gen D** (datos puros y preguntas abiertas), las correlaciones entre las facetas de contexto no permiten establecer perfiles claros ni definidas sino que presentan una distribución azarosa que permiten establecer hibridación de características de ambos genes, especialmente en aquellas relacionadas con definición (16,15 y 24) , estructura y organización (2 y 21) y utilidad (17 y 18), así, las pocas relaciones permiten entrever una hibridación de nociones de ambos genes que no permiten establecer

ni

delimitar

facetas.

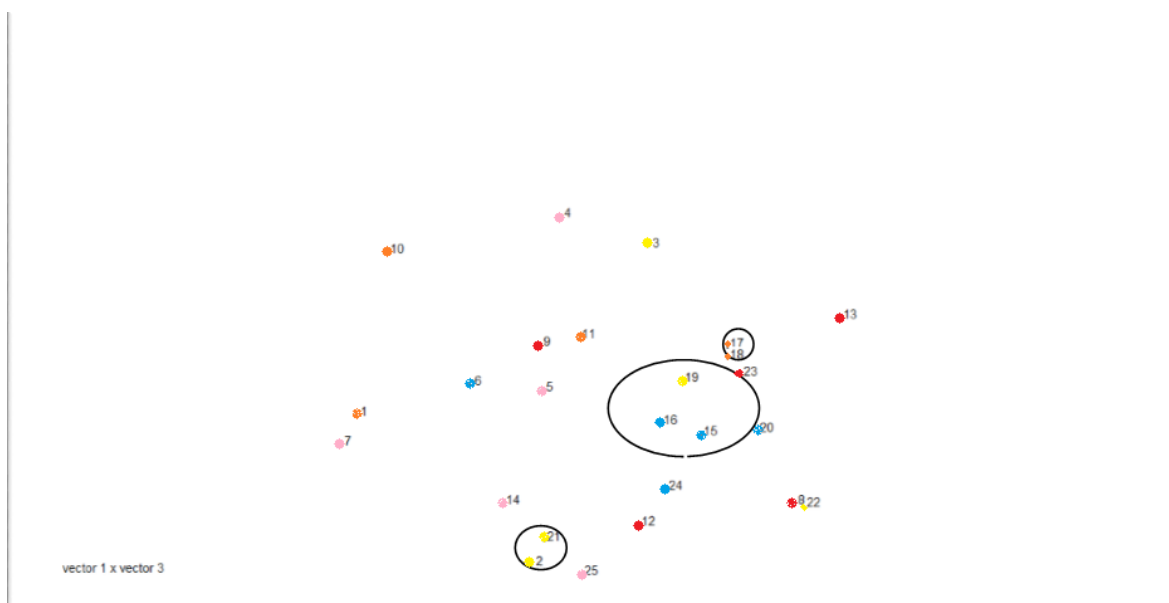


Figura N°9: Distribución de correlaciones entre enunciados de todas las facetas de **gen P** y gen D en profesores. Los colores en cada punto (enunciado) hace referencia al tipo de faceta al cual está vinculado; Naranja=Utilidad, Amarillo=Estructura y organización, Rosado=Modelo, Azul=Definición Y Rojo=Función.

De igual manera ocurre al correr sólo los datos de los enunciados de cada gen (**gen P o gen D**, incluyendo los enunciados mixtos); la figura N°10 presenta la distribución de los enunciados con los datos filtrados de **gen P**; esta distribución permite establecer correlación fuerte y definida entre los enunciados 15, 20 y 24 de la faceta de definición, pero en relación a los demás enunciados se visualiza correlaciones entre enunciados de diferentes facetas como el grupo constituido por enunciados mixtos 17 y 19 de las facetas Utilidad y Estructura y Organización; 2 y 9 de la faceta de estructura y organización, 1 y 4 de las facetas modelo y utilidad. En la gráfica N°3 del análisis de **gen D**; se evidencia una fuerte y definida correlación entre los enunciados 4 y 5 del contexto modelo; 6 y 18 de los

contextos modelo y utilidad; 12, 22 y 24 de las facetas de función, estructura y función y finalmente entre 23 y 17 de las facetas función y utilidad.

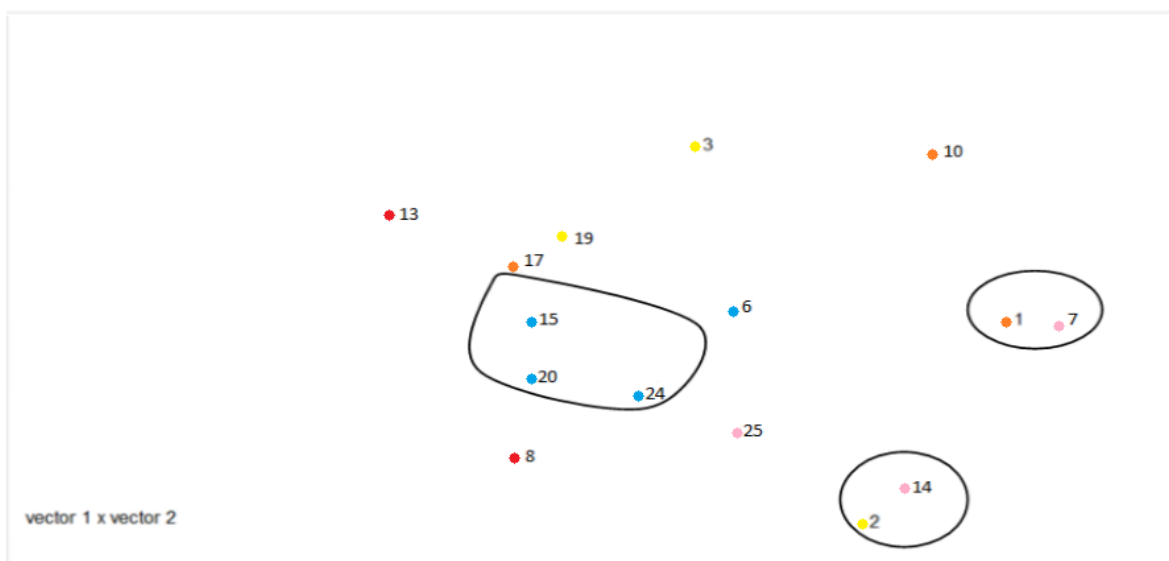


Figura N°10: Distribución de correlaciones entre enunciados de **gen P** en profesores. Los colores en cada punto (enunciado) hace referencia al tipo de faceta al cual está vinculado; Naranja=Utilidad, Amarillo=Estructura y organización, Rosado=Modelo, Azul=Definición Y Rojo=Función.



Figura N°11: Distribución de correlaciones entre enunciados de **gen D** en profesores. Los colores en cada punto (enunciado) hace referencia al tipo de faceta al cual está vinculado;

Naranja=Utilidad, Amarillo=Estructura y organización, Rosado=Modelo, Azul=Definición Y Rojo=Función.

Así los análisis de facetas permiten concluir que los docentes hacen uso de nociones de ambos genes de forma indistinta lo que no permite la conformación de grupos definidos y claros en torno a facetas específicas y que su representación aun siendo la de **gen D** posee características propias de **gen P** como su nivel de acción.

En relación a los estudiantes; los datos permiten establecer que hay una amplia aceptación de la representación del **gen P**. Esta representación se confirma con las definiciones de gen dada por los mismos estudiantes (ver anexo 5) entre las cuales podemos encontrar que éstas contienen características propias del **gen P** con pocas relaciones y delimitadas principalmente por su función o estructura y organización p.ej.:

*"lo definiría como el patrón que muestra la expresión física del individuo, los aspectos que tendría en cuenta serían las leyes de Mendel y aspectos hereditarios"*  
**Función**

*"el gen está contenido en los cromosomas a su vez este **gen** Puede tener muchas formas posibles"* **Estructura**

*"es información que caracteriza especies, por su parte se tiene una morfología, una fisiología, es decir trasciende en lo fenotípico aparte de la secuencia de alelos de un gen"* **Estructura.**

*"unidad particular ubicada en el cromosoma encargada de participar en el proceso de aplicación y herencia entre generaciones"* **Función**

*"es una parte que se encuentra en una de las cromatinas que tiene la información genéticas de los padres"* **Estructura.**

Esta representación de **gen P** guarda asociación con la representación gráfica del mismo en donde se vincula a gen con un lugar específico dentro del cromosoma (Figura N°12)



Figura N° 12: representación de gen en estudiante .

En la figura N°13 se observa las correlaciones obtenidas con el programa LIFA 2000. Se genera nueve grupos conformados por enunciados de **gen P** y **gen D** pero delimitados por las facetas de los contextos (8 y 23; 12,9 y 13; 16 y 24; 5 y 25; 10 y 11; 15 y 6; 14 y 7; 17,1 y 18; 2,19,21 y 22), interesante situación ya que a pesar de ser enunciados de diferente gen, las facetas son del mismo tipo, con lo cual es posible establecer que los estudiantes poseen nociones de cada una de las facetas claramente diferenciadas pero en la cuales hibridan características de ambos genes.





los enunciados 23,12 y 13 del contexto función, 16 y 24 del contexto definición, 19,22 y 21 de estructura y organización y un grupo conformado por los enunciados 11 y 25 de las facetas de contexto utilidad y modelo, siendo éstas dos facetas las menos definidas y claras, muy similar al comportamiento con **gen P**.

Las distribuciones y correlaciones muestran que existe claridad en relación a las facetas de gen D y **gen P** salvo las relacionadas con utilidad y modelo, hecho que confirma la poca claridad o apropiación que poseen los estudiantes del nivel en el cual tiene su acción el gen y su modelo.

La representación de **gen P** es la predominante en los estudiantes y esta apreciación se corrobora con los ejercicios (anexo 6) y las gráficas de **gen** planteadas por ellos mismos que dan cuenta de características propias de la noción de **gen P** (anexo 4). Es interesante resaltar que cuando los estudiantes plantean problemas en relación a gen, el principal referente es el nivel de acción que para ellos está centrado en el individuo o poblaciones y su función relacionada a la herencia lo que guarda relación a sus representaciones de **gen P**.

*"se podría plantear el ejercicio para observar la variabilidad genética con una población de mosca casera (Drosophila melanogaster)"*

*"en una población de avispas, el alelo dominante de las largas dejó de serlo a partir de la 6 generación. Determinar la causa de este cambio"*

*"problemática, la activación de los genes en las diferentes etapas de desarrollo"  
"realiza un cuadro poner donde se tenga en cuenta características de la madre y el padre, los cuales presentan posibles enfermedades o irregularidades que pueden ser heredadas, escoja por lo menos 2 de estas características y determine la probabilidad de que este se exprese en la siguiente generación, y que características tendría el hijo"*

"plantearía, p.ej, si un gen se encuentra afectado o inhibido en un feto de ser humano, como podría afectar este a su pleno desarrollo, o de qué manera ciertas sustancias afectan el desarrollo del feto y por ende a sus genes"

"el problema (pregunta) buscar generar en los estudiantes curiosidad frente al porque físicamente los humanos somos diferentes, pero a pesar de dichas diferencias pertenecemos a la misma especie"

"plantearía un caso de características físicas en humanos), les explicaría que las características fenotípicas de cada uno de ellos se deben a los caracteres que heredaron de sus padres, que cada persona tiene unas características de color, textura o forma en partes de su cuerpo que son herencias de un código que esta empaquetado en un gen transmitido por el ADN de la madre más el ADN del padre a la hora de la fecundación ya que hay una recombinación de materiales cromosómico"

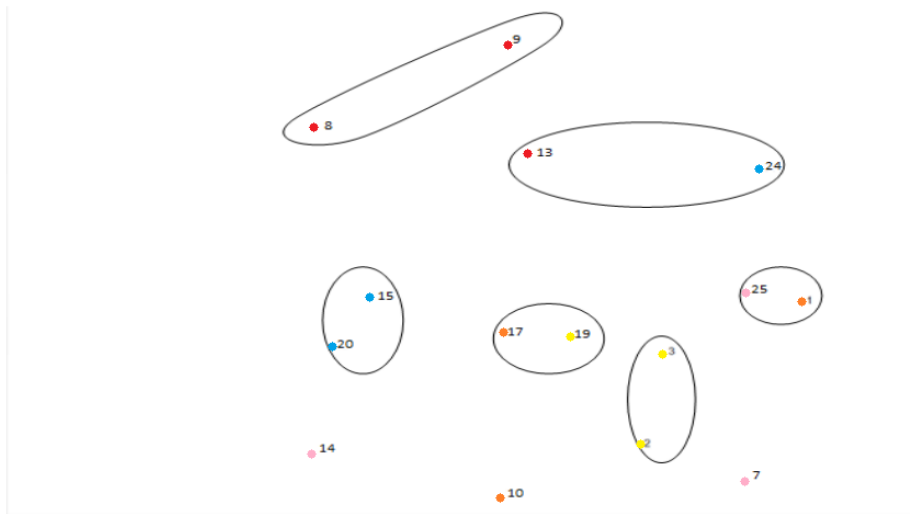


Figura N°14: Distribución de correlaciones entre enunciados de **gen P** en estudiantes Los colores en cada punto (enunciado) hace referencia al tipo de faceta al cual está vinculado; Naranja=Utilidad, Amarillo=Estructura y organización, Rosado=Modelo, Azul=Definición Y Rojo=Función.

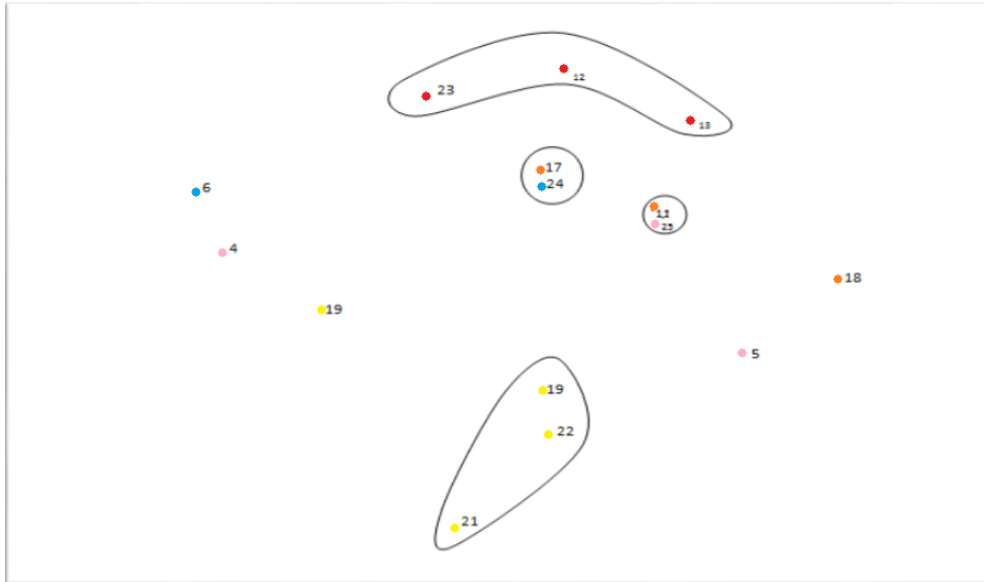


Figura N°15: Distribución de correlaciones entre enunciados de gen D en estudiantes. Los colores en cada punto (enunciado) hace referencia al tipo de faceta al cual está vinculado; Naranja=Utilidad, Amarillo=Estructura y organización, Rosado=Modelo, Azul=Definición Y Rojo=Función.

Así se puede afirmar que los docentes explicitan su representación asociada a la noción de **gen D** que guarda relación con las imágenes que lo representan, pero las correlaciones y el problema que plantean muestran una hibridación en las características que usualmente establecen entre definición, estructura y organización propia del **gen D** con función y utilidad de **gen P**, aspecto evidente en las asociaciones poco definidas entre enunciados de una misma faceta y presentándose agrupaciones híbridas de enunciados tanto de **gen P y gen D** de facetas distintas. Otro aspecto evidente en los análisis es la poca referencia del nivel en el cual tiene acción en **gen** pero que es evidente en sus representaciones gráficas que guarda relación con una función específicamente regulación y control asociada a la síntesis de proteínas pero no de aspectos relacionados con herencia.

En relación a los estudiantes, explicitan su representación clara asociada a la noción de **gen P**, evidente en las definiciones e imágenes con las que lo representan. Las correlaciones entre enunciados muestran una interesante delimitación de las facetas con ambos genes pero una poca claridad y uso de la faceta utilidad y modelo. La representación de **gen P** guarda relación con la función específicamente asociada a la herencia propiamente dicha.

Que los docentes tengan una representación y de **gen D** los estudiantes de **gen P** puede tener implicaciones en la enseñanza y en el aprendizaje. El que los docentes no expliciten el nivel de acción, utilidad y modelo del gen con el cual quieren trabajar, desarrollan actividades o plantean ejercicios donde se pone en juego el actuar de otro gen, puede presentar conflictos. Tanto docentes como estudiantes le dan gran valor a faceta de *función* del gen algo que no puede quedar solo en la enunciación de una definición es necesario ser mucho más explícitos y claros con la *función* dado que la intención de la función dentro de la explicación o definición no se hace sólo con el propósito de conocer solamente su efecto, sino el de ubicar el elemento y su comportamiento dentro de una organización biológica y las relaciones que guarda con el sistema (Wouters 2005). Es necesario que el docente de alguna manera explicita que la acción del **gen D** que trabaja tiene un efecto que puede trascender la célula y su acción va más allá de la regulación y control al de mantenimiento y variabilidad. Los estudiantes esperan poner en acción el gen a nivel del organismo o poblaciones pero que de alguna manera los modelos, funciones y utilidades que se les presentan con el **gen D** les son poco pertenencia.

### 2.2.2. ¿Cómo conceptualizan el concepto gen en algunos libros de texto?

Los escritos en relación a los debates en torno al concepto gen no son pocos, hoy día el tema ya ha pasado de las discusiones filosóficas y epistemológicas propias de la biología (Falk, 1986., Fogle, 1990., Portin, 1993., Griffiths, and Neumann-Held, 1999, Keller, 2000. Stotz, *et al.*, 2004., Moss, 2006, El-Hani, 2007, Knight, 2007) al campo de la enseñanza, reflexiones como las de Pitombo, Rocha de Almeida y El Hanni (2008), Flodin (2009), Carvalho dos Santos, Joaquim y El-Hani (2012) y Gericke *et al.*, (2012) ponen de manifiesto la predominancia en libros de texto un protagonismo del concepto clásico molecular de gen en donde las concepciones de gen mendeliano y función génica mendeliana no son retomadas e insisten en la necesidad de un tratamiento educativo a la polisemia del concepto.

Con el fin de analizar si los libros texto de genética podrían estar o no estar contribuyendo a la reflexión en torno a la polisemia del concepto gen dando cuenta del marco conceptual en el que cada uno se desenvuelve (*gen P* y *gen D*), se realizó una investigación documental empleando la técnica de análisis de contenido propuesta por Navarro y Díaz (1995 en Marín, 2009). Se estableció realizar un *análisis de contenido temático*, ya que éste sólo considera la presencia de términos o conceptos con independencia de las relaciones surgidas entre ellos a diferencia de otros métodos de análisis de contenido como el semántico y el de redes. Asumimos como unidad de análisis “*frases*” dentro de los párrafos. Dado

que la intención básica de este análisis tiene que ver con la presencia y uso del concepto *gen* en tres (3) textos de genética, la selección de los mismos marca una diferencia con los trabajos de Pitombo, Rocha de Almeida y El-Hanni (2007 y 2008), Flodin (2009) y Carvalho dos Santos, Joaquim y El-Hani (2012) y Gericke *et. al.* (2012), dado que los textos empleados en sus trabajos son de uso general en cursos de de Biología general como el de Campbell Y Reece (2005, 7th edición) o de Biología celular y molecular el de Lodish *et. al* (2003) entre otros, pero no son textos de genética propiamente dicho; esto podría marcar la tendencia al empleo *per se* en la noción de concepto *gen* en ellos. Así, con el propósito de establecer la noción de concepto *gen* que subyace en tres textos de genética: Se trabajó el Libro de Suzuki, Griffiths, Miller y Lewontin, *Introducción al análisis genético*. 1992. Cuarta Edición, William S. Klug y Michael R Cummings. *Conceptos De Genética*. Pearson Education. 1999. Quinta Edición y el de Gardner, Simmons y Snustad. *Principios De Genética*. Limusa Wiley. 1998. Que son textos de traducción a lengua castellana de los originales en Ingles, referenciados en el syllabus del curso de genética teórica del proyecto curricular de licenciatura en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional presentes en la Biblioteca central de la misma universidad y de la Biblioteca Luis Ángel Arango (Bogotá-Colombia).

Se tomó como criterio la diversidad epistemológica del concepto *gen* de Moss (***gen P y gen D***) y la Historia del desarrollo de la diversidad conceptual (aspectos históricos) que fue abordada anteriormente, como referente para la selección de las categorías sobre las cuales se analizan los enunciados: categorías: 1) Estructura y organización, 2) Función, 3) Nivel jerárquico y 4) contexto, esta última

categoría es tomada de las dimensiones propuestas por Falk (1986) de su dificultad conceptual; *evolución, desarrollo y molecular*, que se establecen como los *campos* desde las cuales se hace el análisis de contenido para este estudio. Un primer campo fue el asociado con temas relativos a: Genética clásica/Evolución/Genética de poblaciones, y un segundo campo que incluye los capítulos que tratan temas de: Biología celular/Biología Molecular/Genética Molecular/Desarrollo/ Genómica que en los textos de genética son vistos como capítulos, unidades o temas siendo entonces la categoría cuatro (4) de contexto dentro de la cual se enmarca la unidad de análisis, contexto de *biología evolutiva* ó de *la Biología del desarrollo*. De igual manera se trató dentro del análisis de contenido la dimensión histórica donde se tuvo en cuenta si la unidad de análisis “frases” estaba presente dentro de los párrafos de manera a) histórica-cronológica, b) Histórica-epistemológica c) Histórica-experimental d) Conceptual; esta última hace referencia una categoría simplemente semántica que ubica la unidad de análisis dentro de párrafos informativos sin un devenir histórico asociado. La tabla N° 2 describe las categorías y las dimensiones que se tuvieron en cuenta para el análisis de contenido.

Con lo anterior se construyó el sistema de categorías complementando la propuesta de las mismas de Bardín (1991), en donde tras la lectura línea a línea de cada capítulo previamente seleccionado (Anexo 10) se generó la tabla de registro de evidencias, en donde cada unidad de análisis se categoriza y codifica (anexo 11). Con los enunciados categorizados se realiza un análisis cuantitativo de las frecuencias para caracterizar la noción de *gen* que es más recurrente en



cada texto y características (anexo 12). Dada la naturaleza del estudio no se establecen relaciones entre los enunciados sino entre las categorías propias del análisis.

CATEGORÍA	<i>GEN P</i> (A)	GEN D(B)
1.Estructura y organización	Abstracta, hipotéticas, partículas, unidades ubicadas en el cromosoma, alelos, loci, locus,	Material, Molécula de ADN, ácido nucleico, ocupa lugares flexibles en el cromosoma.
2. Función,	proporciona información para un carácter, se expresa en el fenotipo, es un Marcador de la evolución.	Proporciona información para la síntesis de moléculas de ARN o proteínas.
3.Nivel jerárquico	Poblaciones, organismos	Molecular y celular.
4. Contexto	Genética clásica y Genética Evolutiva	Genética molecular y del desarrollo
DIMENSIONES		
a. Histórica-cronológica,	Descripción de fechas, lugares , autores	
b. Histórica-epistemológica	Descripción de propósitos, problemas, hipótesis, dificultades.	
c.Histórica-experimental	Descripción de experimentos, desarrollos, técnicas	
d.Conceptual	Definiciones estrictas	

Tabla N°2: Categorías y dimensiones de análisis de contenidos en los tres textos de genética. Modificadas de Carvalho dos Santos, Joaquim y El-Hani (2012)

Realizada la sistematización de los enunciados por categorías y dimensiones se analiza por orden de recurrencia de las categorías se procede a analizar la representaciones de *gen P* y *D* en los libros texto. La figura N° 16 alusiva los datos recogidos del texto “Introducción Al Análisis Genético” evidencia una predominancia de enunciados propios de *Gen D*. En relación a las categorías:

Estructura y organización, Función y Contexto referentes al concepto **gen P** y de las categorías Función, Nivel jerárquico y Contexto del **gen D** son las más usuales, aunque la última categoría en menor proporción a las otras. Son ejemplos de enunciados para la categoría estructura y organización (1.A) , categoría Función (2.A) y contexto (4.A) de **gen P**

*"...Las distintas formas de un gen se denominan alelos.." (p 32) (1.A)*

*" Estos genes, sean dominantes o recesivos , muestran sus efectos en el fenotipo del macho" (p 58) (2.A)*

*"Los genes presentes en los autosomas muestran el patrón de herencia descubierto y estudiado por Mendel."(p58) (4.A)*

Así mismo son ejemplos de enunciados de **gen D** para las categorías Función (2.B) Nivel jerárquico (3.B) y de Contexto (4.B)

*"La función real de los genes se debió a las investigaciones con Neurópata." (p294) (2.B)*

*"... la existencia de un gen como una unidad de la herencia es reconocida por medio de sus alelos mutantes" (p311)(3.B)*

*"Se sabía que los genes, factores hereditarios descritos por Mendel, estaban asociados a caracteres específicos..."(p269) (4.B)*

La caracterización alusiva a **gen P** de su Estructura, y organización así como su Función cobra mayor relevancia para el texto donde su tema principal es el análisis genético con el que se sugiere que a partir de estas categorías es posible comprender de qué forma se producen las inferencias genéticas propias del trabajo de aquellos genetistas que se preocupan de los mecanismos de la herencia; sin embargo es interesante observar que desde la perspectiva del análisis genético los enunciados alusivos al nivel jerárquico en el cual se desenvuelve el **gen P** son poco frecuentes.

Con respecto al **gen D**, si bien el texto realiza pocos acercamientos en relación a Estructura y organización, si presenta un elevado número de enunciados relativos a Función y Nivel Jerárquico. Con ello el acercamiento del texto a las características del **gen D** están basadas en la descripción de técnicas genéticas de forma muy somera que permiten comprender la función de procesos biológicos alusivos al material de la herencia.

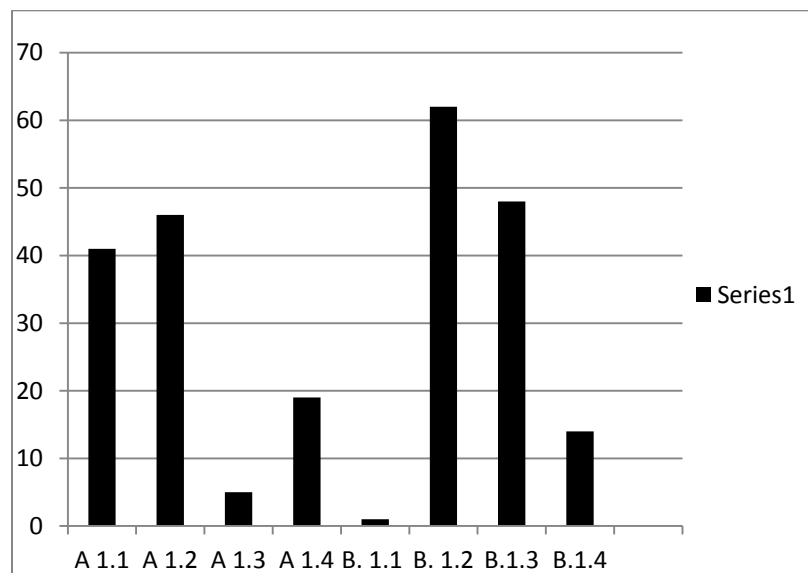


Figura N°16: Distribución de frecuencia de enunciados por categorías 1:, Estructura y Organización, 2: Función, 3: Nivel jerárquico, 4:Contexto. A. Gen P y B Gen D. en el texto "Introducción Al Análisis Genético. 1992. Suzuki,Griffiths,Miller yLewontin Cuarta Edición".

En relación a las dimensiones con las cuales se abordó el contenido del texto (histórico cronológico, histórico epistemológico, histórico experimental y **conceptual**), en la figura N° 17 se evidencia una mayor tendencia a presentar enunciados alusivos al **gen P y al gen D** de manera conceptual, esto implica presentar enunciados como definiciones desprovistas de referentes o antecedentes pero privilegia el uso de enunciados de **gen P y gen D** desde el

punto de vista de los resultados experimentales. Las dimensiones histórico cronológico e histórico epistemológico, no se profundizan en el texto.

Enunciados que se presentan como ejemplos de la dimensión conceptual (d.A) para el **gen P** y para el **gen D** (d.B) en este texto son:

*"...propuesta inicialmente por el paralelismo entre el comportamiento de los genes mendelianos y el de los cromosomas autosómicos."(p59)(4.A)*

*"... mediante las enzimas cifradas en algunos genes, sino también la arquitectura biológica a través de proteínas estructurales determinadas por otros genes" (p304)(d.B)*

Aunque las intenciones manifiestas de los autores de realizar un tratamiento más o menos histórico de la genética eucariótica clásica, incluyendo alguna información molecular sin excesivo énfasis, su intención queda poco evidenciada ya que se los enunciados reflejan que este acercamiento ocurre mas desde la descripción experimental. Si bien los autores proponen que con los postulados clásicos alusivos al contexto de la genética clásica y evolutiva propia del **gen P**, los estudiantes estarán capacitados para introducirse a temáticas relacionadas con genética y técnicas moleculares en el entramado clásico (Suzuki et, al.,1993.) así mismo, la progresión desde la perspectiva general a la específica parece una actitud natural, y tiene un sentido no solo en investigación, sino también en la enseñanza de la investigación..." (Suzuki et, al.,1993.), es claro que el libro privilegia nociones de **gen D** a lo largo de los capítulos trabajados pero no en relación a la categoría estructura y organización.

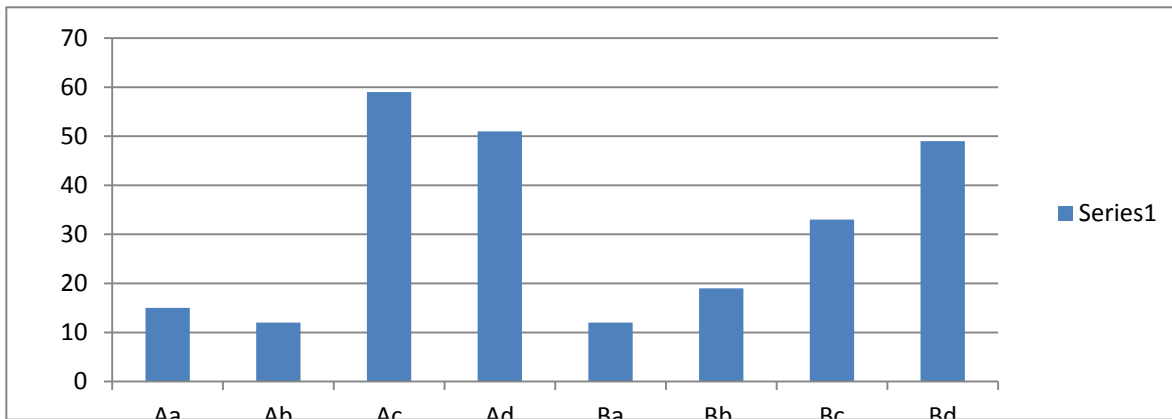


Figura N°17: Distribución de frecuencia de enunciados por dimensiones a: Histórica - cronológica, b;Histórica-epistemológica, c: Histórica-experimental, d; Conceptual . A. Gen P y B Gen D en el texto "Introducción Al Análisis Genético. Cuarta Edición 1992 Suzuki, Griffiths, Millery Lewontin.

En la Figura N° 18 alusiva al texto "Conceptos de Genética" se evidencia que se privilegia enunciados propios de **gen D**. Las categorías de Estructura y organización y Función, son de reiterativas revalencia tanto para el **gen P**, como para el **gen D**; Lo cual podría deberse entre otros, a los intereses de los autores del texto, cuyos trabajos han estado dirigidos hacia investigaciones basadas en la biología molecular y la cartografía física de los cromosomas.

Es ejemplo de la categoría Estructura y organización para el **gen P** (1.A) y del **gen D** (1.B):

*"...El fenotipo viene determinado por la presencia de formas alternativas de un solo gen llamadas alelos..." Pág 55 (1.A)*

*"...Ciertos genes cuyos productos son necesarios en mucha cantidad en cada célula, se encuentran de forma natural en el genoma en copias múltiples..." Pág 255.(1.B)*

Las categorías Nivel jerárquico y Contexto en relación con el **gen P y D**, no son profundizadas en el texto, lo cual se ve reflejado en el bajo porcentaje de enunciados encontrados.

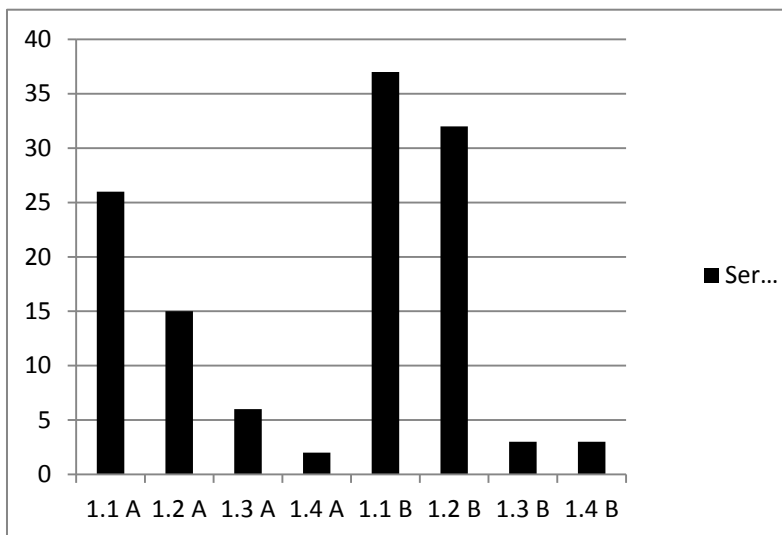


Figura N°18: Distribución de frecuencia de enunciados por categorías 1:, Estructura y Organización, 2: Función, 3: Nivel jerárquico, 4:Contexto. A. Gen P y B Gen D. en el texto “Conceptos de Genética”.

Respecto a las dimensiones contempladas en el mismo texto, la figura N° 19 muestra que el **gen P** en la dimensión “conceptual” tiene una marcada representación, lo cual podría llevar a interpretarse como el manejo de una visión “terminada” ; de igual manera se evidencia que el texto hace uso de manera recurrente a enunciados dentro de la dimensión histórica-experimental aportando una visión de contenido práctico con el cual podría estar estableciendo relaciones y apoyando la presentación de los conceptos. Los enunciados dentro de la dimensión histórica cronológica de **gen P y gen D** son similares, lo cual se ve reflejado en el texto cuando se contextualizan temporalmente los experimentos empleados para el abordaje de un tema determinado. En cuanto a la dimensión

histórico-epistemológica, tiene mayor representación en el texto los enunciados alusivos al **gen D**, lo cual podría reafirmar el hecho que los autores del texto al poseer una mayor experiencia de trabajo en el campo de la biología molecular como se mencionó anteriormente hagan mayor mención de este tipo de gen

Los siguientes enunciados representan ejemplo de la dimensión conceptual para el **gen P** (d.A) y del *gen D* (d.B) y de la dimensión histórico-epistemológica para el *gen D* (b.B):

*"... la información almacenada en cualquier gen es grande, las mutaciones pueden modificar dicha información de muchas maneras..." Pág 87 (d.A)*

*"...La expresión crítica de los genes normales varía a lo largo del ciclo biológico de los organismos..." Pág 193(d.B)*

*"A veces, en bacterias, los genes se denominan cistrones..." Pág 360 (b.B)*

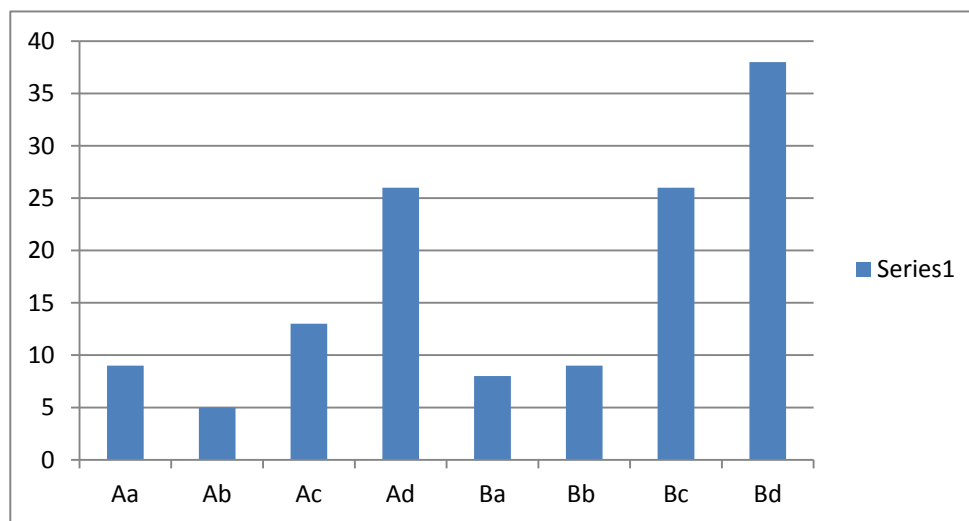


Figura N°19: Distribución de frecuencia de enunciados por dimensiones a: Histórica - cronológica, b;Histórica-epistemológica, c: Histórica-experimental, d; Conceptual . A. Gen P y B Gen D en el texto "Conceptos de genética"

De acuerdo con las categorías usadas en el análisis del texto "Principios de genética", en la figura N°20 se puede observar que éste texto hace énfasis en enunciados propios de **gen D**, de igual manera privilegia enunciados para las categorías Estructura y Organización y Función de los *genes P y D*.

El siguiente enunciado representa un ejemplo de la categoría Estructura y organización para el *gen D* (1.B):

*"... Los genes no actúan aislados. El fenotipo final de un organismo es el resultado de la acción de un gran número de genes y las interacciones entre los mismos..."* Pág 36 (1.B)

En cuanto a las categorías Niveles jerárquico y Contexto el **gen D**, tiene la más alta la incidencia de enunciados propios de estas dos categorías.

Los enunciados que se mencionan a continuación se refieren a la categoría Nivel jerárquico para el **gen P** (3.A) y para **gen D** (3.B):

*"... los genes afectan la viabilidad, así como los caracteres visibles de un organismo..."*. Pág 27(3.A)

*"... Los genes virales se expresan en secuencias genéticamente preprogramadas..."* Pág 407(3.B)

Los datos nos indican en términos generales, que el texto trabaja con mayor énfasis los temas referentes a Estructura y organización y Funcionamiento, de los genes, con énfasis en **gen D**, pero sin hacer alusión de su nivel de acción e implicación (nivel jerárquico).



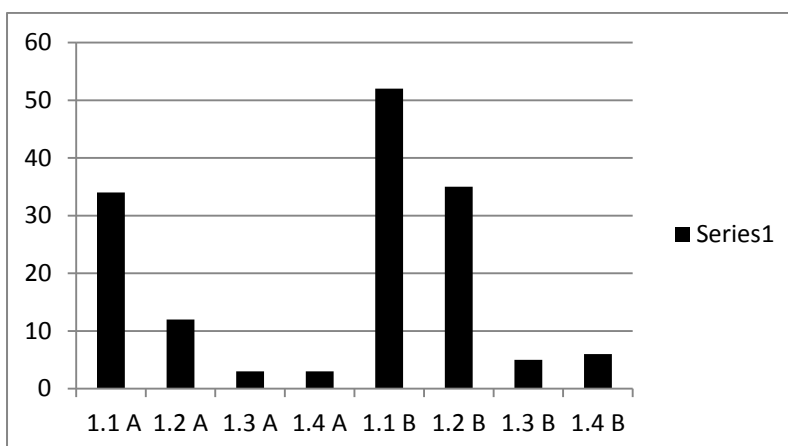


Figura N°20 Distribución de frecuencia de enunciados por categorías 1: Estructura y Organización, 2: Función, 3: Nivel jerárquico, 4: Contexto. A. Gen P y B Gen D. en el texto "Principios de Genética"

En la figura N° 20 se ve representada una proporción significativamente mayor de enunciados de la dimensión Histórico-experimental para el **gen P** y de las dimensiones Histórico-experimental y conceptual para el **gen D**; Lo anterior puede deberse a la intención de los autores de dirigir el texto "...para lectores con un mínimo conocimiento de química y biología..." por lo cual el texto aborda los conceptos desde la parte experimental básica y general, pudiéndose interpretar lo anterior como la posible intención que tuvieron los autores para que el texto "...pueda implementarse como una guía para cursos de genética de un trimestre, un semestre o dos trimestres de duración"... (Gardner *et al.*, 1998) .Los autores manifiestan también, la intención de ofrecer un material flexible, organizado de tal manera que para la comprensión de un capítulo no se necesite remitirse al capítulo anterior o comprender los sucesos o desarrollos de la genética en los tiempos o sus protagonistas.

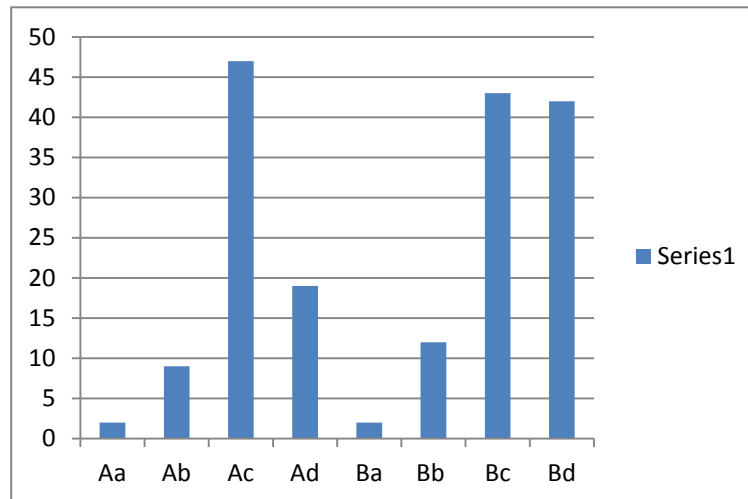


Figura N°21: Distribución de frecuencia de enunciados por dimensiones a: Histórica - cronológica, b; Histórica-epistemológica, c: Histórica-experimental, d; Conceptual . A. Gen P y B Gen D en el texto "Principios de genética"

De forma general un análisis comparativo de los tres textos representados en la Figura N°21 se puede encontrar:

Los tres textos privilegian enunciados relativos al **gen D**.

En relación a las categorías:

La categoría 1.1 A Estructura y organización, los textos principios de genética y conceptos de genética la abordan con más frecuencia alusiva al **gen D**, mientras que el texto introducción y análisis genético da más relevancia en esta categoría en el **gen P**.

En la categoría 1.2 Función; los textos introducción y análisis genético hacen mayor énfasis para el **gen D**.

La categoría 1.3 Referente a nivel jerárquico, tiene una recurrencia alta para el gen D y baja respecto al **gen P** en los tres textos. Sin embargo, es interesante anotar

que para el **gen D** esta misma categoría se presenta con mayor frecuencia en el texto introducción al análisis genético.

Finalmente la categoría 1.4 contexto; presenta una frecuencia alta en los textos conceptos de genética y principios de genética para los dos tipos de genes.

Respecto a las categorías escogidas para el análisis de los textos se puede concluir que el libro introducción al análisis genético, hace uso de las cuatro categorías analizadas aunque no de manera similar pero de forma transversal para los dos tipos de **genes D y P**, excepto en la categoría estructura y organización.

Los textos Conceptos de genética y Principios de genética hacen uso de enunciados de una manera similar para las cuatro categoría de **genes P y D**, aunque entre las categorías comparadas se observa una mayor frecuencia de uso de los enunciados relativos al concepto de **gen D**.

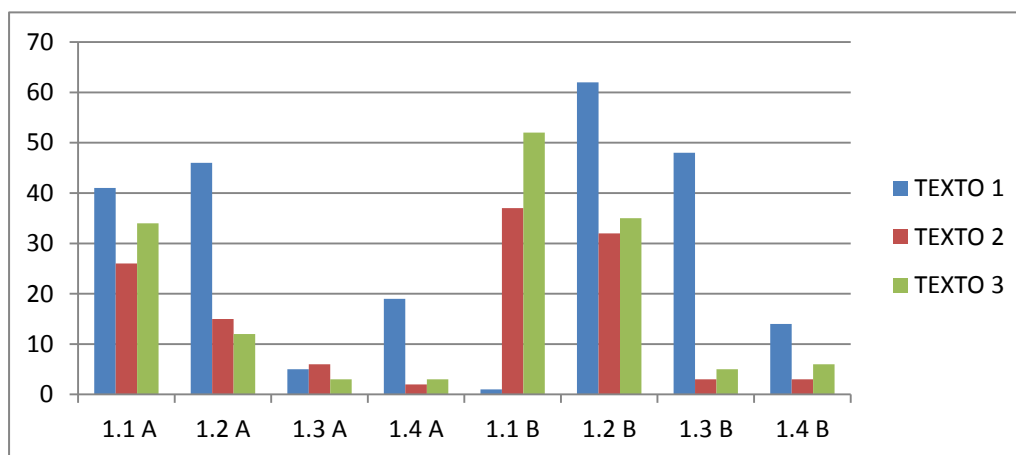


Figura N°22: Distribución de frecuencia de enunciados por categorías 1:, Estructura y Organización, 2: Función, 3: Nivel jerárquico, 4:Contexto. A. Gen P y B Gen D. de los tres textos. Texto 1: Introducción al análisis genético. Texto 2: Conceptos de genética. Texto 3: Principios de genética.

Respecto al análisis de los tres textos mencionados a nivel de las dimensiones (Figura N°22 ) se encuentra que la dimensión Histórico-cronológica del texto Introducción al análisis genético, respecto a los **genes P y D** éste es el que describe de forma más detallada eventos y personajes importantes en el desarrollo de la genética como campo de estudio mientras que, los textos Conceptos de genética y Principios de genética a pesar de trabajar los mismos aspectos no hacen mayor mención de esta información de este tipo de contenidos a lo largo del texto.

En la dimensión Histórico-epistemológica el libro Introducción al análisis genético contempla como aspecto importante la caracterización del conocimiento y como éste va cambiando a través del tiempo tanto para el **gen P** como para el **gen D**. En los libros Principios de genética y Conceptos de genética esta dimensión se trabaja mucho más para el **gen D** y es más frecuente en el último texto analizado Principios de genética.

En la dimensión histórica-experimental, los libros Introducción al análisis genético y Principios de genética hacen énfasis en el abordaje práctico de los conceptos tanto para el **gen P y D**, mientras que el texto conceptos de genética trabaja principalmente con enunciados de esta dimensión para el **gen P**.

En la dimensión Conceptual, el libro Introducción al análisis genético tiene una amplia representación de enunciados de dicha dimensión para dos genes sin diferencias significativas; mientras que los textos Conceptos de genética y

Principios de genética hacen referencia sin mayor énfasis de enunciados en dicha dimensión principalmente para el **gen D**.

Finalmente, respecto al análisis realizado en torno a las dimensiones escogidas se puede concluir que:

El libro introducción al análisis genético contempla las cuatro dimensiones de una manera proporcional para los dos tipos de **genes D y P**, esto nos lleva a establecer la relación entre las categorías y dimensiones en el texto, lo que responde al propósito de los autores de conectar la genética clásica con la molecular, y a la visión holística de ciencia para la cual son igualmente importantes los descubrimientos, los métodos de inducción y las técnicas de análisis en el proceso de construcción del conocimiento, sin dejar de lado que la organización y énfasis del texto que permiten que este texto sea usado en campos de investigación y de enseñanza de la misma.

Los textos principios de genética y conceptos de genética tienen como intención de fondo: el desarrollo de habilidades en la solución de problemas, a partir de explicaciones claras a través de la descripción de experimentos fundamentales con el fin de establecer un esquema conceptual para el aprendizaje y comprensión de la información que constituye el campo de la genética. Así mismo los dos textos anteriormente mencionados coinciden en generar un panorama que pretende presentar los contenidos del texto de forma que puedan establecerse relaciones directas entre ciencia y sociedad a través de ejemplos y situaciones en

las cuales se presenta a la ciencia y particularmente la genética como algo cercano y cotidiano.

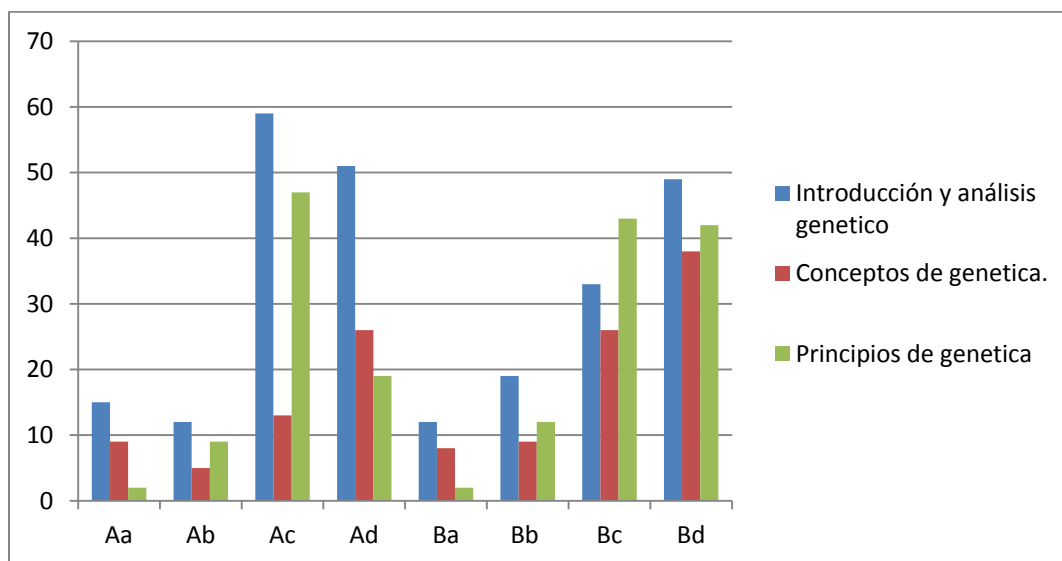


Figura N°23: Distribución de frecuencia de enunciados dimensiones a: Histórica - cronológica, b; Histórica-epistemológica, c: Histórica-experimental, d; Conceptual . A. Gen P y B Gen D en los tres textos. Texto 1: Introducción al análisis genético. Texto 2: Conceptos de genética. Texto 3: Principios de genética.

Con respecto **el gen P y gen D**, todos los textos poseen un mayor número de enunciados de **gen D**. describiendo de éste aspectos alusivos a su función, seguido de su estructura y organización y muy poco de su nivel de acción o jerárquico y de contexto

En relación al **gen P**, aunque en términos de número sus enunciados se presentan de manera menos recurrentes que el **gen D**, estos profundizan más la categoría estructura y organización, seguido de su Función, contexto y nivel jerárquico.

Esto podría tener implicaciones educativas al privilegiarse una noción de **gen D** a nivel de su estructura y organización pero de Función de **gen P**. No se abordan de

forma permanente aspectos alusivos a su nivel jerárquico ni de contexto, lo cual genera dificultades al tratar de extrapolar los niveles de acción en los cuales tiene lugar cada gen.

Por otra parte, el abordaje de los tres textos privilegia el uso de enunciados para los **genes P y D** de manera conceptual, histórica-experimental sin mayor tratamiento de aspectos epistemológicos que podría estar fortaleciendo una visión instrumentalizada y reduccionista del desarrollo de esta ciencia.

### ***2.2.3.¿Cómo integrar los referentes HyE del concepto gen, las representaciones y análisis de libros en la propuesta de una estructura teórica de enseñanza?***

Los resultados precedentes a esta pregunta nos permiten establecer una línea de vinculación que permite la integración entre la HyE del concepto con la enseñanza, viendo las dificultades que entraña la polisemia del concepto en las representaciones en profesores y estudiantes así como en libros de texto.

Para poder establecer una propuesta de integración, *primero* se elaboró una secuencia cronológica de eventos asociados a la reconstrucción del concepto gen a nivel histórico que no necesariamente responde al análisis epistemológico. Ello permitiría establecer los elementos esenciales a través de la historia que transformaron o incidieron en el desarrollo de la genética y los campos de acción.

Como *segundo* se establecen las preguntas que desde una perspectiva epistemológica se responden y constituyen el aspecto relevante de esa historia, *tercero* se determinaron vínculos entre los desarrollos históricos los aspectos epistemológicos de la biología de la época, y las representaciones de gen en docentes y estudiantes para encontrar posibles asociaciones a problemas relacionados de enseñanza o aprendizaje y como *cuarto* aspecto se establecen relaciones entre estas dificultades con la HyE del concepto a través de preguntas relevantes.

Esta ruta metodológica constituye la guía para elaboración de una propuesta de enseñanza que permita la integración de la HyE del concepto. Aunque se tuvo en cuenta el desarrollo histórico del concepto, es evidente que la historia del concepto no es lineal, sino que posee ramificaciones en donde el concepto adquirió diferentes orientaciones con implicaciones en campos de la biología como en la embriología, la genética y la evolución; por lo anterior la ruta histórica propiamente dicha es difícil de construir sin tener en cuenta estas redes. Para la elaboración de una propuesta integradora de la HyE para la enseñanza del concepto gen se propone tener en cuenta la epistemología del concepto asumiéndola desde Canguilhem, por lo cual se prestó principalmente mayor atención a las preguntas que a través de la historia del concepto se les da respuesta y que desembocó en los desarrollos que se obtuvieron a lo largo del siglo XIX. De esta ruta metodológica de integración se elaboró una tabla resumen del desarrollo histórico del concepto gen atendiendo a su polisemia, que incluye las preguntas que se procuraron resolver (*que fueron extraídas a través del estado del arte de la HyE*



*del concepto*), estableciendo los campos en los cuales tuvo impacto reubicando epistemológicamente al concepto a partir de las dificultades asociadas a las representaciones de gen que presentan docentes, estudiantes y libros de texto (anexo 13)

Así, la tabla (anexo 13) presenta la secuencia de hechos históricos, pero de igual manera los referentes epistemológicos, las implicaciones de los mismos, las posibles dificultades asociadas al aprendizaje o enseñanza del concepto en genética y la noción de gen al cual responden. Con esta tabla de referente se realiza una propuesta de libro de uso en cursos de genética que plantea la enseñanza del concepto gen a través de diez (10) preguntas orientadoras que posibilitarían un abordaje metodológico a través de la inclusión de aspectos históricos y epistemológicos (anexo 14). La propuesta de libro no se entrega terminada porque corresponde a otro trabajo, pero en él se enuncia de una manera general las intenciones que se pretenden en esta investigación. Una vez procesada la información proveniente de la reconstrucción histórica se plantea una secuencia de trabajo para la Enseñanza del concepto gen que toma principalmente algunas de las preguntas que se resolvieron a lo largo del desarrollo histórico de la genética y la biología. Las preguntas se agrupan en cinco (5) unidades de la siguiente manera: La primera unidad denominada GEN Y HERENCIA, pretende establecer las relaciones que permitieron vincular el concepto con el fenómeno de la herencia y las principales teorías que alrededor del tema se planteaban para responder sobre las preguntas: **¿Qué se transmite?** y **¿cuál es el mecanismo de transmisión de lo que se hereda?**, la segunda unidad GEN Y EVOLUCION, remota la teoría de la selección natural de Darwin y

los acontecimientos posteriores al redescubrimiento de las leyes de Mendel y responde básicamente a las preguntas: **¿Cuál es el origen de la variación?** y **¿Cuáles son las unidades sobre las cuales actúa la selección?** la tercera unidad **GEN Y DESARROLLO**, plantea un acercamiento al desenvolvimiento de la biología del desarrollo a través de una sola pregunta **¿Cómo una única célula germinal es capaz de reproducir la totalidad del cuerpo con todos sus detalles?**, la unidad denominada **GEN Y ADN**, la quinta expresamente muestra el desarrollo y acercamiento a la genética molecular con las preguntas: **¿Qué lugar que ocupan los genes?****¿Cuál es la naturaleza química del gen?****¿Cuáles son los mecanismos que regulan la estabilidad y acción del gen?** y la última unidad **GEN Y GENOMAS** posibilita un acercamiento a los desarrollos posteriores a la dilucidación de la estructura de la molécula del ADN y los consecuentes avances en la biología experimental y sintética con el advenimiento de la genética molecular, biología molecular y la biotecnología que procura acercarse a las preguntas **¿Cómo la organización de los genes modula el genoma?** y **¿Qué comparten los genomas?**, esta unidad no está concluida por lo cual no se incorpora en el anexo. La enseñanza de la genética y con ella del concepto **gen** no desestima la necesidad del abordaje de los desarrollos que en cada una de las áreas de la biología se generó y que son usualmente temas de enseñanza en muchos textos sino, que propone la necesidad de integrar el referente HyE para su conceptualización, así, cada unidad hace además algunas recomendaciones de capítulos de texto (de los tres textos trabajados en esta investigación) asociados a cada unidad. Otro aspecto en la propuesta es el énfasis que se establece en relación al concepto de gen, los modelos, estructura y función en relación con el

nivel jerárquico. Este énfasis se privilegió en cada unidad dada la información en relación a las representaciones de gen que poseen profesores y estudiantes y las posibilidades de uso de los libros de texto que si bien presentan algunas tendencias el trabajo de sus unidades desde un referente pueden enriquecer más el trabajo de aula.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El problema de investigación planteado en relación al *que el no reconocimiento de la epistemología e historia del concepto gen, imposibilita desarrollar estrategias de enseñanza que atiendan la polisemia, los alcances y limitaciones del concepto, teniendo en cuenta el campo en el cual éste adquiere su significado (biología evolutiva y biología del desarrollo)* y en consecuencia, el propósito de la presente investigación de plantear un modelo de enseñanza del concepto gen centrado en su historia y epistemología implicó reconocer:

### 1. **¿Cuál es la diversidad conceptual de gen desde el referente histórico y epistemológico?**

Al respecto la investigación permitió reconocer que la polisemia del concepto gen ha sido tratada por historiadores de la biología desde los años 80's pero realmente es muy reciente la reflexión de la implicación que tiene esta diversidad conceptual en la enseñanza. Son pocos los grupos o autores que han adelantado investigaciones al respecto y ellas se quedan en investigaciones del estado de la cuestión sin propuestas prácticas para el abordaje de la situación. La diversidad conceptual de gen ha sido abordada desde dos perspectivas; Una primera perspectiva es histórica (Falk, 1986) quien reconoce la existencia de 5 conceptos de gen; gen mendeliano, gen bioquímico, gen clásico molecular, gen moderno y gen nominal esta diversidad es delimitada desde un contexto histórico que implicó la reformulación del concepto con base a los aportes y nuevos conocimientos que provenían de la biología molecular, bajo esta diversidad conceptual la noción de

gen está dada por momentos particulares en la historia de la genética y es la diversidad adoptada por varios autores interesados en la implicación educativa de esta diversidad (Pitombo, Rocha de Almeida y El Hanni (2008), Flodin (2009), Carvalho dos Santos, Joaquim y El-Hani (2012) y Gericke *et. al.*, (2012). La segunda perspectiva es la epistemológica propuesta por Moss (2003) y asumida en la presente investigación solo limita la diversidad conceptual de gen a dos tipos **Gen P** y **Gen D**. Esta diversidad es asumida desde una perspectiva epistemológica y no histórica, en ella **gen P** caracteriza la noción de gen que subyace en la biología evolutiva actual, tras la teoría sintética de la evolución en la cual *los genes se interpretan como señales que sirven para predecir rasgos fenotípicos ya que normalmente señalan una característica funcional del organismo*. Tras ello, el gen implica un ente abstracto en el sentido que no tienen un referente molecular y espacial particular, el *gen* o los genes se constituyen en marcadores de diferencias, que dan cuenta de las diferencias entre rasgos fenotípicos, pero no contribuyen a la explicación sobre cómo se forma el rasgo. **Gen D** identifica la noción de gen que le subyace a la biología del desarrollo, *en donde el gen es visto como un recurso para el desarrollo, mas no señala ninguna parte del fenotipo; no es intencional, sino que se define en virtud de la secuencia de aminoácidos que intervienen en la construcción de una proteína cuya construcción es altamente compleja y dependiente de factores epigenéticos*.

Desde la perspectiva de investigación de asumir la polisemia del concepto gen de **gen P** o **gen D** permite relacionar algunas de las dificultades que se asumen como

frecuentes de enseñanza o de aprendizaje de la genética con los marcos teóricos o referentes epistemológicos en donde cada concepto tiene acción.

La investigación permitió identificar los debates propios en torno a la polisemia del concepto y los planteamientos en pro y contra de la existencia del concepto gen desde la perspectiva de la complejidad y de los sistemas que constituye hoy día referente en biología y del tránsito de los debates que tiene lugar en Biología a la enseñanza de la Biología, al respecto la presente investigación establece la necesidad de un abordaje epistémico en la enseñanza del concepto gen y propone un referente epistemológico desde la perspectiva de Canguilhem para el tratamiento de conceptos en tensión en biología con incidencia en la enseñanza. Desde esta perspectiva, se plantea una dirección para el análisis histórico, ir del concepto a la teoría, a través de la reconstrucción de las preguntas o problemas que dieron origen al concepto.

Por otra parte se confirma la utilidad del modelo Lakatosiano para el establecimiento de metodologías de investigación y se plantea una ruta metodológica para el abordaje HyE del concepto gen y en general de conceptos polisémicos con potencialidad para generar propuestas de enseñanza.

**2. *¿Cuáles son las representaciones sobre gen entre los profesores universitarios y en estudiantes en programas de formación de licenciados en biología?***

La identificación de las representaciones de concepto gen en profesores y estudiantes a través del empleo de una encuesta con enunciados que caracterizan **gen P** o Gen D en facetas de contexto: utilidad, estructura y organización, definición, modelo y función y preguntas abiertas permiten reconocer que: Los docentes explicitan su representación asociada a la noción de **gen D** que guarda relación con las imágenes que lo representan, pero las correlaciones y el problema que se plantean muestran hibridación en las características que usualmente establecen entre definición, estructura y organización propia del **gen D** con función y utilidad de **gen P**, aspecto evidente en las asociaciones poco definidas entre enunciados de una misma faceta al o al presentarse agrupaciones híbridas de enunciados tanto de **gen P y gen D** de facetas distintas.

De igual forma, se reconoce que en los docentes su representación de gen hace poca referencia al nivel en el cual tiene acción el gen, sus modelos o ilustraciones gráficas guardan relación con una función específicamente de regulación y control asociada a la síntesis de proteínas pero no tocan o abordan aspectos relacionados con herencia que en los estudiantes sí es manifiesta.

En cuanto a los estudiantes, se evidencia en ellos una representación asociada a la noción de **gen D**, evidente en las definiciones e imágenes con las que lo representan. Las correlaciones entre enunciados muestran una interesante delimitación de las facetas con ambos genes pero una poca claridad y uso de la faceta utilidad y modelo. La representación de **gen P** guarda relación con la función específicamente asociada a la herencia propiamente dicha.

De manera general, los enunciados de la faceta de modelo no evidencian claras asociaciones ni relevancia tanto en docentes como en estudiantes. de igual manera, tanto docentes como estudiantes hacen poca la referencia del nivel en el cual tiene acción en gen y su función.

### 3. *¿Cuál es el concepto gen tratado en libros de texto?*

Con respecto a la noción de gen que se privilegia en los libros de texto (**gen P y gen D**), los textos tres textos analizados poseen un mayor número de enunciados propios de **gen D**. describiendo de éste aspectos alusivos principalmente a su función, seguido de su estructura y organización y muy poco de su nivel de acción o jerárquico y contexto. Aunque en términos de número los enunciados de **gen P** se presentan de manera menos recurrentes que el **gen D**, estos profundizan más la categoría Función, contexto y nivel jerárquico lo cual genera dificultades al tratar de extrapolar los niveles de acción en los cuales tiene lugar cada gen.

Los tres textos privilegian el uso de enunciados para los **genes P y D** de manera conceptual y histórica-experimental sin mayor tratamiento de aspectos epistemológicos y cronológicos que podría estar fortaleciendo una visión instrumentalizada y reduccionista del desarrollo de esta ciencia.

### 4. *¿Cómo integrar los referentes HyE del concepto gen, las representaciones y análisis de libros en la propuesta de modelo teórico para su enseñanza?*



La identificación de las representaciones de gen en docentes y estudiantes así como de la noción de **gen P** promovida en libros de texto bajo la perspectiva de la historia y epistemología permitirá reconocer algunas dificultades asociadas a la noción del concepto con implicación en la enseñanza y en el aprendizaje, en la generación de modelos teóricos en libros de texto, diseños curriculares y en propuestas de formación de maestros. La integración de los *referentes HyE del concepto gen, las representaciones y análisis de libros permitió la generación de una* propuesta para la enseñanza del concepto gen a través del desarrollo de diez (10) preguntas orientadoras que posibilitarían un abordaje metodológico para la enseñanza del concepto gen, a través de la inclusión de aspectos históricos y epistemológicos. La propuesta se concretiza en la elaboración de un texto innovadora de Historia y epistemología del concepto **gen P** para uso en cursos de genética u otros relacionados. Las 10 preguntas se constituyen en la secuencia de contenidos y de abordaje en relación al concepto gen se presume un aprendizaje del concepto en todas sus dimensiones y su estructura permitirá la integración, delimitación, aplicación y diferenciación del concepto gen dentro de los campos de la biología como lo son la genética la evolución y el desarrollo desde la perspectiva histórica y epistemológica.

Finalmente a modo de reflexión de esta investigación **¿Qué significado tendría para la enseñanza de las ciencias incluir aspectos HyE?**

El asumir la HyE como referente y como estrategia para la enseñanza de las ciencias posibilita generar alternativas para la integración de aspectos propios de

la Naturaleza de las Ciencias en los currículos, pensando sus contenidos y metodologías. De igual manera, el reflexionar y hacer sobre el valor educativo de la HyE en la enseñanza de las ciencias cursa por un trabajo revisión de la ciencia misma que se enseña, tema que no solo implica a docentes, epistemólogos y didactas sino a los mismos historiadores de la Biología como es este el caso, para llamar y centrar la atención sobre aquellos aspectos, conceptos o fenómenos que son de relevancia y favorecer la re significación que tendrían dentro de la ciencia a enseñar.

La presente investigación es un primer acercamiento a la revisión de esos contenidos (conceptos) esenciales y centrales en el devenir de la biología con un acercamiento histórico y epistemológico teniendo en cuenta las dificultades que han sido reportadas para su enseñanza o aprendizaje y las representaciones del concepto que tienen los actores del proceso, con orientación a proponer una secuencia de contenidos que señale a través de preguntas orientadoras el devenir del concepto, las metodologías con las cuales se trató y los campos de implicación en los cuales se consolidó o disolvió. el documento elaborado se constituye en un material de apoyo a una propuesta metodológica para la enseñanza de conceptos polisémicos como lo es el concepto gen con un abordaje HyE (anexo 14), pero no constituye aun en una propuesta práctica la cual implicaría aspectos muchos más intencionalizados de enseñanza que promueva la reflexión y participación de docentes y estudiantes , propuestas que inician con la identificación de contenidos relevantes o situaciones problémicas y la elaboración de materiales didácticos que incorporen su HyE que sean de fácil acceso, lectura y uso.

Finalmente con esta investigación se aporta en el enfoque que se puede dar en un análisis histórico epistemológico de los conceptos para el propósito de construir propuestas en la formulación y estructuración de planes de estudio bajo esta perspectiva lo cual constituye una línea de trabajo del grupo de investigación en el cual se circunscribe esta tesis doctoral.

## **APORTES E IMPLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Los resultados de esta investigación aportan en la generación de una nueva orientación en las investigaciones educativas en torno a la pertinencia de la historia y epistemología de conceptos para la estructuración de modelos de enseñanza, para el caso particular de esta investigación del *concepto gen*.

De los resultados de esta investigación se plantean implicaciones que pueden incidir en la enseñanza de la biología en al menos tres niveles:

1. La formación profesional docente, atendiendo a mejorar los conocimientos históricos, epistemológicos y didácticos del contenido.
2. El desempeño profesional, orientado a la renovación de las formas de intervención didáctica, con el objetivo de mejorar los procesos de enseñanza.
3. La necesidad latente de revisar los contenidos de enseñanza y la generación de materiales de uso para docentes y estudiantes que vinculen la H y E.

## BIBLIOGRAFIA

ADÚRIZ-BRAVO, A.2004. Apuntes sobre la formación epistemológica de los Profesores de ciencias naturales. *Pedagogía y saberes*. Universidad Pedagógica Nacional. Facultad de Educación. p.9-19

\_\_\_\_\_.2006. La epistemología en la formación de los profesores de ciencias. *Educación y Pedagogía*. Medellín. Universidad de Antioquia, Fac de Educación. Vol XVIII, núm 45 (Mayo-agosto). p. 25-36

\_\_\_\_\_.2010. Aproximaciones histórico-epistemológicas para la Enseñanza de conceptos disciplinares. *Asociación Colombiana para la investigación en Educación en Ciencias y Tecnología EDUCyT*.Revista EDUCyT, 2010; Vol. 1, Enero- Junio, ISSN 2215-8227

ADÚRIZ-BRAVO, A Y ERDURAN S. 2003. La Epistemología de la Biología Como Disciplina Emergente y Su Posible Contribución a La Didáctica de la Biología. *Revista de Educación en Biología*.6 (1). p. 9-14.

ALDANA M. 2007.estructura y dinámica de redes genéticas. *Gacetas Biomédicas*. Universidad Nacional Autónoma De México.Febr. Accesible En [Http://Www.Fis.Unam.Mx/~Max/Spanish/Gaceta%20biomedicas.Pdf](http://Www.Fis.Unam.Mx/~Max/Spanish/Gaceta%20biomedicas.Pdf).Acc revisado El 20 De Octubre Del 2008.9:48pm.

ALEMÁÑ, B 1987. Errores comunes sobre relatividad en profesores de

enseñanza secundaria . En *Enseñanza de las ciencias*. 15(3)

ALLEN, R., Y MOLL, M. 1986. A Realistic Approach To Teaching Mendelian Genetics. *The American Biology Teacher*, 48 (4), p. 227 – 230.

ALLCHIN,D. 2000. Mending Mendelism. *The American Biology Teacher*, 62(9),p. 633-639.

AYUSO, E y BANET, E. 1996. Dificultades de los estudiantes de educación Secundaria para resolver problemas sobre la herencia biológica. XVII Encuentros de didácticas de las ciencias experimentales. Cuaderno De Resúmenes. La Rábida, España.

AYUSO, E y BANET, E. 1996. *Dificultades de los estudiantes de educación Secundaria para resolver problemas sobre la herencia biológica*. XVII encuentros de didácticas de las ciencias experimentales. Cuaderno De Resúmenes. La España: Rábida.

\_\_\_\_\_.1998. Relaciones entre genética y evolución en la Educación secundaria, concepciones de los alumnos y actividades de Enseñanza en el marco del constructivismo. Resúmenes de Investigaciones. *Investigación e innovaciones en enseñanza de las Ciencias*, Vol. II. Coord. Banet y Pro. Primera Edición Lérida. España.

\_\_\_\_\_. 2002. Alternativas a la enseñanza de la genética en la educación secundaria. *Enseñanza De Las Ciencias*. 20 (1).p.133-157.

AYUSO, E, BANET, E y ABELLÁN, T. 1996. Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato. *Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*. 14 (2). p.127- 142.

AVERY O. T., MACLEOD, C. M. y MCCARTY, M. 1944. Studies on the Chemical Nature of the Substance Inducing Transformation of Pneumococcal Types. Induction of Transformation by a Desoxyribonucleic Acid Fraction Isolated from Pneumococcus Type III. In: *The Journal of Experimental Medicine* 79:p.137–156 by permission of The Rockefeller University Press.

AZKONOBETA, T. 2005. Evolución, desarrollo y (auto)organización. Un Estudio sobre los principios filosóficos de la evo-devo. Tesis Doctoral, Universidad Del País Vasco San Sebastián, España, 217p.

BACHELARD, G. 1976. *La formación del espíritu científico*. 5 ed. México: Siglo Veintiuno, editores, S.A.p.305.

BANET, E., Y AYUSO, E. 1995. Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato. Contenidos de enseñanza y conocimiento de los alumnos. *Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, 13 (2), p.137-153.

- \_\_\_\_\_. 1998. La Herencia Biológica En La Educación Secundaria: Reflexiones Sobre Los Programas Y Estrategias De Enseñanza. *Alambique: Didáctica De Las Ciencias Experimentales*, Abril V (16), p.21-31.
- \_\_\_\_\_. 2000a. Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato. Resolución De Problemas O Realización De Ejercicios. *Enseñanza De Las Ciencias*, 14 (2).
- \_\_\_\_\_. 2000b. Teaching genetic at secondary school: a strategy of teaching about the localitation of inheritance information. *Science Education*, 84 (3), p. 313-335.
- \_\_\_\_\_. 2003. Teaching Of Biological Inheritance and Evolution Of Living Beings In Secondary School. *Journal Science Education*. 25 (3). p.373-407.
- BARDIN, L. 1991. Análisis de contenido. Akal Universitaria.
- BELTAN L. 2006. *Por una nueva historiografía de los conceptos científicos. En Martínez F Y Guillaumin G, 2006, Historia, Filosofía Y Enseñanza De La Ciencia. . México: Editorial Filosofía De La Ciencia. UNAM.*



BEURTON J.P, FALK, R y RHEINBERGER H. 2000. *The concept of the Gene in development and evolution: historial and epistemological Perspectives.*

Cambridge. Cambridge University Press.

BONNER D. 1948. Genes as Determiners of Cellular Biochemistry Science, New Series, Vol. 108, No. 2818 (Dec. 31, 1948) p. 735-739.

BRACHET, J. 1973. *Embriología molecular y diferenciación celular.* p.143-177. En: Francois J., Et, al.. *Biología Molecular.* Edt la Recherche. 228p.

BRAUN W. 1946 Some Thoughts on ``Gene Action' Science, New Series, Vol. 104, No. 2689. (Jul. 12, 1946) p. 38.

BROWNING, M. Y LEHMAN, J. D. 1988. Identification of misconceptions students in genetic problem solving via computer program. *Journal Of Research In Science Teaching*, 25 (9).p.747-761.

BUGALLO,. 1994. Revisión Bibliográfica De Investigaciones Sobre Genética. *Enseñanza De Las Ciencias*, 12 (3). p.150-163

CANGUILHEM, G. 2005. *Ideología Y Racionalidad En La Historia De Las Ciencias De La Vida.* . 1 (Ed). Buenos Aires: Amarrortu Editores

CARVALHO DOS SANTOS y EL-HANI.CH. SF.2007 · Ideas About Genes In Brazilian High School Biology Textbooks. \* Publicado Em Atas Do Vi Enpec.

CARVALHO DOS SANTOS V., JOAQUIM L.M Y EL-HANI CH. 2012. Hybrid Deterministic Views About Genes in Biology Textbooks: A Key Problem in Genetics Teaching. In Sci & Educ . 21:p.543–578.

CLAROS, G. 2003. Aproximación histórica a la biología molecular a través de sus protagonistas, los conceptos y la terminología fundamental. Panace@. Vol IV. Nº 12. Junio. Accesible en:  
<http://www.medtrad.org/pana.htm>.

CLARET A. 2003. *Educación y formación del pensamiento científico*. Cat.

Agustín Nieto Caballero. Universidad del Valle e ICFES.

\_\_\_\_\_.sf. La historia de las ciencias en los textos universitarios.

Documento electrónico. Comunicación personal vía electrónica. 15 de octubre de 2008, 08:34 pm.

CHIN, C. Y CHÍA, L. 2006. Problem–based learning: using iii structured problems in biology: *Proyect Work. Science Education*. 90, p.44-67.

CHIN CHUNG, T. Y CHAO MING, H. 2002. Exploring Students Cognitive Structures In Learning Science: A Review Of Relevant Methods. *Journal Biological Education*,36 (4),p.163-169.

COLLINS, Y STEWAR . 1989. The Knowledge Structure Of Mendelian Genetics. *The American Biology Teacher*. N° 51 (3) p.143-149.

DAVSON, V. Y TAYLOR, P. 2000. Do adolescents bioethical decisions differ from those of experts?. *Journal Biological Education*, 34 (4) p.184-187.

DAWKINS R. *El gen egoísta*. 1976. Salvat Editores, S.A., 2ª edición, Barcelona, 2000, 407 páginas.

DÍEZ y MAULINES. 1999. Fundamentos De Filosofía De La Ciencia, Capítulo 4. Ariel(Ed).Barcelona, p.91-123. Recuperado [Http://Padron.Entretemas.Com/Otrassecc/Descargas/Conceptoscientificos](http://Padron.Entretemas.Com/Otrassecc/Descargas/Conceptoscientificos). Pdf. El 5 De Marzo Del 2009, 3:45pm

DIEZ, Y CABALLERO. 2004. Imágenes externas de gen y cromosoma en materiales instruccionales. Para la enseñanza de la biología en el sistema educativo venezolano. *Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 4 (2), p.74-86.

DIEZ D., CABALLERO Y RODRÍGUEZ PALMERO. 2006. Los Significados Del Concepto De Gen En Biología Y Sus Implicaciones Para La Enseñanza. Diagnóstico Con Expertos Científicos Y Biólogos. V Congreso Internacional De Aprendizaje Significativo. Septiembre 2006. Madrid, España.

DIEZ , D. 2006 a. El concepto de gen y cromosoma, conocimiento estructurante de la biología. Algunas aportaciones desde la investigación en enseñanza de las ciencias. *Revista De Investigación*, (59), p.189-219.

\_\_\_\_\_ (2006b). El concepto de gen y cromosoma, conocimiento estructurante de la biología. Algunas aportaciones desde la investigación en enseñanza de las ciencias. *Revista De Investigación*, (59), p.189-219.

\_\_\_\_\_. 2007. Tesis sin Publicar., Comunicación Personal. Documento Electrónico. Comunicación personal vía electrónica. 25 de octubre de 2007, 06:47 pm.

DU BOIS, A.M. 1937.El desarrollo de la genética. Actas ciba. Octubre. N°10. p.307-325.

DOBZHANSKY TH.1953. Review:The Theory of the Gene. The American Naturalist, Vol. 87, No. 833. (Mar – Apr 1953) p. 119-123.

EI-HANI, C. 2005. Controversies about the gene concept and its impact on the teaching of genetics. *Atas do v encontro de pesquisa em educação Em Ciências*. Enpec, Brasil.

\_\_\_\_\_. 2007. Between the cross and the sword: the crisis of the Gene concept. *Genetics And Molecular Biology*. 30(2).p. 297-307.

EI-HANI, 2007. Between the cross and the sword: the crisis of the Gene concept. *Genetics And Molecular Biology*. 30(2).p. 297-307.

EL-HANI CH. 2012. Conceptual Variation or Incoherence? Textbook Discourse on Genes in Six Countries. *Sci & Educ*. Version On-.line.

EI-HANI, QUEIROZ y EMMECHE. 2005. A semiotic analysis of genetic information system. *Work In Press*.

ESPERBEN, M. T. Y BIRABEN, S. (S/F). Reflexiones en torno a la enseñanza de la genética. Recuperado en: [www.unesco.cl/medios/reflexionesentornoensenanzagenetica](http://www.unesco.cl/medios/reflexionesentornoensenanzagenetica). 2 de mayo del 2008, 12:45pm.

EVANS, R. 1983.using rna secuencing to classify organism into tree primary kingdoms. *The American Biology Teacher*, 45 (3) p.151 – 155.

- FALK, R. 1986. *What is a gene? Studies in the History and Philosophy Of Science*. 17. P.133–173.
- FALK,R. 2002. "The Gene: A Concept In Tension", En P. Beurtony R. Falky H.-J. Rheinberger (Eds.). *The Concept of the Gene in Development and Evolution* (p. 317-348). Cambridge: Cambridge University Press.
- FLODIN, V. S. 2009.*The Necessity Of Making Visible Concepts With Multiple Meanings in Science Education: The Use Of The Gene Concept In A Biology Textbook. Science y Education*. 18(1).p. 73-94.
- \_\_\_\_\_2009.The Necessity of Making Visible Concepts with Multiple Meanings in Science Education: The Use of the Gene Concept in a Biology Textbook. In *Sci & Educ* 18:p.73–94.
- FOGLE, T.1990. *Are genes units of inheritance? Biology And Philosophy* 5, p.349–371.
- \_\_\_\_\_. 2000.The Dissolution of Protein Coding Genes in Molecular Biology. En P. Beurtony R. Falky H.-J. Rheinberger (Eds.). *The Concept of the Gene in Development and Evolution* (p. 3-25). Cambridge: Cambridge University Press.
- FORISSIES Y CLE'MENT. 2003. Teaching Biological Identity As Genome/Environment Interactions. *J.Biol Educ* 37(2):p.85–90.

GAGLIARDI, R. 1986. *Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación*. Enseñanza de las Ciencias, 4 (L). p. 30-35.

GALLEGO R., MIRANDA R Y TORRES L, 2007. Didáctica de las ciencias. Aportes para una discusión. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.

GARDNER, SIMMONS y SNUSTAD. 1998. Principios De Genética. Edt Limusa Wiley. Madrid. p.1-19

GERICKE N. y HAGBERG M. 2007. Definition of historical models of gene Function and their relation to students' understanding of genetics. *Sciencey Education*. 16.p.849–881.

GERICKE N., HAGBERG M., CARVALHO DOS SANTOS V., JOAQUIM L. M. y 2012 ???

GESS-NEWSOME J Y LEDERMAN N. 2001. *Examining Pedagogical content Knowledge*. Ed kluwer academic publishers.

GILBERT, S. F., OPITZ, J.M., RUDOLF A. R (1996) Resynthesizing Evolutionary and Developmental Biology. *Developmental biology* 173, p.357–372

GOLDBACH T.E y EL-HANI CHARBEL NIÑO. 2008. Entre receitas, programase códigos: metáforas e idéias sobre genes na divulgação científica e

no contexto escolar. Revista de educação em ciência e tecnologia,  
V.1, N.1 p.153-189, Mar.

GOLDSCHMIDT, 1937. The Theory Of The Gene. Lecture Delivered Befote The  
University Of California Chapter Of Sigma Xi, November. Recuperado En  
[Http://Links.Jstor.Org/Sici?Sici=0096-3771%28193803%2946%3a3%3c26%20%3attotg%3e2.0.Co%3b2-1](http://links.jstor.org/sici?sici=0096-3771%28193803%2946%3a3%3c26%20%3attotg%3e2.0.Co%3b2-1). 18 De Septiembre Del 2007.  
6:58pm

GOLDSCHMIDT R.1950.Repeats and the Modern Theory of the Gene  
roceedings of the National Academy of Sciences of the United States of  
America, Vol. 36, No. 7.

GRAY, 1992. Death Of The Gene: Developmental Systems Fight Back. In: Griffiths  
Pe(Ed) Trees Of Life: Essays In philosophy Of Biogy. Klumer, Dordrecht.  
p. 165-209.

GRECA I. Y MOREIRA, M. 1995. *Un estudio sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y profesionales*. U.F.R.G.S.

GREEN M.1955.Pseudoallelism and the Gene Concept .The American  
Naturalist, Vol. 89, No. 845. (Mar. - Apr., 1955), p. 65-71.



- GRIESEMER, J. 2000. *Development, culture and the units of inheritance*.  
*Philosophy Of Science* 67p.
- GRIFFITHS, P. y NEUMANN-HELD, E. 1999. The many faces of the gene.  
*Bioscience* 49 (8), p.656–662.
- GRIFFITHS y KAROLA. 2001. Gene. Appear In: Hull, David And Michael Ruse  
(Eds) Cambridge Companion To The Philosophy Of Biology
- GRIFFITHS P. 2002. *Lost: one gene concept. Reward to finder. Biology And  
Philosophy*. 17:p. 271-283
- HARRISON, Y SAMPSON, J. 1992. Enhancing understanding of  
recombinant and technology. *Journal Of Biological Education*. 26 (4).
- HERNANDEZ J. 2003. 50 años de la doble hélice: El ADN la moléculas de la vida,  
una historia para recordar ¿ Si no hubieran sido Watson, Crick y Willkins  
entonces quienes? p.55-59. En: Astrolabio. Revista de Investigación y  
ciencia del Gimnasio campestre. Vol 3, N° 1. Enero-Julio.
- HERSHEY, A. D. Y CHASE, M. 1952. Independent functions of viral protein and  
nucleic acid in growth of bacteriophage. In: *J Gen Physiol*. 36:p.39-56.

HOYOS, B. C. 1999. *Un modelo para investigación documental*. Guía teórico práctica sobre la construcción de estados del arte. Medellín. Señal editora.

IBAÑÉZ. 2007. Los Conceptos Científicos Y Sus Límites. Recuperado en <Http://Webblogs.Madrimasd.Org/Universao/Archive/2007/11/10/78477.AspX>.  
5 de marzo de 2010.

JIMÉNEZ, BUGALLO Y DUSCHL, F.2000. La enseñanza de la genética en la escuela secundaria. *Revista Electrónica De Enseñanza De Las Ciencias* (2), 3.

JOAQUIM CARVALHO DOS SANTOS, ROCHA DE ALMEIDA, MAGALHÃES, EL-HANI. (2007).Concepções De Estudantes De Graduação De Biologia Da Ufpr E Ufba Sobre Genes E Sua Mudança Pelo Ensino De Genética: Publicado Em Atas Do Vi Enpec.

KELLER, E.F. 2000. El siglo Del gen. Cien años del pensamiento genético. Ediciones península. 173p.

\_\_\_\_\_.2000. Lenguaje y vida. Metáforas de la biología en el siglo XX. Editorial Manantial. Buenos Aires, Argentina. 134p.

\_\_\_\_\_.2000. Decoding the genetic program:or some circular logic in logic of circulatory.En P. Beurtony R. Falky H.-J. Rheinberger (Eds.).

*The Concept of the Gene in Development and Evolution* (p.159-177).

\_\_\_\_\_. 2005. The century beyond the gene. *Journal Bioscience*, 30, p. 3-10.

KNIGHT, R. 2007. Reports of the death of the gene are greatly exaggerated.

*Biology and Philosophy*. 22: p.293-306.

KNIPPELS. 2002. Coping With The Abstract And Complex Nature Of Genetics In

Biology Education. Cd-B Press, Utrecht

KLUNG Y CUMMINGS. 1999. Conceptos De Genética. Cuarta Edición. Editorial

Pearson Educacion

LAZAROWITZ, R. Y PENSO, S.1992. High school students` difficulties in

learning biology concepts. *Journal Biological Education*, 26 (3). p.54-

74.

LECOURT, D. 1978. *Para una crítica de la epistemología*. 2da ed. México:

Siglo Veintiuno (Eds). Cambridge: Cambridge University Press.

LEVENE PA, London EJ. 1928. On the Structure of Thymonucleic Acid. *Science*.

Dec 7;68(1771) p. 572-573.

LEWIS J, KATTMANN U. 2004. Traits, Genes, Particles And Information: Re-Visiting Students' Understandings Of Genetics. *Int J Sci Educ* 26(2):p.195–206

LEWIS Y WOOD-ROBINSON. 2000. All In The Genes?—Young People's Understanding Of The Nature Of Genes. *J Biol Educ* 34(2):p.74–79

LEWONTIN, R. 1979. La base genética de la evolución. Editorial Omega. Barcelona.

\_\_\_\_\_2000. Genes, organismo y ambiente. Colección Límites de la ciencia. Editorial Gedisa. 123 p.

LINDEGREN C. 1956. Stability of the Gene Science, New Series, Vol. 124, No. 3210. (Jul. 6, 1956), p. 26-27

LOCK, R. Y MILES, C. 1993. Biotechnology and genetic engineering; student's knowledge and attitudes. *Journal Of Biological Education*, 27 (4), p.267-272

LONSBURY, J. Y ELLIS, J. 2002. Science history as a means to teach nature of science concepts: using the development of understanding related to mechanisms of inheritance. *Electronic Journal Of Science Education*, 7 (2), p.88-102.

LOPEZ, C.2005. Por una historiografía de los conceptos científicos. El caso de La herencia biológica. p.307-346. En: MARTÍNEZ Y GUILLAUMIN, 2005. Historia, epistemología y enseñanza de la ciencia. Editorial UNAM, Mexico.480p.

LUQUE, J. Y HERRAEZ, A. 2001. Texto ilustrado de biología molecular e ingeniería genética: conceptos, técnicas y aplicaciones en ciencias de la salud. Editorial. ELSEVIER ESPAÑA, S.A. 492p.

MALISOFF M. 1939. What Is a Gene? Philosophy of Science, Vol. 6, No. 4. (Oct.1939), p. 385-389.

MARTINS, L.A. 1999. Did Sutton and Boveri propose the so-called Sutton-Boveri chromosome hypothesis?. *Genet. Mol. Biol.* [online]. 1999, vol.22, n.2, p. 261-272. ISSN 1415-4757. Recuperado el

MARTÍNEZ S y BARAHONA A, (1998), *Historia Y Explicación Biología*. México: Fondo De Cultura Económica.

MARTÍNEZ M. V. Y GIL M. 2003. Genetic engineering: a matter that requires further refinement in spanish secondary school textbooks. *International Journal Science Education*. 25 (9), p.1147–1168

MARTÍNEZ Y GIL . 2003. Genetic Engineering: A Matter That Requires Further Refinement In Spanish Secondary School Textbooks. *International Journal Science Education*, 25 (9),p.1147–1168

MARTÍNEZ Y GUILLAUMIN, 2005. Historia, epistemología y enseñanza de la ciencia. Editorial UNAM, Mexico.480p.

MATTHEWS, M.R. 1994a. *Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: Aproximación actual. Enseñanza de las ciencias*. 12(2).p.255-277.

\_\_\_\_\_ 1994b. Vino viejo en botellas nuevas: Un problema con la epistemología constructivista. *Revista Enseñanza de las ciencias* 12, p.79-88.

MAYR, E.1998. Así es la biología. Madrid: Editorial Debate.

\_\_\_\_\_ 2006. Por qué es única la biología : consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica. Primera Edición. Buenos Aires . 284 p.

\_\_\_\_\_ 2009. La naturaleza de la herencia. p.317-366. En BARAHONA A,

SUARÉZ, E Y MARTÍNEZ S. 2009. Filosofía e historia de la biología. UNAM. 468p.

MORGAN T.H. 1932. "The Rise of Genetics." *Science* 76: p.261–267, p.285–288.

MEINARDI E y REVEL, CH. 2000. *Biología*. Buenos Aires. Aique

MELO,C. 2006. Sp. Enseñanza aprendizaje de la genética.

MELO C Y CABRERA F. 2007. Visiones deformadas de física y genética en libros de texto. Ponencia Del Congreso De Formaron De Profesores En Ciencias, 2007.

MINSKY, M. 1974. A framework for representing knowledge. Disponible en <http://web.media.mit.edu/~minsky/papers/Frames/frames.html>. consultado el 01 de julio de 2009, 9:45 pm.

MOLINA, MARTÍNEZ, MOSQUERA Y REYES. SF. Concepciones de los profesores sobre el fenómeno de la diversidad cultural y sus implicaciones en la enseñanza de las ciencias. (primera fase): propuesta en desarrollo. Documento electrónico, recuperado el 2 de febrero de 2010.

MORGAN, T.H.1932. The rise of genetics. International congress of genetics at Cornell University Ithaca. N.Y. August 25. Documento On Line.

\_\_\_\_\_1952. *Embriología y genética*. Edición Lozada. 3ra edición. Buenos Aires, Argentina.281 p.

MOSTERÍN. 1984. Conceptos Y Teorías En La Ciencia. Madrid: Editorial Alianza.  
p. 11-41.

MORANGE, M.2007.genetics, life and death.Genetics as providing a  
definition of life and death. Chapter 4. A. Fagot-Largeault Et, al.. (Eds.),  
The Influence Of Genetics On Contemporary Thinking, p.51–60. Springer

MOREIRA,M.A.1996. Modelos mentais. Disponible en [www.if.ufrgs.br/public/ensino/ N3/moreira.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/N3/moreira.htm). Consultado el 01 de julio de 2009, 5:06pm

MOSS L. 2003 a. One, two (too1) many genes. *Quart. Rev. Bio.* 78:p.57-67

\_\_\_\_\_ 2003b. What genes can't do. MIT Press, Cambridge, USA, 228pp.

\_\_\_\_\_.2006a. The question of questions: what is a gene? Comments  
on rolstons and griffiths& stotz. *Theoretical Medicine And Bioethics.*  
27: p.523-534.

MUDRY, N. y ANDRIOLI, M. 2005. Proyecto De Investigación Escolar: La  
Genotoxicidad En Los Currículos Del Ciclo De Enseñanza Media y  
Superior.  
*Alambique* (45). p.55-60.



MUDRY Y ANDRIOLI.2005. *Proyecto De Investigación Escolar: La Genotoxicidad En Los Currículos Del Ciclo De Enseñanza Media Y Superior*. Alambique: Didáctica De las Ciencias Experimentales, (45), p.55-60.

MULLER H. 1947.Pilgrim Trust Lecture: The Gene Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, Vol. 134, No. 874.

NAVARRO, P Y DIAZ, C.1995. Análisis de contenido en: Estrategias de investigación social cualitativa. Un giro en la mirada. Galeano M. 2009. La carreta Editores. Colección Ariadna p.126-132.

NEUMANN- HELD, E. 1999. The Gene Is Death- Long Live The Gene: Conceptualizing Genes In The Constructionist Way. In: Koslowski P(Org) Sociobiology And Bioeconomics: The Theory Of Evolution In Biological And Economic Thinking. Springer, Berlin, p. 105-137

OSTERMANN, F Y MOREIRA, M. 2000. *Física contemporánea en la escuela secundaria. Una experiencia en el aula involucrando formación de profesores*. Enseñanza de las ciencias 18(3)

OTERO, M.R. 1996. Psicología cognitiva, representaciones mentales e investigación en enseñanza de las ciencias. Disponible en [www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol4/n2/v4\\_n2\\_a2.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol4/n2/v4_n2_a2.htm). Consultado el 01 julio de 2009, 3:25pm.

- PÁRAMO, P. 2008. La investigación en las ciencias Sociales. Técnicas de recolección de la información. Universidad Piloto de Colombia. p.85-94.
- PASHLEY M.1994. A-level students: their problem with gene and allele. *J Biol Educ.* 28(2):p.120–126
- PEARSON ,2006.“What Is A Gene?”, *Nature* 441: p.399–401.
- PIERSE, B. 2006.Genética un enfoque conceptual. Editorial Panamericana, 2006.
- PITOMBO, M, ALBUQUERQUE, A.ROCHA M y EL-HANI CHARBEL NIÑO. 2007. Gene concepts and ideas about gene function in higher education cell and molecular biology textbooks. Comunicación personal.
- \_\_\_\_\_. 2008. Gene concepts in higher education cell and molecular biology textbooks. *Science Education International*. Vol 19, N° 2, June. p. 219-234.
- PORTIN, P.1993.the concept of the gene: short history and present status. *Quarterly Review Of Biology* 56, p.173–223.

PURSER. 1987. Karyotype success rate increases with stylized chromosomes.  
*The American Biology Teacher*.49 (6),p.360- 363.

RODRIGO M, RODRIGUEZ A Y MARRERO J. 1993. Las teorías implícitas.  
Una aproximación al conocimiento cotidiano. Ed. Aprendizaje Visor.

RHEINBERGER H-J.1996. Genes concepts: Fragments from the perspectives of  
molecular biology. En Fox, K. El siglo del gen.2000.

RUSSELL, G. Y MILLER, M. 1996. Practical DNA technology in school-3: mapping  
and methylation. *Journal Of Biological Education*.30 (4).

SAMARA. 2006. . Epistemología Y Metodología. Elementos Para Una Teoría De a  
Investigación Científica. 3ª Edición. Editorial Universitaria De Buenos  
Aires Buenos Aires.. p.108-124.

SHULMAN, SIGÜENZA, M. Y FRANCISCO, A.2000. Formación de modelos  
mentales en la resolución de problemas de genética. *Enseñanza De Las  
Ciencias*.18 (3), p. 439-450.

SIGÜENZA Y FRANCISCO. 2000. Formación De Modelos Mentales En La  
Resolución De Problemas De Genética. *Enseñanza De Las Ciencias*, 18  
(3), p.439-450

- SCHANK Y ABELSON, 1987. Guines, planes, metas y entendimiento. Ed. Paidós.
- SMITH, C.M.1975. El problema de la vida. Ensayos sobre el pensamiento Biológico. Editorial Alianza Universidad. 448p.
- STADLER L. 1954. The Gene Science, New Series, Vol. 120, No. 3125. (Nov. 19, 1954), p. 811-819
- STEWART, J. 1982. Difficulties experienced by high school students when learning basic mendelian genetics. *The American Biology Teacher*. 44 (2), p.80-84.
- STOTZ K., GRIFFITHS,P., Y KNIGHT, R.2004. How biologists conceptualize genes: an empirical study. *Stud. Hist. Phil. Biol.y Biomed. Sci.* (35), p.647–673.
- STOTZy GRIFFITHS. 2005. "Gene", To Appear In: Hull, David And Michael Ruse (Eds). Cambridge Companion To The Philosophy Of Biology.
- SUTTON, W. S. 1903. The chromosomes in heredity. *Biological Bulletin*, 4:231-251. Recupeado de Electronic Scholarly Publishing . <http://www.Esp.Org>
- STUART, A.1990. Symbols for alleles controlling the human about blond groups. *Journal Of Biological Education*. 24 (1), p. 1-10.

STUBBE, H. 1972. History of Genetics from Prehistoric Times to the ediscovery.of Mendel's Laws. Translated by T.R.W. Waters. MIT Press,Cambridge, MA.

STURTEVARTT A. H. 1965 *A history of genetics*. Harper and Row, New York.  
ESP: Electronic Scholarly Publishing. Recuperado de [www.esp.org/books](http://www.esp.org/books)

SUSUKI, GRIFFITHS, LEWONTIN, MILLER,y JEFFREY.1996. Genética.  
Macgraw-Hill. Cuarta Edición.Madrid

TARAS, L., STAVROULAKIS, A. Y ORTIZ, M. 1999. Human cloning. *The American Biology Teacher*.61(5), p.341- 344

THOMSON, R.1989. Recombinant DNA made easy gene, who's got the gene? *The American Biology Teacher*, 51 (4), p. 227-231

THOMPON, Y STEWART (1985). Secondary Schools Genetics Instruction:" Making Problems Solving Explicit And Meaningful". *Journal Of Biological Education*. N° 19(1)p. 53-62.

TOLEDO Y CAMERO, 2005. Resultados preliminares de aplicación de simulación-juego (modificada): Sintetiza La Proteína. *Revista De Investigación*, 59. P.55-75.

- TSAI, CH. Y HUANG, CH. (2002). Exploring student's cognitive structures in learning science:a review of relevant methods. *Journal Of Biological Education*.36 (4),p.163-169.
- VALBUENA, E 2008. El conocimiento didáctico del contenido biológico. Estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros profesores de la Universidad Pedagógica Nacional. *Revista de educación en biología*. 11 (2). p. 60-63.
- VALEIRAS N Y MEINARDI E. 2007. La enseñanza de la biología las reformas educativas y la realidad del profesorado en Argentina. *Alambique* (51) p.58-65.
- VARELA F.2000. El fenómeno de la vida. Editorial Dolmen, Santiago De Chile.
- VALADE DEL RÍO, E. 1999. La genética en los libros de texto. *Alambique: Didáctica De las Ciencias Experimentales*. Abril-Junio, Vi (20), p. 85-90.
- VENVILLE, G., GRIBBLE, S. y DONOVAN, J. 2005. Learning an exploration of young childrens understanding of genetics concepts from ontological and epistemological perspective. *Science Education*, 89 (4). p.614-633.
- WATSON J. Y CRICK, F. 1953.Molecular Structure of nucleic acids. In: *Nature*. Vol 171.April 25.p.737-738.

WATERS (2004) What Was Classical Genetics? *Stud. Hist. Philos. Sci. C. Med. Sci.* 35: p.783-809.

WATERS, K. 1994. Genes Made Molecular. *Philosophy Of Science* 61, p.163–185

WILSON, E.B. (1900). *The Cell in Development and Inheritance*. 2nd edn. Macmillan, New York.

WILLIAM S. KLUG Y MICHAEL R CUMMINGS. *Conceptos De Genética*. Pearson Education. 1999. Quinta Edición

WOOD-ROBINSON, LEWIS, LEACH, DRIVER (1998). Genética Y Formación Científica: Resultados De Un Proyecto De Investigación Y Sus Aplicaciones Sobre Los Programas Escolares. *Revista enseñanza De Las Ciencias* N° 16(1), p. 43-61

WOOD-ROBINSON C, LEWIS J, LEACH J .2000. Young Peoples Understanding Of Genetic Information In The Cells Of An Organism. *J Biol Educ* 35(1):p.29–35

WOOD-ROBINSON. 1994. Young People's Ideas About Inheritance And Evolution. *Stud Sci Educ* 24:p.29–47

\_\_\_\_\_ 2000. —Do Students See Any Relationship. *Int J Sci Educ*

22(2):p.177–195.

WOUTERS A. 2005. Review Article The Function Debate In Philosophy. *Acta Biotheoretica* (2005) 53: p.123–151. Springer

ZAMBRANO, A.2000. Relación entre el conocimiento del estudiante y el conocimiento del maestro en las ciencias experimentales. Ed . Universidad Del Valle.

ZARRABIEITIA, M.F, BANASCO J.A.OLIVARES, A.I, JAQUINET, M.A Y GUARDADO, E.F.1991. Tema de embriología. Editorial pueblo y educación. La Habana-Cuba.356p.





## ANEXO1

## INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL  
*Educadora de educadores*

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
GRUPO DE INVESTIGACION RELACION ENTRE EL CONOCIMIENTO COMUN Y EL CONOCIMIENTO CIENTIFICO  
Instrumento de validación por parte de expertos.

Nombre del Experto: \_\_\_\_\_ Institución \_\_\_\_\_

País \_\_\_\_\_.

**CONTEXTO:** Desde la biología evolutiva, se privilegia una definición de gen respecto al nivel fenotípico, es decir, se considera que tiene propiedades "intencionales", en el sentido de que se "refieren a", o "están en lugar de", una determinada característica fenotípica funcional. Esta visión de gen ha sido denominada por Moss como Gen-P, en donde los genes se interpretan como *señales* que sirven para predecir ciertos rasgos fenotípico. Entre sus rasgos fundamentales podemos destacar que, en primer lugar, son genes abstractos, en el sentido de que no tienen un referente molecular concreto. En segundo lugar, son marcadores de diferencias, es decir, dan cuenta de diferencias entre rasgos fenotípicos, pero no explican su contribución al proceso de formación del rasgo, y en tercer lugar. La teoría evolutiva moderna se ha construido sobre el concepto de Gen-P.

Desde la biología del desarrollo, interesada en los procesos de construcción orgánica, un gen se define como la concreta secuencia de nucleótidos que interviene en la construcción de una proteína. Así, la noción de gen de la genética del desarrollo, ha sido denominada *Gen-D*.

Un Gen-D, es un recurso de desarrollo que, en sí mismo, no señala hacia ninguna parte del fenotipo, no es intencional, sino que se define en virtud de la secuencia de aminoácidos que intervienen en la construcción de una proteína. En realidad, y debido a la diversa serie de procesos que contribuyen en la construcción, viene a definirse de una manera muy amplia, es decir, como una región del cromosoma en la que existen recursos que sirven de molde molecular para la síntesis de diversos "productos genéticos". El proceso de construcción de estos productos es generalmente complejo y dependiente de factores epigenéticos (Tomado de Azkonobieta,2005).

<i>Gen P</i>	Gen D
Útil en biología evolutiva	Útil en biología del desarrollo
Ente abstracto-	Ente material-secuencia de nucleótidos
<i>señales</i> que nos sirven para predecir ciertos rasgos fenotípico	Gen D no señala hacia ninguna parte del fenotipo, no es intencional, sino que se define en virtud de la secuencia de aminoácidos que intervienen en la construcción de una proteína
Son marcadores de diferencias, es decir, dan cuenta de diferencias entre rasgos fenotípicos, pero no explican su contribución al proceso de formación del rasgo,	El proceso de construcción de estos productos es generalmente complejo y dependiente de factores epigenéticos
señalan normalmente a una característica funcional observable del organismo	Están implicados en procesos de regulación y diferenciación celular.

**B. EL OBJETO:** El presente instrumento tiene como objeto validar la coherencia de los enunciados en relación la noción de *gen P* y gen D. Es posible encontrar enunciados en donde se combinan características de ambos genes ó un enunciado en el cual no es posible determinar a que noción de gen hace referencia, estos enunciados los hemos denominados enunciados Mixtos (EM)

**C. PROCEDIMIENTO:** Para cada enunciado establezca la noción de gen bajo la cual tendría mayor coherencia, escribiendo en la columna de identidad GP(Gen-P), GD(Gen-D) y EM (Enunciado Mixto). En caso de estar en desacuerdo con algún enunciado escriba en la parte de debajo de la tabla su opinión.

Proposiciones	Enunciado	Identidad
Podemos decir que genes	Aquello que marca la diferencia entre dos fenotipos.	
	Material hereditario con características funcionales.	
	Una secuencia de RNA sin intrones.	
	Módulos portadores de información integrados y coordinados en su regulación y acción.	
	Transporta y regula la información hereditaria.	
La función del genes	Determinar el fenotipo.	
	Amortiguar el efecto o ruido perturbador (ambiental o metabólico) de la expresión fenotípica para el desarrollo de fenotipos ecológicamente exitosos.	
	Codificar la estructura primaria de un RNA o proteína.	
	Proporcionar recursos que sirven de molde para la elaboración de productos moleculares.	
	Integrarse a la programación del organismo y orientar su desarrollo y éxito evolutivo.	
El modelo de gen	Es Coherente a (con) los modelos algorítmicos explicativos de la genética de poblaciones.	
	Puede ser Preciso en su potencial explicativo con relación a fenómenos poblaciones.	
	ES Consecuente con los avances y descubrimientos actuales en genómica.	
	ES La descripción gráfica que permite relacionar estructura y función del ADN.	
	Puede ser preciso en su acción génica e impreciso en su activación génica	
El concepto gen es útil porque permite	Predecir resultados fenotípicos.	
	Definir la evolución como el cambio en la frecuencia de genes y dar una concepción general de evolución como selección de genes.	
	Dilucidar el complejo molecular que constituye el desarrollo.	
	Explicar fenómenos de diferenciación celular.	
	Comprender el papel de módulos multi-molecularmente conservados como unidades de desarrollo, morfología, variación e innovación.	
El gen se puede caracterizar por	Su frecuencia alélica.	
	Por su éxito reproductivo.	
	Por su producto caracterizado molecularmente.	
	Su efecto en el desarrollo del individuo y en la población.	
	Por su ubicación en el genoma.	

## ANEXO 2: CUESTIONARIO.

### GRUPO DE INVESTIGACION RELACIÓN ENTRE EL CONOCIMIENTO COMÚN Y EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

El siguiente instrumento constituye parte de una investigación de tesis doctoral, la cual tiene como finalidad caracterizar las representaciones relacionadas con genética. Aunque usted quizás no pertenezca al área sus respuestas son muy importantes en la investigación. GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!

**A. Información del participante:**

Género: M\_\_F\_\_ Institución a la cual pertenece \_\_\_\_\_

**Por favor indique con una X su titulación:**

\_\_Licenciado, \_\_Biólogo, \_\_Magister en Ciencias Básicas, \_\_Magister en ciencias de la educación, \_\_Doctor en Ciencias Básicas, Doctor en ciencias de la educación, \_\_Microbiólogo, Otros(s) \_\_\_\_\_

Cuál? \_\_\_\_\_  
Campo académico en el cual se desempeña: Genética\_\_, Ecología\_\_, Biología del desarrollo\_\_, Biología Evolutiva\_\_, Microbiología\_\_, Molecular\_\_, Otro(s) cuál? \_\_\_\_\_

**Dedicación principal:** Investigación Básica en ciencias\_\_, Dedicación a la investigación en docencia\_\_, Dedicación Mixta\_\_

1. A continuación se presenta una serie de enunciados, por favor marque con una X la casilla en la cual el enunciado coincide con su grado de aceptación según: **1: Completamente en desacuerdo, 2: En desacuerdo, 3: Parcialmente en desacuerdo, 4: De acuerdo, 5: Completamente de acuerdo y cero (0) equivalente a No sabe o no responde.**

Enunciado	0	1	2	3	4	5
El concepto de gen es útil porque permite dar una concepción general de evolución como selección de genes						
El éxito reproductivo de una especie depende de su constitución genética						
El gen se puede caracterizar por su frecuencia alélica						
El modelo de gen es preciso en su acción génica e impreciso en su activación génica						
El modelo explicativo de un gen es consecuente con los avances y descubrimientos actuales en genómica						
El producto de un gen es una secuencia de RNA sin intrones						
La dinámica de un gen tiene potencial explicativo a los fenómenos poblacionales						
La función del gen es determinar el fenotipo						
Los genes amortiguan el efecto o ruido perturbador (ambiental o metabólico) de la expresión fenotípica para el desarrollo de fenotipos ecológicamente exitosos						
Los genes permiten explicar fenómenos poblacionales y fenómenos celulares						
Los genes permiten dilucidar el complejo molecular que constituye el desarrollo						
Los genes proporcionan recursos que sirven de molde para la elaboración de productos moleculares						
Los genes se integran a la programación del organismo y orienta su desarrollo y éxito evolutivo						
Los genes son coherentes a (con) los modelos algorítmicos explicativos de la genética de poblaciones						
Los genes son material hereditario que poseen identidad funcional						
Los genes son módulos portadores de información integrados y coordinados en su regulación e innovación						

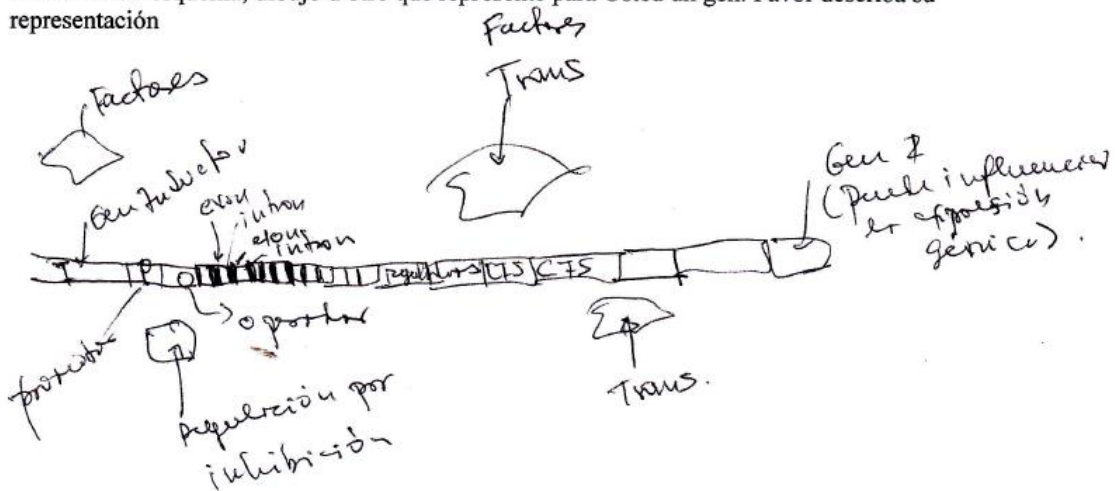
Los genes son útiles para predecir resultados fenotípicos						
Los genes son útiles porque permiten comprender el papel de módulos multi-molecularmente conservados como unidades de desarrollo, morfología, variación e innovación						
Los genes tienen efecto en el desarrollo del individuo y en la población						
Un gen es aquello que marca la diferencia entre dos fenotipos						
Un gen es caracterizado por su producto molecular						
Un <b>gen</b> Puede ser caracterizado por su secuencia nucleotídica y ubicación en el genoma						
Un gen tiene como función codificar la estructura primaria de un RNA o proteína						
Un gen transporta y regula la información hereditaria						
Un modelo de gen debe ser una descripción Gráfica que permita relacionar estructura y función del ADN						

2. Realice un esquema, dibujo u otro que represente para usted un gen. Favor describa su representación.
3. Si usted necesitase dar una definición de gen a un grupo de estudiantes universitarios Cómo lo definiría? Qué aspectos tendría en cuenta en su definición?
4. Plantee un problema o ejercicio sencillo, con el cual usted consideraría podría trabajar el concepto gen. Describa los aspectos que tendría en cuenta para la formulación del mismo y los aspectos que tendría en cuenta en las respuestas de sus estudiantes.

### ANEXO 3

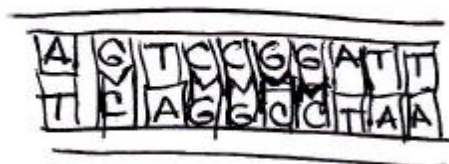
### REPRESENTACION GRAFICA DE GEN EN DOCENTES

2. Realice un esquema, dibujo u otro que represente para Usted un gen. Favor describa su representación

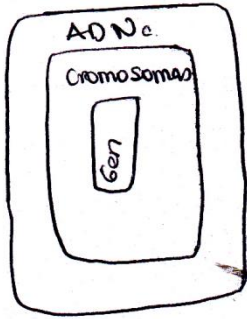


A - C - A - A - A - T - C - G - T - A - A - G ... C - C - A.  
 T - G - T - T - A - G - C - A - T - T - G ... G - G - A

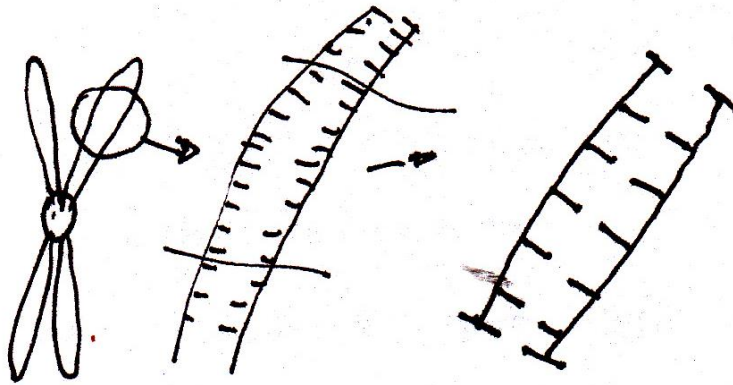
Tramos cortos de ADN con sentido.



A = Adenina  
 T = Timina  
 C = Citosina  
 G = Guanina.

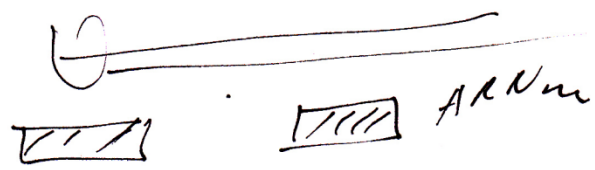
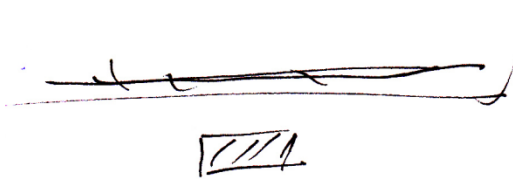
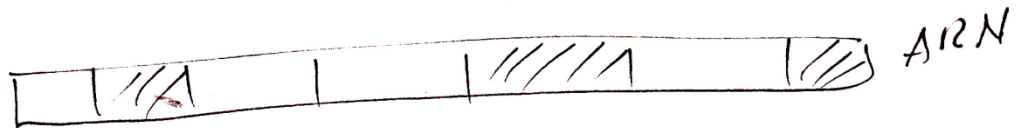
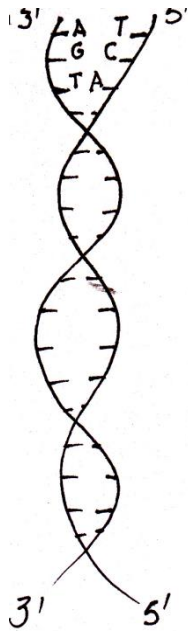


El esquema representa el ADN condensado (cromosomas) como la unidad mayor, la cual forma los diferentes cromosomas somáticos y sexuales que contienen los genes.



### ANEXO 4

### REPRESENTACION GRAFICA DE GEN EN ESTUDIANTES



ARNm

004

A LA

CASA proteina



Imagen1

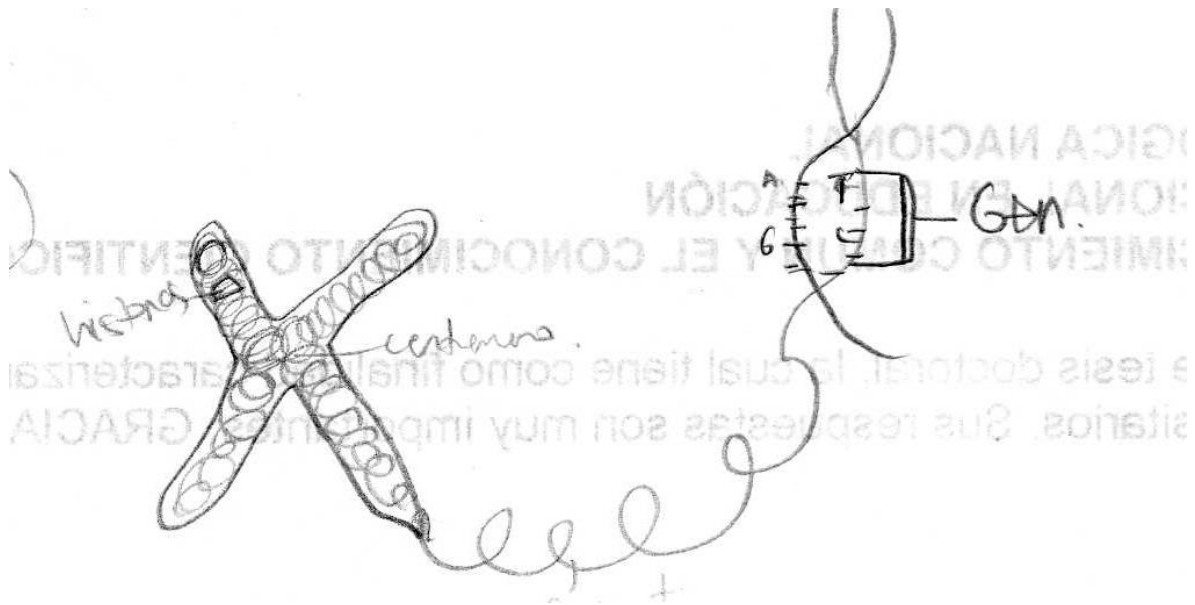


Imagen2

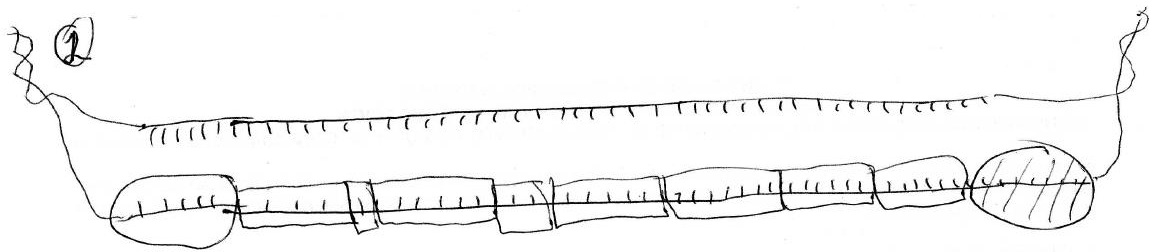


Imagen3

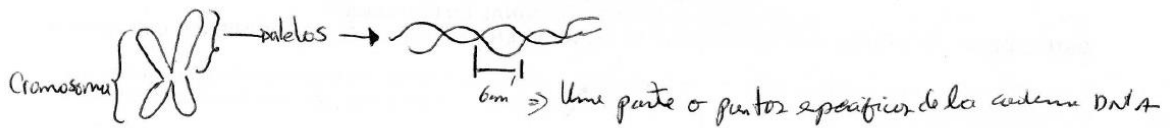


Imagen4

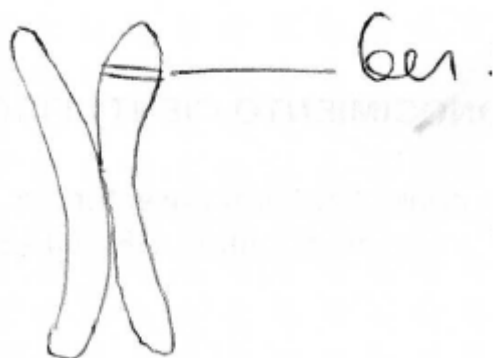


Imagen5



Imagen6



Imagen7

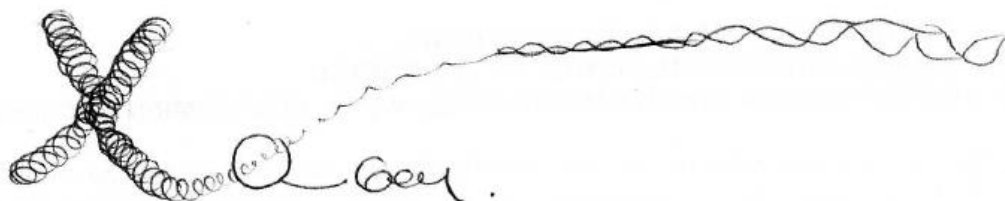


Imagen8

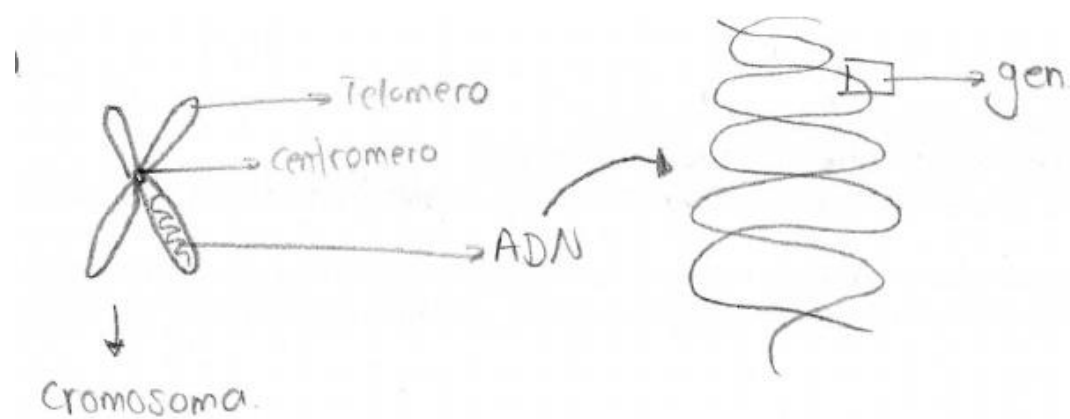


Imagen9

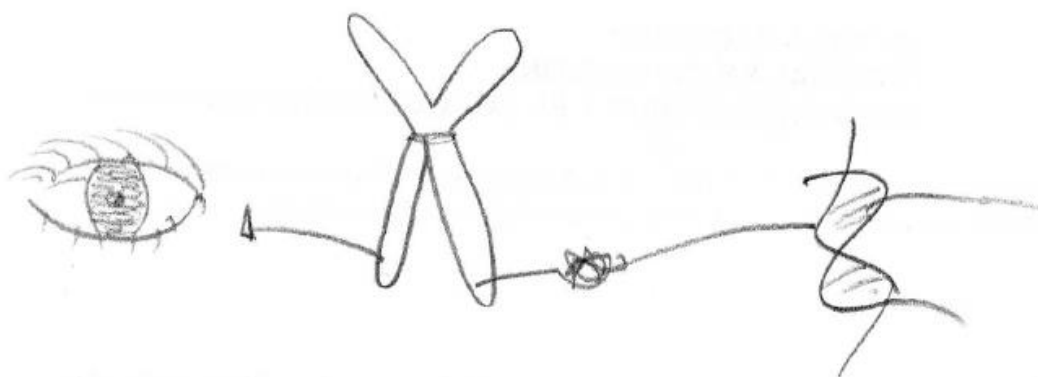


Imagen10

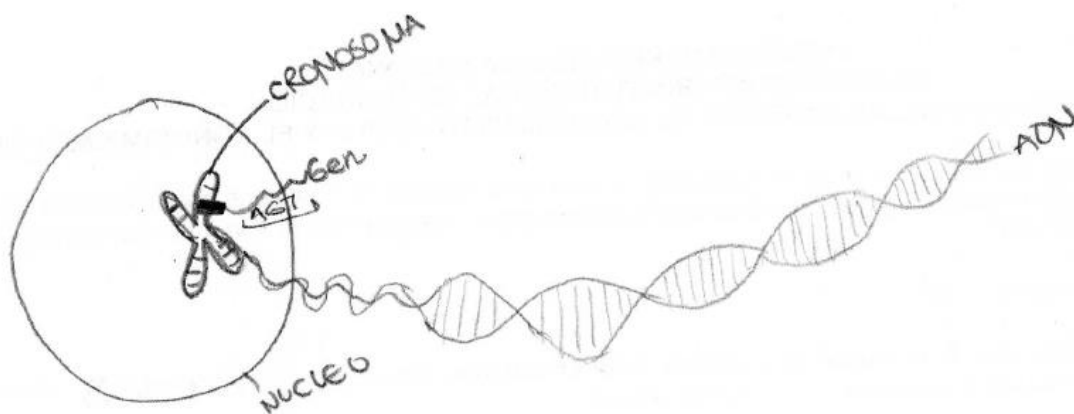


Imagen11

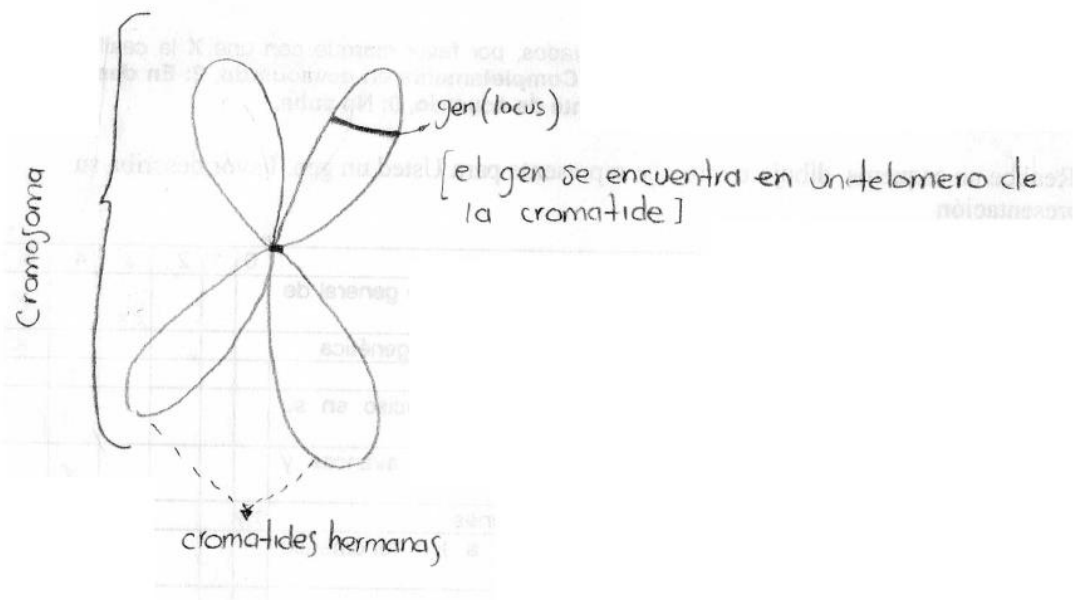


Imagen12

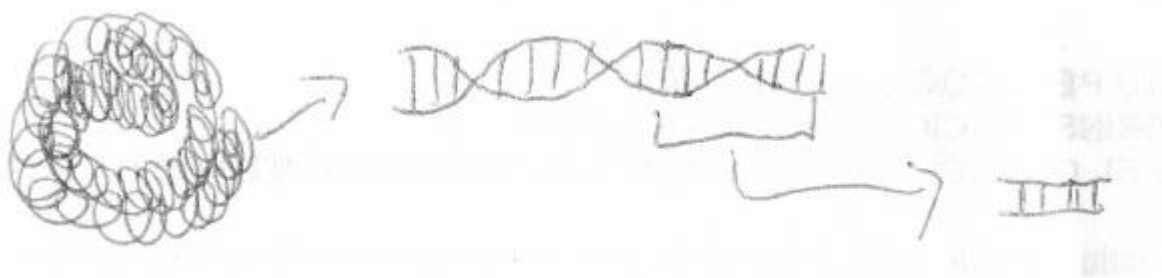


Imagen13



Imagen14

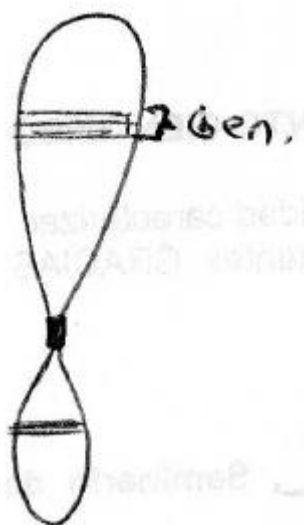


Imagen15

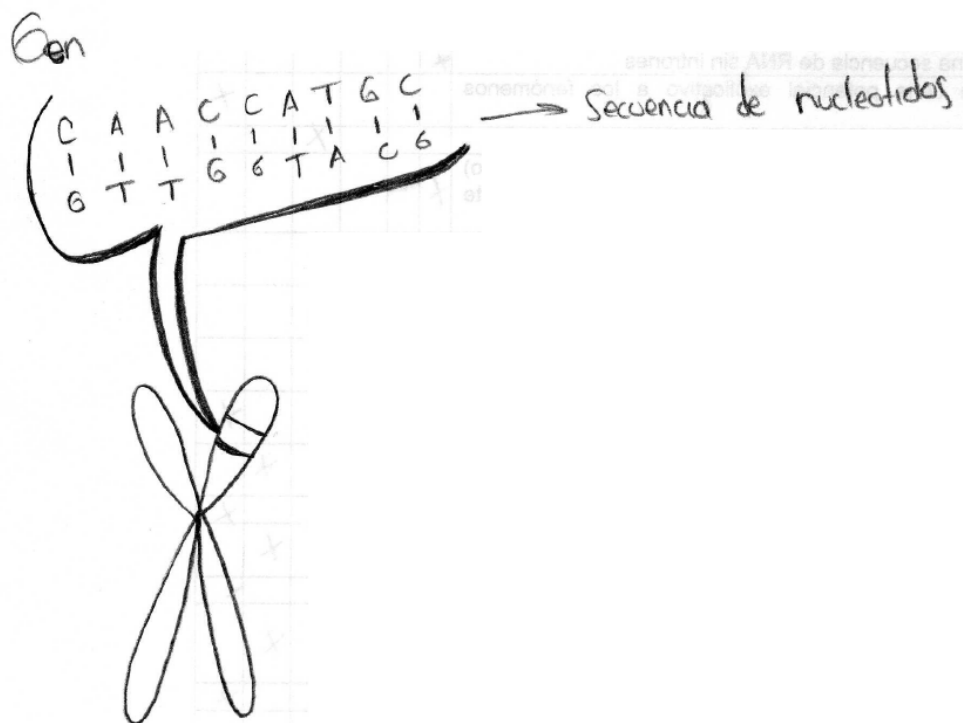


Imagen16

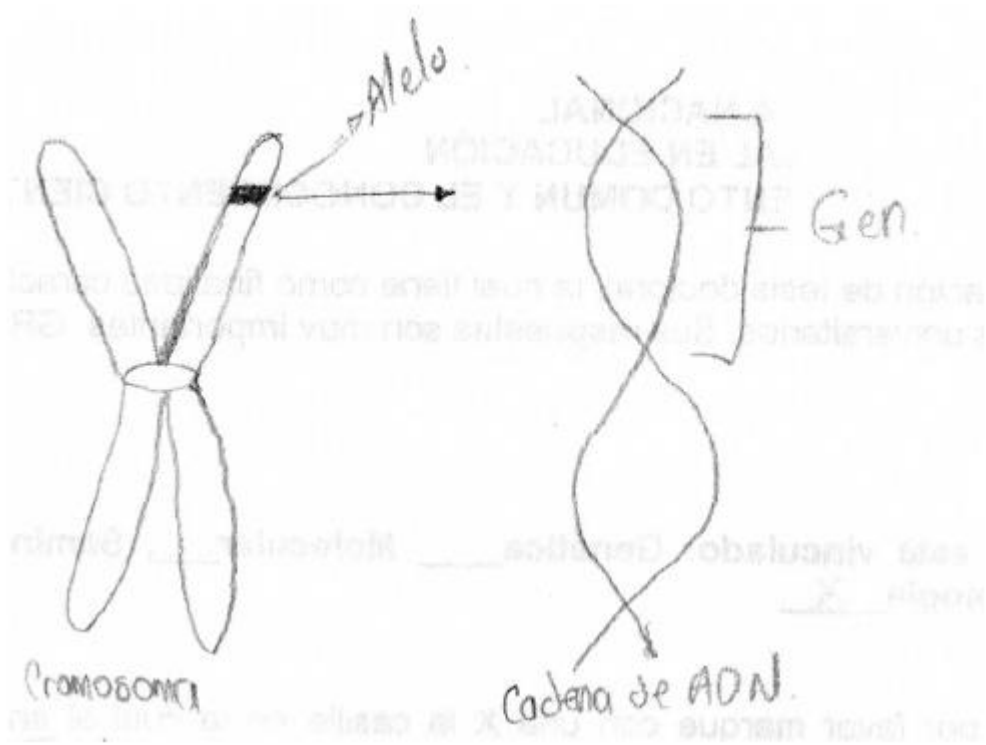


Imagen17

Gen



- Contiene bases nitrogenadas

Imagen18

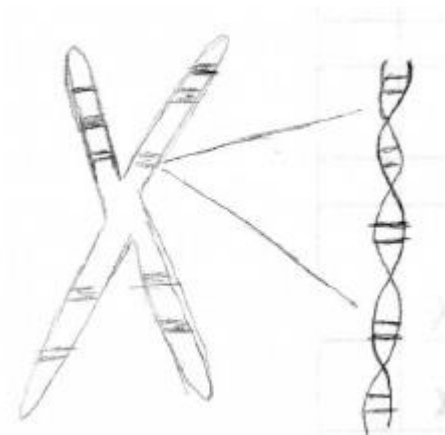


Imagen19



Imagen20





Imagen21

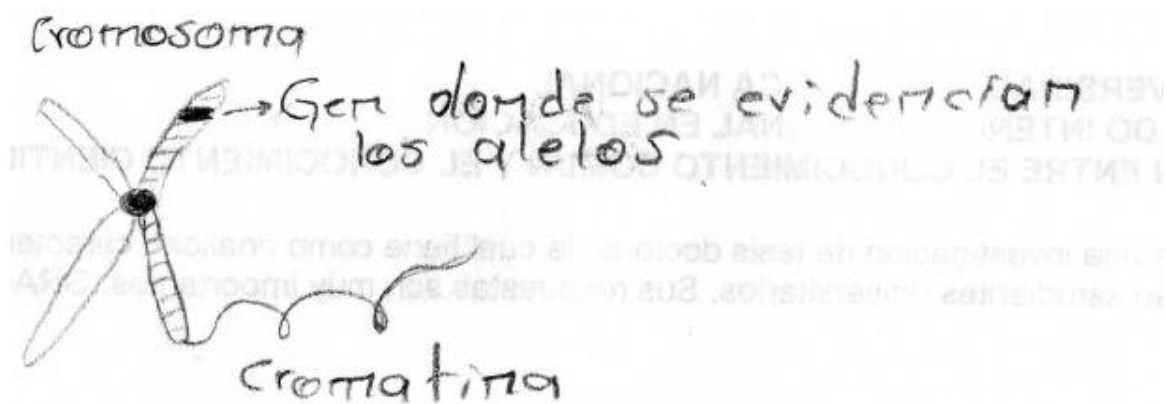
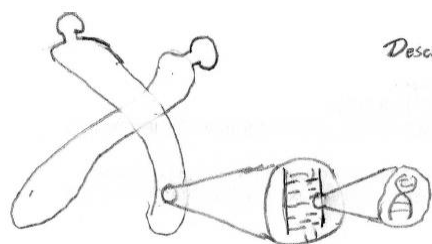


Imagen22



Descripción: En este dibujo se representa la organización molecular/estructural de los cromosomas y entre sus cromátidas la ubicación y composición del gen.

Imagen23

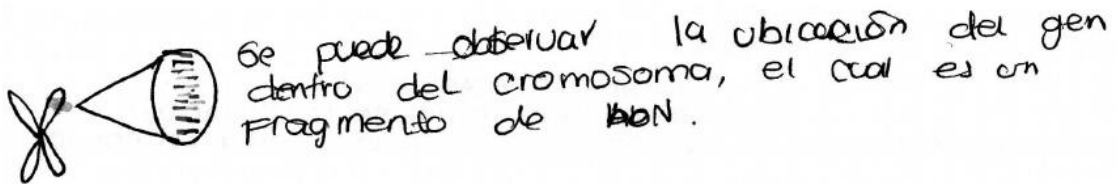


Imagen24

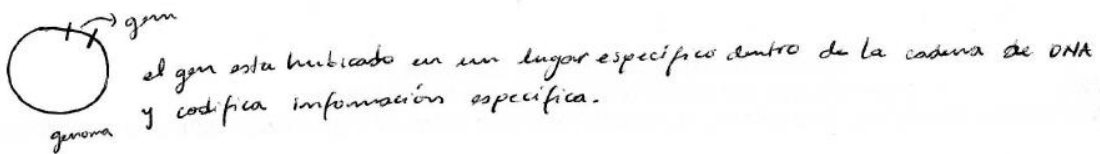


Imagen25

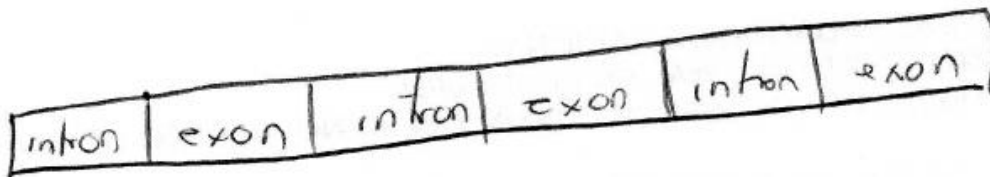
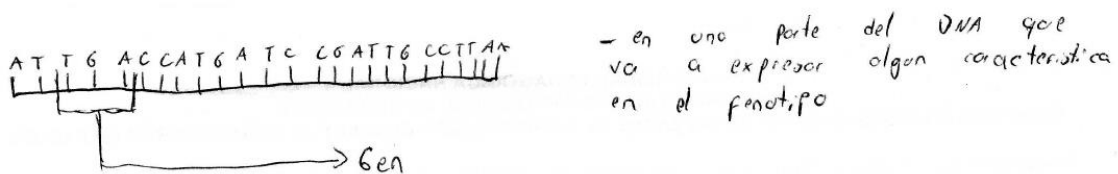


Imagen26



**ANEXO 5:**  
**DEFINICIONES DE GEN ESTUDIANTES Y PROFESORES.**

<i>ESTUDIANTES</i>
<i>"una parte parte o puntos específicos de la cadena de ADN"</i>
<i>"Unidad estructural que representa una parte de ADN convirtiéndose o dando paso al RNA de transferencia"</i>
<i>"es información que caracteriza especies, por su parte se tiene una morfología, una fisiología, es decir trasciende en lo fenotípico aparte de la secuencia de alelos de un gen"}"</i>
<i>"unidad particular ubicada en el cromosoma encargada de participar en el proceso de aplicación y herencia entre generaciones"</i>
<i>"fragmento de ADN específico"</i>
<i>"segmento de DNA que se expresa para dar un producto funcional que puede ser RNAr. Se encuentra organizada de manera consecutiva en los cromosomas"</i>
<i>"lo definiría como el patrón que muestra la expresión física del individuo, los aspectos que tendría en cuenta serían las leyes de Mendel y aspectos hereditarios"</i>
<i>"se conoce que la secuencia de ADN es un grupo de aminoácidos principalmente, entonces un gen es un fragmento de ese ADN se expresa para dar un producto final que codifica la expresión génica"</i>
<i>"un gen es un fragmento de ADN que codifica, expresión genética, proteínas, de donde radica la biodiversidad"</i>
<i>"secuencia de ADN que contiene un tipo de información específica"</i>
<i>"lo definiría como una parte del DNA el cual va a expresar cierta característica en el desarrollo del organismo"</i>
<i>"el gen está contenido en los cromosomas a su vez este <b>gen</b> Puede tener muchas formas posibles"</i>

<i>"segmento de DNA que codifica en un producto funcional, que puede ser RNA<sub>t</sub>,RNA<sub>r</sub>, o proteínas que contribuyen a la expresión de una característica para abordar la definición tendría en cuenta, la comprensión por parte de los estudiantes de cada uno de los elementos o conceptos estructurales que forman parte de la definición, la utilización de gráficos e ilustraciones simples que representen el concepto y cada uno de los elementos que lo estructuran y la relación y asociación del concepto gen en la cotidianidad"</i>
<i>"como un fragmento de DNA que se expresa, tendría en cuenta para explicar mi definición imágenes que ellas pudieran comprender lo que se explican"</i>
<i>"un gen es un fragmento que contiene bases nitrogenadas, exones e intrones y que dan lugar a un producto funcional, puede ser una proteína, enzima etc."</i>
<i>"segmento de DNA que se expresa para dar un producto funcional que puede ser RNA<sub>r</sub> o un polipeptido, ampliaría la aplicación y explicación del concepto con los términos como alelo para hablar de aquellos genes que son dominantes o recesivos y al hablar de este término es importante mencionar el locus que es la posición que ocupa un gen en un cromosoma, lo cual permite dealizar la explicación de este tema"</i>
<i>"unidad funcional del material genetico que se expresa en una proteina o un RNA"</i>
<i>"un gen es parte de una secuencia, tiene información especifica que se expresa fenotípicamente esta información es guardada en una molécula"</i>
<i>"fragmento de ADN que codifica para un producto funcional(polipopticos), se debe tener en cuenta la funcionalidad e importancia"</i>
<i>"yo definiría el gen, como un segmento de ADN"</i>
<i>"para dar una definición de gen al estudiante de bachillerato tendría en cuenta poder lograr explicar que los genes son unidades de ADN que expresan características hereditarias. El gen contiene la información que se expresa en los diferentes alelos"</i>
<i>"diría o explicaría a jovenes de bachillerato que un gen es aquello que hereda un individuo de sus padres por la información que ellos brindaran, donde cada gen es específico y transmite algunas características particulares. Este se da como una seria ordenada de nucleótidos y se ubican en los cromosomas"</i>
<i>"un gen es portador de información que se puede expresar en el fenotipo, tendría en cuenta los rasgos que han sido heredados en las familias de los estudiantes,</i>

<i>indagando previamente"</i>
<i>"secuencia ordenada de nucleótido empaquetada en forma de ADN o ARN que cumple la función de codificar macromoléculas"</i>
<i>"lo definiría como una especie de chip que guarda la información de las características genotípicas y fenotípicas de un individuo"</i>
<i>"el gen lo definiría como el portador de la información hereditaria de los padres a los hijos, tendría en cuenta el ADN, el ARN, las proteínas y el genoma"</i>
<i>"un <b>gen</b> Puede definirse como una parte de los cromosomas cuya función es determinar características fisionómicas y fisiológicas en un individuo y según su ubicación determinara una característica en específico"</i>
<i>"es una parte que se encuentra en una de las cromátidas que tiene la información genéticas de los padres"</i>
<i>"la definiría como el conjunto de alelos agrupados, que conllevan cierta información que expresa en el organismo, tendría en cuenta conceptos como alelo, locus y además los postulados de mendel y sus experimentos"</i>
<i>"localizado en el cromosoma, determina las características fenotípicas del individuo. Es importante tener en cuenta la célula en qué lugar se encuentra y cuál es su función"</i>
<i>"es una secuencia de ácidos nucleídos que cumplen una función específica y se adquiere en la herencia de padres a hijos, que pueden ser dominantes o recesivos y permiten responder a cambios ambientales aspectos a tener en cuenta explicación de ácidos nucleicos, guanina,citocina, adenina, timina, y la explicacion de bases nitrogenadas"</i>
<i>"conglomerado de alelos que transportan informacion genetica"</i>
<i>" un gen es determinada parte del genoma que codifica cierta informacion funcional que se evidencia en el fenotipo del individuo "</i>
<i>"es la unidad funcional de la herencia constituida por un conjunto de bases nitrogenadas que intentan sinergicamente en la produccion de ADN y ARN"</i>
<i>"es la unidad de información o material hereditario que define las características fenotípica(características física) y genotípicas (alelos que se expresan o no) en el organismo"</i>

<i>"un gen es una secuencia"</i>
<i>"un gen es una unidad molecular que contiene informacion necesaria(secuencia de ADN) para la expresion y regulacion de características tanto morfológicas como funcionales de un organismo"</i>
<i>"un gen es una secuencia de acidos nucleídos, que codifican la informacion hereditaria (padre-hijo), para entenderlo hay que tener en cuenta ADN,ARN, proteínas que lo conforman, guanina,tiamina, adenina, citacina, porque sería importante que los estudiantes previamente averiguaran estos componentes para durante la explicación aclarar dudas del funcionamiento y para que quede un poco mas claro acerca de los ácidos celulares"</i>
<i>"el gen es el acido nucleico que codifica u ordena la informacion o expresion genotipica y fenotipica"</i>
<i>"el gen es quien tiene la información genéticas y hereditaria, que se transmite a las demás generaciones y que tiene muchas características importantes en el desarrollo, fisiología y fisionomía de un organismo"</i>
<i>"unidad básica de información, de los seres vivos, los cuales trabajan en equipo y pueden expresar o no, características fenotipicas y genotípicas de sus progenitores"</i>
<i>"daría la explicación primero de que es el ADN, cromosoma y como la información genética se duplica para continuar explicando que un gen es una información específica la cual permite el desarrollo de una característica física y que se ubica en los cromosomas en una parte específica llamada locus y al estar en cromatides homologas el gen se ubica en el mismo lugar para que la característica sea expresada, ejemplo: color de ojos, color de cabello"</i>
<i>"unidad informativa que expresa la información genética, puede llegar y codificarse en proteína"</i>
<i>"organelo que posee la información genética y hay varios tipos y la ## de este o deformación genera síndromes, en el organismo"</i>
<i>"es un fragmento de ADN que se puede expresar"</i>
<i>"el gen es una secuencia de nucleotidos que se encuentra dentro del genoma, y esta compuesta de una zona de reconocimiento, intrones, exones, una secuencia de terminación y codifica para una proteína"</i>
<i>"un gen es un segmento de DNA que se expresa para dar un producto funcional,</i>

*se encuentran organizados de manera consecutiva en los cromosomas"*

*"material genético presente en una célula, se encuentran organizados de manera consecutiva en los cromosomas, fragmento de ADN que se expresa para dar un producto final"*

### PROFESORES

*"conjunto de fragmentos de AND que al actuar en forma coordinada constituyen una unidad de expresión"*

*"un gen consta de tres componentes básicos, zona de regulacion: lugar del gen donde se unen proteínas que activan o reprimen la unión de la RNA polimerada a la region promotora, zona de control:lugar del gene donde se une la RNA polimerasa, zona estructural: lugar del gene que es copiado desde DNA a RNA por la RNA polimerasa el cual es traducido en los ribosomas aun polipeptido"*

*"un segmento de AND que codifica para una proteína, tiene un punto de inicio y un punto de terminación"*

*"tendría en cuenta el nivel académico de cada uno de los estudiantes, los conocimientos previos y se explicaría como una secuencia nucleotidica confirmada por cierto de bases las cuales codifican de una manera diferente en casos diferentes, segun la secuencia"*

*"es la unidad básica de la herencia constituida por secuencias de nucleotidos que pueden determinar funciones especificas en organismos o en otros casos aun se desconocida su función"*

*"secuencia de bases nitrogenadas que codifican a un aminoácido están presentes en los cromosomas que constituyen el ADN"*

*"un gen es una secuencia de nucleotidos ubicados en un loci particular de ADN, que contiene información que define en un organismo sus características"*

*"un gen es un segmento de DNA, el grafico representado constituye las dos cadenas de DNA, con una secuencia de 3 bases nitrogenadas (AGT) y sus respectivas, parejas (TGA) este segmento corto de la molécula representa un gen que posteriormente expresara una proteína"*

## ANEXO 6

## PREGUNTA 4, ENCUESTA A ESTUDIANTES Y PROFESORES.

ENCUESTAS PROFESORES:
<i>"describiría el desarrollo histórico del concepto de gen desde mendel hasta nuestros días. Que aspectos podrían cambiar la definición actual si considera los 50 años hacia el futuro?"</i>
<i>"los conceptos mendelianos y cruces, dominancia y recesividad. Su expresión en la f1, f2 y f3"</i>
<i>"en campo, los estudiantes colectaran plantas de diferentes grupos (familias) con diferentes fenotipos (características morfológicas) con el fin de que realicen comparaciones, luego en el salon de clase se realizara un dadograma donde agrupe las diferentes plantas colectadas y ellos puedan ver la cercanía o lejanía de los diferentes grupos"</i>
<i>"qué es? Para qué sirve? Como se observa o analiza su función? Ejemplos"</i>
<i>"realizar una práctica de laboratorio que consiste en construir ordenadamente el genotipo de una persona con síndrome de turner y otra sana. Para observar la diferencia en los cromosomas y consultar la implicación funcional de los genes en la alteracion cromosómica"</i>
<i>"se puede trabajar de diferente manera, dependiendo del nivel del grupo de trabajo, si trabajamos con niños, se puede desarrollar de forma practica-mansol"</i>
ENCUESTAS A ESTUDIANTES
<i>"una mejor estado de embarazo ( tercera semana de gestación) pasa por una planta nuclear donde ocurre una explosión de la misma, afortunadamente esta mujer resulta ilesa, pero atrapada en la emisión de gases que causo la explosión?"</i>
<i>"como se podría identificar el gen que causa el cáncer en los humanos? "</i>
<i>"me parecería una buena forma, tratando enfermedades genéticas ya que se requiere una comprensión celular, genética y técnicas de inv. En el tema. Además de ser posiblemente cercanas a los niños-adultos (padres)"</i>



<i>"se podría plantear el ejercicio para observar la variabilidad genética con una población de mosca casera (drosophila melanogaster)"</i>
<i>"se podría trabajar con el cambio de bases nitrogenadas que se dan en algunos genes y producen mutaciones. A partir de ahí se podría."</i>
<i>"en una población de avispas, el alelo dominante a las largas dejó de serlo a partir de la 6 generación para determinar la causa de este cambio"</i>
<i>"problemática, la activación de los genes en las diferentes etapas de desarrollo"</i>
<i>"en embriología un aspecto que se podría abordar en un aula de clase, es un aspecto muy relacionado con el contexto en el que se encuentran algunos de los estudiantes. el caso hipotético consiste en que una mujer consume alcohol y otras sustancias psicoactivas sin conocer que se encontraba en embarazo"</i>
<i>"se sabe que el ser humano posee genes que generan cierta información investigue y socialice que tipo de mutaciones se pueden encontrar en un gen? Porque ocurre? Que enfermedades podrían aparecer en un individuo a causa de un cambio en el gen?"</i>
<i>"un estudiante del curso resulta embarazada, se sabe que la estudiante tiene problemas de alcoholismo. Desde ahí se puede trabajar las dificultades que tendrían los genes para expresarse correctamente"</i>
<i>"realiza un cuadro punnet donde se tenga en cuenta características de la madre y el padre, los cuales presentan posibles enfermedades o irregularidades que pueden ser heredadas, escoja por lo menos 2 de estas características y determine la probabilidad de que este se exprese en la siguiente generación, y que características tendría el hijo"</i>
<i>"plantería, p.ej.plo, si un gen se encuentra afectado o inhibido en un feto de ser humano, como podría afectar este a su pleno desarrollo, o de qué manera ciertas sustancias afectan el desarrollo del feto y por ende a sus genes"</i>
<i>"el problema (pregunta) buscar generar en los estudiantes curiosidad frente a el por que físicamente los humanos somos diferentes, pero a pesar de dichas diferencias pertenecemos a la misma especie"</i>
<i>"podría remontarme al experimento de harvey-chese 1952, donde inoculan bacteriofagos a ratones para observar que la información de patogenicidad de unas bacterias es transmitida a bacterias que antes no eran patógenas"</i>
<i>"(plantearía un caso de características físicas en humanos), les explicaría que las"</i>

*características fenotípicas de cada uno de ellos se deben a los caracteres que heredaron de sus padres, que cada persona tiene unas características de color, textura o forma en partes de su cuerpo que son herencias de un código que está empaquetado en un gen transmitido por el ADN de la madre más el ADN del padre a la hora de la fecundación ya que hay una recombinación de materiales cromosómico"*

*"actividad--- secuencias genéticas--- pasar RNA y a aminoácidos"*

ANEXO 7: TABLA DE DATOS ENCUESTA A ESTUDIANTES CON TODOS LOS ENUNCIADOS.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
4	5	4	3	4	0	4	0	0	4	0	3	5	4	4	4	0	0	4	3	0	5	0	3	2	
3	3	4	0	4	0	4	4	0	3	3	4	3	0	4	3	5	0	3	4	4	4	4	4	3	0
3	2	3	4	4	3	3	5	0	4	4	4	4	3	4	0	4	3	5	4	3	3	4	3	3	
2	3	3	4	4	5	4	4	0	3	4	4	4	3	4	5	5	4	4	3	3	5	4	5	5	
4	4	3	2	4	0	0	4	0	3	2	4	3	2	4	2	4	2	4	3	3	2	4	4	1	
3	2	4	4	3	5	4	4	2	2	3	4	2	4	4	4	2	3	4	4	4	3	2	2	4	
5	5	5	4	3	5	5	4	4	4	4	5	5	3	5	4	4	4	4	4	0	4	5	5	5	
4	3	3	5	5	3	3	3	5	3	4	4	4	3	4	5	3	4	4	4	5	4	4	4	3	
4	5	4	0	4	1	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	0	4	4	4	3	4	4	4	
2	4	4	3	4	3	4	4	0	4	4	4	3	3	4	4	0	0	4	3	0	4	4	4	4	
4	4	4	3	4	4	3	4	3	5	4	3	3	0	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	
4	3	3	0	4	5	3	4	0	5	3	2	2	0	4	5	0	0	4	3	4	2	5	4	5	
1	3	1	4	2	0	5	5	4	4	2	4	5	4	4	2	3	2	4	0	1	4	5	4	3	
4	5	0	0	2	1	5	4	0	5	4	4	5	4	5	5	5	5	5	1	1	5	2	1	4	
4	3	1	1	2	4	4	1	3	4	4	5	1	0	5	5	5	0	5	5	5	5	5	5	5	
4	4	3	4	3	1	2	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	3	4	3	
4	4	3	4	2	4	2	4	4	4	4	3	3	2	1	5	4	4	3	5	4	4	5	5	4	
3	2	2	4	4	4	4	3	1	4	4	3	3	0	0	0	3	3	0	0	0	3	3	3	3	
3	3	5	0	3	1	4	3	2	1	4	4	3	0	4	4	0	4	4	4	3	4	2	4	4	
4	3	0	3	2	1	3	5	2	3	3	4	4	2	4	5	3	3	0	4	0	3	2	4	5	
3	3	4	2	3	4	4	5	4	4	2	3	4	3	5	5	4	4	2	5	4	3	4	2	3	
1	1	1	4	5	5	5	5	0	2	3	5	1	0	5	4	3	0	5	1	5	5	5	0	3	
4	3	5	0	3	1	4	2	3	3	3	0	3	3	3	3	0	5	3	3	1	3	0	4	2	
5	3	4	2	4	2	4	4	3	4	5	5	5	4	5	2	5	3	5	5	4	5	3	5	4	
4	3	4	3	4	4	4	3	3	4	4	5	4	3	5	3	2	2	4	2	3	4	5	5	3	
2	1	4	4	4	3	3	0	0	5	5	5	5	2	1	5	0	0	5	0	4	4	5	1	2	
4	4	4	0	4	0	0	3	0	4	0	4	4	0	5	4	4	0	4	4	4	4	3	4	4	
4	4	0	0	4	0	4	3	3	4	4	3	4	0	5	0	0	4	5	4	4	4	4	5	4	
4	3	0	0	4	0	3	5	4	3	5	3	4	3	5	5	2	0	4	3	4	5	5	5	4	
3	3	4	0	2	0	3	2	4	4	0	4	4	3	4	4	4	0	4	3	0	4	4	4	4	
5	5	4	0	3	0	0	2	0	5	5	0	5	1	2	0	4	0	5	4	0	4	0	4	5	
4	4	5	0	4	4	0	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	4	0	4	4	4	3	
4	5	3	5	3	1	5	5	3	4	3	4	5	0	5	5	4	5	5	0	0	5	4	5	5	
4	4	4	0	4	0	4	4	4	5	5	0	4	0	4	5	5	0	4	5	4	5	0	4	4	
5	5	4	4	4	0	3	3	0	4	4	3	5	3	5	5	5	0	4	4	4	4	3	5	5	
5	4	4	4	0	4	5	4	5	5	4	3	4	0	5	4	4	4	4	3	4	4	5	4	5	
4	4	5	0	5	0	5	3	0	3	3	3	5	4	5	4	5	4	5	2	2	4	0	4	4	
4	4	5	0	5	0	5	3	0	3	3	3	5	4	5	4	5	4	5	2	2	4	0	4	4	
5	4	5	3	0	3	4	4	3	4	3	3	3	2	4	3	4	0	4	4	4	5	3	3	3	

4	4	3	0	5	0	4	3	0	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	
3	5	5	5	3	0	4	1	0	4	4	0	4	0	3	4	1	4	4	0	2	5	4	4	4	
4	3	4	0	4	1	4	4	2	5	5	4	3	0	5	4	5	0	5	5	2	5	1	5	5	
5	3	4	0	4	0	3	1	0	3	0	4	4	0	3	4	4	4	5	3	0	4	1	5	5	
3	4	0	3	4	0	3	3	1	5	4	4	4	4	4	4	4	4	1	2	4	3	3	1		
3	5	5	2	3	1	2	3	2	3	3	3	2	4	4	3	4	3	3	1	4	2	3	2	4	
2	2	2	3	3	2	4	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	
3	3	4	0	4	0	3	4	3	4	4	0	4	4	4	3	4	0	5	4	3	3	4	3	4	
4	4	4	0	3	0	4	3	0	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	3	4	4	4	4	
4	4	5	0	3	0	4	0	0	4	3	3	2	0	4	0	4	0	4	0	3	4	4	4	4	
3	3	4	4	5	2	3	2	3	4	2	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	3	4	3	
4	3	2	5	3	0	5	5	0	4	4	0	5	3	5	5	5	3	0	2	0	3	5	5	4	
5	3	4	3	4	3	5	5	2	5	5	4	5	3	4	4	4	3	2	1	3	4	4	5	3	
3	1	4	0	4	0	1	4	2	2	4	2	4	5	4	0	5	0	5	5	4	4	2	1	1	
4	2	3	0	1	0	2	1	3	2	3	4	5	0	3	1	3	2	5	5	5	5	4	3	4	
2	4	2	4	0	4	4	0	0	4	4	4	5	0	5	5	5	4	5	4	0	5	4	5	4	
4	1	3	2	1	4	4	1	3	5	5	3	1	4	5	3	5	4	5	3	2	5	4	3	3	
3	4	3	0	2	5	5	3	1	5	4	4	5	0	3	5	5	4	5	4	4	5	5	5	5	
4	2	4	4	3	0	4	4	0	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4	3	4	5	4	4	
4	4	3	3	0	3	3	5	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
4	4	3	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Σ	219	207	202	128	200	115	216	202	116	240	219	212	237	149	261	229	229	160	255	209	186	261	227	251	245

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

TABLA DE DATOS DE ESTUDIANTES CON ENUNCIADOS GEN P														
1	2	3	7	8	9	10	13	14	15	17	19	20	24	25
4	5	4	4	0	0	4	5	4	4	0	4	3	3	2
3	3	4	4	4	0	3	3	0	4	5	3	4	3	0
3	2	3	3	5	0	4	4	3	4	4	5	4	3	3
2	3	3	4	4	0	3	4	3	4	5	4	3	5	5
4	4	3	0	4	0	3	3	2	4	4	4	3	4	1
3	2	4	4	4	2	2	2	4	4	2	4	4	2	4
5	5	5	5	4	4	4	5	3	5	4	4	4	5	5
4	3	3	3	3	5	3	4	3	4	3	4	4	4	3
4	5	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4
2	4	4	4	4	0	4	3	3	4	0	4	3	4	4
4	4	4	3	4	3	5	3	0	4	4	4	4	4	4
4	3	3	3	4	0	5	2	0	4	0	4	3	4	5
1	3	1	5	5	4	4	5	4	4	3	4	0	4	3
4	5	0	5	4	0	5	5	4	5	5	5	1	1	4
4	3	1	4	1	3	4	1	0	5	5	5	5	5	5
4	4	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	5	4	3
4	4	3	2	4	4	4	2	1	5	4	5	4	5	4
3	2	2	4	3	1	4	3	0	0	3	0	0	3	3
3	3	5	4	3	2	1	3	0	4	0	4	4	4	4
4	3	0	3	5	2	3	4	2	4	3	0	4	4	5
3	3	4	4	5	4	4	4	3	5	4	2	5	2	3
1	1	1	5	5	0	2	1	0	5	3	5	1	0	3
4	3	5	4	2	3	3	3	3	3	0	3	3	4	2
5	3	4	4	4	3	4	5	4	5	5	5	5	5	4
4	3	4	4	3	3	4	4	3	5	2	4	2	5	3
2	1	4	3	0	0	5	5	2	1	0	5	0	1	2
4	4	4	0	3	0	4	4	0	5	4	4	4	4	4
4	4	0	4	3	3	4	4	0	5	0	5	4	5	4
4	3	0	3	5	4	3	4	3	5	2	4	3	5	4
3	3	4	3	2	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4
5	5	4	0	2	0	5	5	1	2	4	5	4	4	5
4	4	5	0	4	0	4	4	4	4	4	0	4	4	3
4	5	3	5	5	3	4	5	0	5	4	5	0	5	5
4	4	4	4	4	4	5	4	0	4	5	4	5	4	4
5	5	4	3	3	0	4	5	3	5	5	4	4	5	5

5	4	4	5	4	5	5	4	0	5	4	4	3	4	5
4	4	5	5	3	0	3	5	4	5	5	5	2	4	4
4	4	5	5	3	0	3	5	4	5	5	5	2	4	4
5	4	5	4	4	3	4	3	2	4	4	4	4	3	3
4	4	3	4	3	0	4	4	4	4	4	3	4	4	4
3	5	5	4	1	0	4	4	0	3	1	4	0	4	4
4	3	4	4	4	2	5	3	0	5	5	5	5	5	5
5	3	4	3	1	0	3	4	0	3	4	5	3	5	5
3	4	0	3	3	1	5	4	4	4	4	4	1	3	1
3	5	5	2	3	2	3	2	4	4	4	3	1	2	4
2	2	2	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4
3	3	4	3	4	3	4	4	4	4	4	5	4	3	4
4	4	4	4	3	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	5	4	0	0	4	2	0	4	4	4	0	4	4
3	3	4	3	2	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3
4	3	2	5	5	0	4	5	3	5	5	0	2	5	4
5	3	4	5	5	2	5	5	3	4	4	2	1	5	3
3	1	4	1	4	2	2	4	5	4	5	5	5	1	1
4	2	3	2	1	3	2	5	0	3	3	5	5	3	4
2	4	2	4	0	0	4	5	0	5	5	5	4	5	4
4	1	3	4	1	3	5	1	4	5	5	5	3	3	3
3	4	3	5	3	1	5	5	0	3	5	5	4	5	5
4	2	4	4	4	0	4	4	4	4	5	4	4	4	4
4	4	3	3	5	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4
4	4	3	3	4	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4

TABLA DE DATOS DE ESTUDIANTES CON ENUNCIADOS GEN D

4	5	6	11	12	13	16	17	18	19	21	22	23	24	25
3	4	0	0	3	5	4	0	0	4	0	5	0	3	2
0	4	0	3	4	3	3	5	0	3	4	4	4	3	0
4	4	3	4	4	4	0	4	3	5	3	3	4	3	3
4	4	5	4	4	4	5	5	4	4	3	5	4	5	5
2	4	0	2	4	3	2	4	2	4	3	2	4	4	1
4	3	5	3	4	2	4	2	3	4	4	3	2	2	4
4	3	5	4	5	5	4	4	4	4	0	4	5	5	5
5	5	3	4	4	4	5	3	4	4	5	4	4	4	3
0	4	1	4	4	4	4	4	0	4	4	3	4	4	4
3	4	3	4	4	3	4	0	0	4	0	4	4	4	4
3	4	4	4	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4
0	4	5	3	2	2	5	0	0	4	4	2	5	4	5
4	2	0	2	4	5	2	3	2	4	1	4	5	4	3
0	2	1	4	4	5	5	5	5	5	1	5	2	1	4
1	2	4	4	5	1	5	5	0	5	5	5	5	5	5
4	3	1	3	3	4	4	4	4	4	5	5	3	4	3
4	2	4	3	3	2	4	4	3	5	4	5	5	5	4
4	4	4	4	3	3	0	3	3	0	0	0	3	3	3
0	3	1	4	4	3	4	0	4	4	3	4	2	4	4
3	2	1	3	4	4	5	3	3	0	0	3	2	4	5
2	3	4	2	3	4	5	4	4	2	4	3	4	2	3
4	5	5	3	5	1	4	3	0	5	5	5	5	0	3
0	3	1	3	0	3	3	0	5	3	1	3	0	4	2
2	4	2	5	5	5	2	5	3	5	4	5	3	5	4
3	4	4	4	5	4	3	2	2	4	3	4	5	5	3
4	4	3	5	5	5	5	0	0	5	4	4	5	1	2
0	4	0	0	4	4	4	4	0	4	4	4	3	4	4
0	4	0	4	3	4	0	0	4	5	4	4	4	5	4
0	4	0	5	3	4	5	2	0	4	4	5	5	5	4
0	2	0	0	4	4	4	4	0	4	0	4	4	4	4
0	3	0	5	0	5	0	4	0	5	0	4	0	4	5
0	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	4	4	4	3
5	3	1	3	4	5	5	4	5	5	0	5	4	5	5
0	4	0	5	0	4	5	5	0	4	4	5	0	4	4
4	4	0	4	3	5	5	5	0	4	4	4	3	5	5
4	0	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	5	4	5
0	5	0	3	3	5	4	5	4	5	2	4	0	4	4





**ANEXO 8: TABLA DE DATOS DE ENCUESTA A PROFESORES CON TODOS LOS ENUNCIADOS**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	4	3	3	3	2	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	5	4	4
	3	5	1	3	5	1	3	5	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	4	5	4	4	4	5	4	4	5	5	5	5	3	4	5	5	5	4	5	4	5	4	5	5
	4	5	4	3	5	1	5	2	3	5	3	1	0	5	1	5	1	5	3	1	1	5	1	1
	2	3	5	3	5	2	2	2	2	4	4	1	4	4	4	5	5	5	5	2	4	5	4	1
	4	4	3	3	4	2	4	3	3	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4	4	3	3
	4	0	1	0	4	1	4	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	3	4	4	1
	2	1	5	0	3	1	1	5	3	5	5	5	4	0	5	5	5	4	5	5	1	5	5	5
	5	4	4	2	5	4	4	3	0	4	4	4	4	4	4	5	5	4	5	1	4	4	4	4
	3	3	4	4	5	2	3	2	3	4	3	2	4	0	4	4	4	5	4	2	3	4	4	3
$\Sigma=$	36	35	37	29	47	29	41	42	34	52	49	47	48	47	55	62	58	62	63	47	55	67	62	56

**TABLA DE DATOS DE PROFESORES CON ENUNCIADOS GEN P**

	1	2	3	7	8	9	10	13	14	15	17	19	20	24	25
	4	3	3	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	4	5
	3	5	1	3	5	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5
	4	5	4	4	4	5	5	3	4	5	5	5	4	5	5
	4	5	4	5	2	3	5	0	5	1	1	3	1	1	2
	2	3	5	2	2	2	4	4	4	4	5	5	2	1	3
	4	4	3	4	3	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4
	4	0	1	4	4	0	4	4	4	4	4	4	1	1	4
	2	1	5	1	5	3	5	4	0	5	5	5	5	5	5

	5	4	4	4	3	0	4	4	4	4	5	5	1	4	4
	3	3	4	3	2	3	4	4	0	4	4	4	2	3	3
$\Sigma=$	35	33	34	34	34	25	42	35	33	40	41	44	27	32	40

**TABLA DE DATOS DE PROFESORES CON ENUNCIADOS GEN D**

	4	5	6	11	12	13	16	17	18	19	21	22	23	24	25
	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5
	3	5	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	4	4	5	5	5	3	5	5	4	5	5	4	5	5	5
	3	5	1	3	1	0	5	1	5	3	1	5	1	1	2
	3	5	2	4	1	4	5	5	5	5	4	5	4	1	3
	3	4	2	3	4	3	4	3	4	4	4	4	3	3	4
	0	4	1	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	1	4
	0	3	1	5	5	4	5	5	4	5	1	5	5	5	5
	2	5	4	4	4	4	5	5	4	5	4	4	4	4	4
	4	5	2	3	2	4	4	4	5	4	3	4	4	3	3
$\Sigma=$	25	42	23	38	35	35	46	41	44	44	34	45	39	32	40

ANEXO 9 : TABLA DE DATOS DE ENCUESTA A ESTUDIANTES CON VALORES FILTRADOS POR CATEGORIAS

1	10	11	17	18	2	3	19	21	22	4	5	7	14	25	6	15	16	20	24	8	9	12	13	23
4	4	0	0	0	5	4	4	0	5	0	4	4	4	2	0	4	4	0	0	0	0	0	5	0
0	3	0	5	0	0	4	0	4	4	0	4	4	0	0	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4
0	4	4	4	0	2	0	5	0	0	4	4	0	0	0	0	4	0	4	0	5	0	4	4	4
2	3	4	5	4	0	0	4	0	5	4	4	4	0	5	5	4	5	0	5	4	0	4	4	4
4	3	2	4	2	4	0	4	0	2	2	4	0	2	1	0	4	2	0	4	4	0	4	0	4
0	2	0	2	0	2	4	4	4	0	4	0	4	4	4	5	4	4	4	2	4	2	4	2	2
5	4	4	4	4	5	5	4	0	4	4	0	5	0	5	5	5	4	4	5	4	4	5	5	5
4	3	4	0	4	0	0	4	5	4	5	5	0	0	0	0	4	5	4	4	0	5	4	4	4
4	4	4	4	0	5	4	4	4	0	0	4	4	0	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	4	4	0	0	4	4	4	0	4	0	4	4	0	4	0	4	4	0	4	4	0	4	0	4
4	5	4	4	0	4	4	4	4	4	0	4	0	0	4	4	4	0	4	4	4	0	0	0	4
4	5	0	0	0	0	0	4	4	2	0	4	0	0	5	5	4	5	0	4	4	0	2	2	5
1	4	2	0	2	0	1	4	1	4	4	2	5	4	0	0	4	2	0	4	5	4	4	5	5
4	5	4	5	5	5	0	5	1	5	0	2	5	4	4	1	5	5	1	1	4	0	4	5	2
4	4	4	5	0	0	1	5	5	5	1	2	4	0	5	4	5	5	5	5	1	0	5	1	5
4	4	0	4	4	4	0	4	5	5	4	0	2	4	0	1	4	4	5	4	2	0	0	4	0
4	4	0	4	0	4	0	5	4	5	4	2	2	1	4	4	5	4	4	5	4	4	0	2	5
0	4	4	0	0	2	2	0	0	0	4	4	4	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	4	0	4	0	5	4	0	4	0	0	4	0	4	1	4	4	4	4	0	2	4	0	2
4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	5	1	4	5	4	4	5	2	4	4	2
0	4	2	4	4	0	4	2	4	0	2	0	4	0	0	4	5	5	5	2	5	4	0	4	4
1	2	0	0	0	1	1	5	5	5	4	5	5	0	0	5	5	4	1	0	5	0	5	1	5
4	3	0	0	5	0	5	0	1	0	0	0	4	0	2	1	0	0	0	4	2	0	0	0	0

5	4	5	5	0	0	4	5	4	5	2	4	4	4	4	2	5	2	5	5	4	0	5	5	0
4	4	4	2	2	0	4	4	0	4	0	4	4	0	0	4	5	0	2	5	0	0	5	4	5
2	5	5	0	0	1	4	5	4	4	4	4	0	2	2	0	1	5	0	1	0	0	5	5	5
4	4	0	4	0	4	4	4	4	4	0	4	0	0	4	0	5	4	4	4	0	0	4	4	0
4	4	4	0	4	4	0	5	4	4	0	4	4	0	4	0	5	0	4	5	0	0	0	4	4
4	3	5	0	0	0	0	4	4	5	0	4	0	0	4	0	5	5	0	5	5	4	0	4	5
0	4	0	0	0	0	4	4	0	4	0	2	0	0	4	0	4	4	0	4	2	4	4	4	4
5	5	5	0	0	5	4	5	0	4	0	0	0	1	5	0	2	0	4	4	2	0	0	5	0
4	4	4	0	0	4	5	0	0	4	0	4	0	4	0	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4
4	4	0	0	5	5	0	5	0	5	5	0	5	0	5	1	5	5	0	5	5	0	4	5	4
4	5	5	0	0	4	4	4	4	5	0	4	4	0	4	0	4	5	5	4	4	4	0	4	0
5	4	4	0	0	5	4	4	4	4	4	4	0	0	5	0	5	5	4	5	0	0	0	5	0
5	5	4	0	4	4	4	4	4	4	4	0	5	0	5	4	5	4	0	4	4	5	0	4	5
4	3	0	0	4	4	5	5	2	4	0	5	5	4	4	0	5	4	2	4	0	0	0	5	0
4	3	0	0	4	4	5	5	2	4	0	5	5	4	4	0	5	4	2	4	0	0	0	5	0
5	4	0	0	0	4	5	4	4	5	0	0	4	2	0	0	4	0	4	0	4	0	0	0	0
4	4	4	0	0	4	0	0	4	4	0	5	4	4	4	0	4	4	4	4	0	0	4	4	4
0	4	4	0	4	5	5	4	2	5	5	0	4	0	4	0	0	4	0	4	1	0	0	4	4
4	5	5	0	0	0	4	5	2	5	0	4	4	0	5	1	5	4	5	5	4	2	4	0	1
5	3	0	0	4	0	4	5	0	4	0	4	0	0	5	0	0	4	0	5	1	0	4	4	1
0	5	4	0	4	4	0	4	2	4	0	4	0	4	1	0	4	4	1	0	0	1	4	4	0
0	3	0	0	0	5	5	0	4	2	2	0	2	4	4	1	4	0	1	2	0	2	0	2	0
2	4	4	0	0	2	2	4	4	4	0	0	4	4	4	2	4	4	4	0	0	0	4	0	4
0	4	4	0	0	0	4	5	0	0	0	4	0	4	4	0	4	0	4	0	4	0	0	4	4
4	4	4	0	0	4	4	4	0	0	0	0	4	4	4	0	4	4	4	4	0	0	4	4	4
4	4	0	0	0	4	5	4	0	4	0	0	4	0	4	0	4	0	0	4	0	0	0	2	4
0	4	2	0	4	0	4	4	0	4	4	5	0	4	0	2	4	0	0	4	2	0	0	0	0
4	4	4	0	0	0	2	0	0	0	5	0	5	0	4	0	5	5	2	5	5	0	0	5	5

5	5	5	0	0	0	4	2	0	4	0	4	5	0	0	0	4	4	1	5	5	2	4	5	4	
0	2	4	0	0	1	4	5	4	4	0	4	1	5	1	0	4	0	5	1	4	2	2	4	2	
4	2	0	0	2	2	0	5	5	5	0	1	2	0	4	0	0	1	5	0	1	0	4	5	4	
2	4	4	0	4	4	2	5	0	5	4	0	4	0	4	4	5	5	4	5	0	0	4	5	4	
4	5	5	0	4	1	0	5	2	5	2	1	4	4	0	4	5	0	0	0	1	0	0	1	4	
0	5	4	0	4	4	0	5	4	5	0	2	5	0	5	5	0	5	4	5	0	1	4	5	5	
4	4	4	0	4	2	4	4	0	4	4	0	4	4	4	0	4	4	4	4	4	0	5	4	5	
4	4	0	0	4	4	0	4	4	4	0	0	0	0	4	0	4	4	4	4	5	0	0	0	4	
4	4	4	0	4	4	0	4	4	4	0	4	0	0	4	0	4	4	4	4	4	0	0	0	4	
176	230	160	0	103	145	157	224	132	212	91	150	164	87	181	85	231	186	153	197	149	59	143	185	177	
1	10	11	17	18	2	3	19	21	22	4	5	7	14	25	6	15	16	20	24	8	9	12	13	23	
P	P	D	M	D	P	P	M	D	D	D	D	P	P	M	D	P	D	P	M	P	P	D	M	D	
UTILIDAD					CARACTERISTICAS				MODELO				DEFINICIÓN				FUNCIÓN								
TABLA DE DATOS DE ENCUESTA A PROFESORES CON VALORES FILTRADOS POR CATEGORIAS																									
1	10	11	17	18	2	3	19	21	22	4	5	7	14	25	6	15	16	20	24	8	9	12	13	23	
4	4	4	4	4	0	0	4	4	5	0	2	4	0	5	4	4	4	0	4	4	0	4	4	4	
0	0	0	5	5	5	1	5	5	5	0	5	0	5	5	1	5	5	5	5	5	0	5	5	5	
4	5	5	5	4	5	4	5	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	5	4	5	5	0	5	
4	5	0	1	5	5	4	0	1	5	0	5	5	5	2	1	1	5	1	1	2	0	1	0	1	
2	4	4	5	5	0	5	5	4	5	0	5	2	4	0	2	4	5	2	1	2	2	1	4	4	
4	4	0	0	4	4	0	4	4	4	0	4	4	4	4	2	4	4	0	0	0	0	4	0	0	
4	4	4	4	4	0	1	4	0	4	0	4	4	4	4	1	4	4	1	1	4	0	4	4	4	
2	5	5	5	4	1	5	5	1	5	0	0	1	0	5	1	5	5	5	5	5	0	5	4	5	
5	4	4	5	4	4	4	5	4	4	2	5	4	4	4	4	4	5	1	4	0	0	4	4	4	
0	4	0	4	5	0	4	4	0	4	4	5	0	0	0	2	4	4	2	0	2	0	2	4	4	
29	39	26	38	44	24	28	41	28	45	10	39	28	30	34	23	40	46	21	26	28	7	35	29	36	

## ANEXO 10 CAPITULOS DE LIBRO TEXTOS ANALIZADOS

CAPITULO/LIBRO	PRINCIPIOS DE GENETICA CUARTA EDICION 1998 GARDNER/SIMMONS/SNUSTAD	INTRODUCCION AL ANALISIS GENETICO CUARTA EDISION 1992 SUZUKI/GRIFFITHS/MILLER/LEWONTIN	CONCEPTOS DE GENETICA QUINTA EDICION 1999 WILLIAM S.KLUG/ MICHAEL R. CUMMINGS
CAPITULO 2	GENETICA MENDELIANA	ANALISIS MENDELIANO	DIVISION CELULAR Y CROMOSOMAS
CAPITULO 3	MECANICA CELULAR	LA TEORIA CROMOSOMICA DE LA HERENCIA	GENETICA MENDELIANA
CAPITULO 4	DETERMINACION DEL SEXO Y LIGAMIENTO DEL SEXO	EXTENSION DEL ANALISIS MENDELIANO	MODIFICACION DE LAS PROPORCIONES MENDELIANAS
CAPITULO 5		LIGAMIENTO I: FUNDAMENTOS DE CARTOGRAFIA CROMOSOMICA EN EUKARIOTAS	LIGAMIENTO, ENTRECruzAMIENTO Y MAPAS CROMOSOMICOS
CAPITULO 7	LIGAMIENTO, ENTRECruzAMIENTO Y MAPAS GENETICOS	MUTACIONES GENETICAS	AMPLIACIONES DEL ANALISIS GENETICO
CAPITULO 8			HERENCIA EXTRANUCLEAR
CAPITULO 9			VARIACION CROMOSOMICA Y DETERMINACION DEL SEXO
CAPITULO 10	EXPRESION DE GENES		ESTRUCTURA Y ANALISIS DEL DNA Y DEL RNA
CAPITULO 11	MUTACION	LA ESTRUCTURA DEL DNA	
CAPITULO 12		LA NATURALEZA DEL GEN	ALMACENAJE Y EXPRESION DE LA INFORMACION GENETICA
CAPITULO 13		FUNCION DEL DNA	LAS PROTEINAS: EL PRODUCTO FINAL DE LA EXPRESION GENETICA

CAPITULO 14	REGULACION DE LA EXPRESION GENICA EN PROCARIONTES		
CAPITULO 15	REGULACION DE LA EXPRESION GENICA Y EL DESARROLLO EN EUCHARIONTES		
CAPITULO 16		CONTROL DE LA EXPRESION GENICA	
CAPITULO 17		MECANISMO DE CAMBIO GENETICO I: MUTACION GENICA	ORGANIZACION GENOMICA DEL DNA
CAPITULO 19		MECANISMO DE CAMBIO GENETICO III: ELEMENTOS GENETICOS TRANSPONIBLES	REGULACION DE LA EXPRESION GENICA EN EUCHARIOTAS
CAPITULO 20	HERENCIA EXTRACROMOSOMICA	EL GENOMA EXTRANUCLEAR	GENETICA DEL DESARROLLO
CAPITULO 21	GENETICA CUANTITATIVA	GENES Y DIFERENCIACION	
CAPITULO 22	GENETICA DE POBLACIONES Y EVOLUCIONISTA		
CAPITULO 23		GENETICA CUANTITATIVA	
CAPITULO 24		GENETICA DE POBLACIONES	GENETICA DE POBLACIONES
CAPITULO 25			GENETICA Y EVOLUCION

**ANEXO 11**  
**ENUNCIADOS DE LOS DE TEXTOS**  
**224,225,226 paginas**











## ANEXO 12

### DATOS DE ANÁLISIS DE CONTENIDO DE LOS TRES TEXTOS DE GENETICA TRABAJADOS

Características	Dimensiones		
	A 1.1	41	Aa
A 1.2	46	Ab	12
A 1.3	5	Ac	59
A 1.4	19	Ad	51
B. 1.1	1	Ba	12
B. 1.2	62	Bb	19
B.1.3	48	Bc	33
B.1.4	14	Bd	49

Frecuencia de enunciados por categorías en el texto “Introducción Al Análisis Genético. 1992. Suzuki,Griffiths,Miller yLewontin Cuarta Edición”

Características		Dimensiones	
		1.1 A	26
1.2 A	15	Ab	5
1.3 A	6	Ac	13
1.4 A	2	Ad	26
1.1 B	37	Ba	8
1.2 B	32	Bb	9
1.3 B	3	Bc	26
1.4 B	3	Bd	38

Frecuencia de enunciados por categorías en el texto “Conceptos de Genética”.

Categorías		Dimensiones	
		1.1 A	34
1.2 A	12	Ab	9
1.3 A	3	Ac	47
1.4 A	3	Ad	19
1.1 B	52	Ba	2
1.2 B	35	Bb	12
1.3 B	5	Bc	43
1.4 B	6	Bd	42

Frecuencia de enunciados por categorías en el texto “Principios de Genética”

	TEXTO 1	TEXTO 2	TEXTO 3
1.1 A	41	26	34
1.2 A	46	15	12
1.3 A	5	6	3
1.4 A	19	2	3
1.1 B	1	37	52
1.2 B	62	32	35
1.3 B	48	3	5
1.4 B	14	3	6

Frecuencia de enunciados por categorías de los tres textos. Texto 1: Introducción al análisis genético. Texto 2: Conceptos de genética. Texto 3: Principios de genética

DIMENSIONES	TEXTO 1	TEXTO 2	TEXTO3
Aa	15	9	2
Ab	12	5	9
Ac	59	13	47
Ad	51	26	19
Ba	12	8	2
Bb	19	9	12
Bc	33	26	43
Bd	49	38	42

Frecuencia de enunciados dimensiones en los tres textos. Texto 1: Introducción al análisis genético. Texto 2: Conceptos de genética. Texto 3: Principios de genética

**ANEXO 13**

**TABLA DE CONTENIDOS DESDE LA HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DEL  
CONCEPTO GEN**

**ANEXO 14**

**DOCUMENTO HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DEL CONCEPTO *GEN* PARA SU  
ENSEÑANZA**