

**EVOLUCIÓN DE SIGNIFICADOS DEL CONCEPTO DE GEN EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE LA CARRERA DOCENTE DE BIOLOGÍA**  
(Evolution of meanings of the concept of gen in students of higher education in the teaching of biology)

**Dalia Diez de Tancredi** [caracas102009@hotmail.es]

Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas

**Concesa Caballero** [concesa@ubu.es]

Universidad de Burgos. Facultad de Ciencia. España

**Resumen**

El propósito fue identificar significados iniciales del concepto de gen entre 50 estudiantes de la carrera de formación de docentes de Biología de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), Instituto Pedagógico de Caracas, de los cursos de Biología Celular (BC) y Genética General (GG), así como los construidos a partir de una intervención didáctica que formó parte de la Investigación Acción Participativa (IAP). El trabajo se fundamenta en la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel, en los principios facilitadores del aprendizaje significativo crítico de Moreira y elementos del acto educativo de Novak. Para indagar la evolución de significados de dicho concepto se emplearon: cuestionarios, entrevistas, mapas de conceptos y representaciones gráficas elaboradas por los estudiantes. El análisis de los datos señala una evolución del significado de gen, que no ocurre de la misma manera para la totalidad de los estudiantes. Dicha evolución se corresponde con la intervención didáctica y acciones con docentes de ambos cursos. Se destaca la importancia de organizar la enseñanza de manera potencialmente significativa en espacios de aprendizaje para reflexionar sobre el contenido y su aprendizaje. La enseñanza de conceptos abstractos, como es el gen, requiere ser mediada deliberadamente para presentar el conocimiento científico con una visión crítica y reflexiva de su epistemología.

**Palabras-clave:** aprendizaje significativo crítico; concepto de gen; epistemología e historia de la Biología.

**Abstract**

The aim of the study was to identify initial meanings of the concept of the gene among 50 students from the career training of teachers of biology at the University Pedagogical Experimental Libertador (UPEL), Pedagogical Institute of Caracas, who enrolled in Cell Biology (BC) and General Genetics (GG), as well as those built from a didactic intervention that formed part of Participatory Action Research (PAR). The work is based on the Theory of Meaningful Learning of Ausubel, on the principles of critical meaningful learning facilitators of Moreira, and on elements of the educational act of Novak. To investigate the evolution of meaning of this concept were used: questionnaires, interviews, maps and graphic representations of concepts developed by students. The data analysis provides a differentiated evolution of the meaning of the gene in the students, which corresponds to the didactic intervention and teachers, actions in both courses. It shows the importance of organizing the teaching in a potentially meaningful way to reflect on the content and learning, so that abstract concepts such as gene, must be presented with a critical and reflexive epistemology.

**Keywords:** critical meaningful learning; concept of gene; epistemology and history of biology.

**Introducción**

La epistemología del concepto de gen muestra, en primer término, una vinculación con el conocimiento de la herencia biológica para comprender cómo se transmiten los caracteres (fenotipo) de padres a hijos y su significado se relaciona inicialmente con la posibilidad de explicar regularidades y patrones asociados a la misma, que llevó al desarrollo de la Genética

clásica hacia finales del siglo XIX e inicio de la biotecnología en el siglo XX. Las investigaciones permitieron identificar y profundizar el conocimiento de estructuras celulares sus funciones en los sistemas vivientes, el núcleo celular, cromosomas, fortaleciendo el campo de la Biología Celular. Como parte de este dinámico proceso epistemológico durante la mayor parte del siglo XX en Genética, Biología Molecular y Biología Celular, se vincula el concepto de gen como “información biológica” contenida en los ácidos nucleicos (ADN y ARN) que condujo a profundizar el estudio y formulación del modelo estructural del ADN. En Biología Molecular, el significado del concepto de gen se asocia con procesos celulares y mecanismos de duplicación, transcripción y traducción de la información contenida en el ADN, formación del ARN y procesos de síntesis proteica. Ello asocia la evolución de su significado al desciframiento del código genético, la identificación y secuenciación de los genes, estudio del Genoma y sus implicaciones biotecnológicas.

Actualmente el conocimiento aceptado sobre el concepto de gen, si bien se considera como “información biológica” que se transcribe y traduce en una variedad de proteínas, también se relaciona a diversos procesos y funciones que tienen lugar en los sistemas vivientes, lo que ha llevado a plantear la revisión de su significado, por la existencia de variedad de genes con multiplicidad de posibilidades de expresión, más allá de sus implicaciones en la transmisión de caracteres hereditarios y la síntesis de proteínas específicas, dando apertura a una mayor amplitud en sus significados iniciales.

En el campo educativo, la epistemológica del concepto de gen y su consideración como “información biológica” con diversas posibilidades de expresión, requiere considerar una posición distinta y reflexiva e introducir cambios en su enseñanza, facilitar su comprensión como conocimiento en construcción que lleve a reconsiderar a la ciencia como actividad humana que intenta comprender diversos fenómenos asociados con la Biología, la Tecnología y sus implicaciones sociales.

En la formación de profesores de Biología es necesario incluir contenidos que permitan comprender la evolución de significados del concepto de gen, sus implicaciones en la construcción del conocimiento, así como de los principios para organizar y orientar una enseñanza potencialmente significativa y crítica de este concepto (Moreira, 2005) que favorezca aprendizajes significativos críticos.

Con la finalidad de conocer la evolución progresiva del aprendizaje del concepto de gen entre estudiantes de Biología, se llevó a cabo un proceso de Investigación Acción Participativa (IAP) en dos cursos consecutivos: Biología Celular y Genética General donde participan como actores **50** estudiantes regulares de semestres académicos (2006 I / 2006 II y 2006 II/ 2007 I), así como las docentes de dichos cursos y la investigadora. El estudio se condujo para identificar e interpretar los significados del concepto de gen que tienen los estudiantes al inicio (significados previos) y aquellos que construyen durante los mismos (evolución de significados del concepto de gen).

Interrogantes:

- ¿Qué significados, acerca del gen, tienen los estudiantes del IPC-UPEL al inicio del desarrollo de los cursos de Biología Celular y Genética General?
- ¿Qué significados del concepto de gen construyen los estudiantes universitarios de la carrera docente de Biología del IPC?, y ¿cómo evolucionan durante el desarrollo de los cursos de Biología Celular y Genética General?

Objetivos:

- Identificar los significados iniciales que tienen los estudiantes universitarios de la carrera docente de Biología del IPC sobre el concepto de gen y cómo los mismos evolucionan durante el desarrollo de cursos consecutivos de Biología Celular (BCC1/BCC2) y Genética General (GGC1/GGC2).
- Indagar sobre obstáculos y elementos facilitadores en la comprensión, adquisición y dominio del concepto de gen entre los estudiantes.
- Estudiar la progresiva evolución del concepto de gen a través de una diversidad de instrumentos y situaciones de enseñanza con niveles de complejidad diversos.
- Identificar criterios orientadores para favorecer aprendizajes pertinentes y promover el desarrollo de nuevos esquemas de acción en los estudiantes.

## Metodología

Investigación de tipo interpretativo cualitativo (Martínez, 2007) responde según Scribano (2008) a una investigación acción participativa que favoreció la construcción de la intervención didáctica. La misma fue desarrollada a partir del análisis e interpretación de lo acontecido en el aula y fuera de ella y donde participaron estudiantes, ambas docentes y la investigadora. Según Leal (2009) este tipo de investigación se caracteriza por su aportación en la construcción del conocimiento social. Su aplicación permitió observar e interactuar con los estudiantes, identificar conocimientos previos, elementos para la caracterización de estilos de enseñanza de ambas docentes e identificar tanto los materiales educativos y contenidos considerados inicialmente como aquellos necesarios a incorporar. Las actividades de enseñanza desarrolladas en cada uno de los cursos, al igual que las respuestas y actividades de los estudiantes se analizaron considerando los elementos del acto educativo y sus interacciones, de acuerdo con Novak (1992). De esta manera, fue posible construir una imagen lo más realista posible de los hechos, reflexionar críticamente sobre los mismos e intervenir en el proceso. El registro y análisis de resultados de la aplicación del cuestionario inicial sobre significados del concepto de gen, su importancia para la vida y como conocimiento biológico, permitió seleccionar y llevar a cabo actividades didácticas con diversos materiales educativos en espacios fuera del aula. A partir de ello se tomaron decisiones que condujeron a re-planificar con la participación de las profesoras de ambos cursos. Los 50 estudiantes se distribuyeron en dos subgrupos, a quienes se les informó previamente el propósito del estudio y actividades a realizar, expresando formalmente su aceptación a participar en dicha investigación.

Para llevar a cabo la Intervención Didáctica, se partió de lo establecido en la programación teórico-práctica de ambas asignaturas, lo que requirió reorganizar tanto la secuencia de los contenidos, las actividades y la selección de diversos materiales educativos, considerando los principios facilitadores del aprendizaje significativo crítico de Moreira (2005; 2006). Se partió de la observación y registro de lo acontecido en el aula, identificando hechos que permitieron detectar conocimientos previos de los estudiantes, las dificultades y posibles avances, y a partir de ello realizar sesiones de análisis y reflexión tanto con los estudiantes como con las docentes para adecuar las actividades siguientes. La incorporación de elaboración de mapas de conceptos y representaciones gráficas, por parte de los estudiantes, en diversos momentos permitió interpretar la construcción y evolución de significados del concepto de gen. El análisis de representaciones externas, que con frecuencia son utilizadas en los libros y otros materiales didácticos, permitió interpretar la evolución que desde la ciencia ha tenido este concepto biológico. La incorporación de actividades de laboratorio no estructurado por parte de los propios estudiantes, bajo la supervisión de las docentes, permitió la búsqueda de información y uso de diversos materiales. La resolución de problemas y la socialización favoreció el aprendizaje e identificación de distintas posibilidades e interpretaciones, así como la valoración y reconocimiento de la historia y el papel del conocimiento científico.

*Técnicas e Instrumentos:*

**Cuestionario** con preguntas abiertas referidas al concepto de gen, contenidos asociados, su valoración e importancia como conocimiento de la Biología, así como la elaboración de mapas de conceptos y representaciones gráficas.

**Cuadro 1. Aspectos a evaluar e ítems que se incorporaron en el cuestionario.**

Partes del cuestionario	Aspecto a evaluar	Ítems
Primera	Significado(s) del concepto de gen	1. ¿Qué significado(s) tiene(n) el concepto de gen?
		2. ¿Qué son, para usted, los genes?
		3. ¿Con qué procesos biológicos asocias a los genes?
		4. ¿Qué contenidos consideras están asociados el concepto de gen.
		5. ¿Qué tipos de genes conoces?
	Valoración de este conocimiento para la vida	6. ¿Qué importancia tiene conocer acerca del concepto de gen?
		7. ¿En qué situaciones o aspectos de la vida personal este conocimiento de la Biología ha sido importante?
	Importancia del concepto de gen en la Biología	8. ¿Con qué áreas de la Biología relacionas el concepto de gen?
		9. ¿Con qué aspectos biotecnológicos relacionas el concepto de gen?
		1. ¿Qué implicaciones sociales tiene el conocimiento acerca de los genes?
		2. ¿Qué aspectos éticos están relacionados con el conocimiento acerca de los genes?
		3. ¿Qué aplicaciones en el área de la salud tiene el conocimiento acerca de los genes?
		4. ¿En qué nuevas áreas de la Biología, este conocimiento es determinante?
Segunda	Representaciones externas	5. Representa gráficamente el concepto de gen. (Dibujo, esquema u otra forma de representación externa).
		6. Elabora un mapa de conceptos acerca del gen, como conocimiento biológico.

**Entrevistas**, grabadas en audio con guión semiestructurado de preguntas comunes y aspectos específicos establecidos a partir de respuestas al cuestionario, para profundizar sobre significados del concepto de gen mediante explicaciones de la representación gráfica y del mapa de conceptos de cada estudiante.

**Registro de observaciones** fuera del aula y durante las clases en ambos cursos.

La observación y aplicación de cuestionarios y entrevistas consideró:

- *Construcción y validación del cuestionario*, por juicio de expertos en el área y en elaboración de instrumentos. La consistencia interna se determinó mediante la prueba Alfa de Cronbach.
- *Aplicación del cuestionario* al inicio de los cursos y durante el desarrollo de BC y GG, así como la incorporación de ítems en pruebas regulares de cada curso.
- *Entrevistas*, con ítems **comunes** para los estudiantes y profundizar las respuestas del significado del concepto de gen incorporadas en el cuestionario e información de representaciones gráficas y los mapas de conceptos elaborados por ellos.
- *Sistematización del registro de las observaciones*, en cuaderno de campo de la investigadora.

Para el **análisis de la información** se consideró:

**La triangulación** de información de respuestas a preguntas del cuestionario, aportes verbales registrados durante las entrevistas y las intervenciones con estudiantes fuera del aula, así como las observaciones registradas durante el desarrollo de las clases. Ello ofreció elementos para organizar, interpretar resultados y planificar los momentos sucesivos. Así como el **acopio de documentación**: cuaderno de campo, grabaciones de audio y registros visuales sobre el contexto donde se llevó a cabo el estudio.

**Análisis y reflexión crítica** de la información con las profesoras de ambos cursos, permitió la planificación, evaluación y toma de decisiones consensuadas.

La información fue analizada e interpretada a partir de los referentes teóricos: Teoría de Aprendizaje Significativo de Ausubel (2002), los principios orientadores de Moreira (2005; 2006) para conducir una enseñanza potencialmente significativa y crítica, así como de los elementos del acto educativo de Novak (1981; 1992) como parte de su Teoría de la Educación.

Para analizar los **significados del concepto de gen**, se procedió a:

- Considerar la totalidad de las respuestas a los ítems (1 a 5) del **cuestionario e** información procedente del ítem 14, que fueron grabadas en audio durante la entrevista de todos los estudiantes (n=50).
- Establecer Unidades de Análisis (UA), a partir de frases, oraciones e ideas expresadas en las respuestas al cuestionario y de las respuestas verbales aportadas durante la entrevista.
- Construir categorías acerca del significado del concepto de gen, a partir de las respuestas de los estudiantes (inductivamente) y su contrastación con el conocimiento biológico actualmente aceptado por la comunidad científica (CBA) (deductivamente).
- Ubicar las UA en las categorías establecidas.
- Validar con especialistas en contenido las categorías e identificar las UA en ellas.
- Formular la categorización final y concreción en ellas de las UA.

Las categorías del significado del concepto de gen identificadas fueron:

1. **Unidad física de la herencia** que se transmite de un organismo a sus descendientes.
2. **Información** en la secuencia de nucleótidos del ADN, en forma de código específico, bien sea formando parte de los cromosomas (en eucariontes) o en el ARN/ADN de los procariontes, asociada a la síntesis de proteínas.
3. **Información biológica o unidad de transcripción** que puede expresarse en diversos procesos biológicos en los sistemas vivientes.

La decisión para asignar las respuestas a los ítems 1 a 5 y del ítem 14 en las categorías de los diferentes significados del concepto de gen se fundamentó en la presencia de elementos característicos a cada uno de los significados considerados. El procedimiento de análisis de la **valoración** que hacen los estudiantes de este conocimiento **para la vida** se fundamentó en un proceso deductivo de las respuestas, a los siguientes ítems:

**Ítem 4.** ¿Qué importancia tiene conocer acerca del concepto de gen?

**Ítem 5.** ¿En qué situaciones o aspectos de la vida personal este conocimiento de la Biología ha sido importante?

Las respuestas dadas, por los estudiantes permitió organizarlas en:

- Comprender la herencia de enfermedades de origen genético.
- Entender la herencia de caracteres entre los miembros de una familia, generalmente la propia.
- Identificar implicaciones del genotipo en el fenotipo.
- Conocer sus aplicaciones para mejorar la calidad de los alimentos, de los cultivos, en la producción animal, en el diagnóstico de enfermedades, la elaboración de fármacos, en terapia génica, entre otras.

El análisis de la **Importancia del concepto de gen** en la Biología se fundamentó en las respuestas a:

**Item 8.** ¿Con qué áreas de la Biología relacionas el concepto de gen?

**Item 9.** ¿Con qué aspectos biotecnológicos relacionas al concepto de gen?

**Item 10.** ¿Qué implicaciones sociales tiene el conocimiento acerca de los genes?

**Item 11.** ¿Qué aspectos éticos están relacionados con este conocimiento?

**Item 12.** ¿Qué aplicaciones tiene el conocimiento acerca de los genes?

**Item 13.** ¿En qué nuevas áreas de la Biología, este conocimiento es determinante?

Las mismas fueron organizadas en:

- Estudiar fenotipos y genotipos.
- Comprender variaciones, entre individuos de una misma especie, inclusive entre miembros de una misma familia.
- Considerar posibles aplicaciones de este conocimiento biológico y llevar a cabo investigaciones.
- Estudiar y comprender el Genoma.
- Estudiar adaptaciones evolutivas.
- Para el propio desarrollo y avance del conocimiento biológico.
- Para la comprensión de procesos biológicos que tienen que ver con la transmisión de información.

## Resultados

*Análisis e interpretación del significado de gen a partir del cuestionario y entrevistas*

**Significado inicial** del concepto de gen, valoración de este conocimiento para la vida e importancia de dicho conocimiento biológico.

Las respuestas se organizaron en:

**1. Unidad física de la herencia** que se transmite de un organismo a sus descendientes.

2. **Información contenida en secuencia de nucleótidos del ADN**, en forma de código específico, bien sea formando parte de los cromosomas (en seres eucariontes) como en el ADN/ARN de los procariontes, y asociada a la síntesis de proteínas.

3. **Información biológica o unidad de transcripción** que puede expresarse en diversos procesos biológicos en los distintos sistemas vivientes.

b. Presencia de términos y conceptos específicos en representaciones gráficas (dibujos) y mapas de conceptos, permitió interpretar el significado del concepto de gen.

**Cuadro 2. Escala valorativa de correspondencia del significado del concepto de gen con el CBA.**

<b>Categoría / descripción</b>	<b>Correspondencia</b>
(3). <b>Información biológica o unidad de transcripción</b> contenida en el ADN, ARN, cromosomas, la cual puede expresarse para llevar a cabo diversas funciones en los sistemas vivientes.	1 Total
Combinación de significados de las categorías 1, 2, 3. Combinación de significados de las categorías 2, 3. Combinación de significados de las categorías 1 y 3:	0,75 Alta
(2). <b>Información contenida en la secuencia de nucleótidos del ADN</b> , en forma de código específico y en los cromosomas que permite llevar a cabo la síntesis de determinadas proteínas y la transmisión de caracteres. Combinación de significados de las categorías 1 y 2.	0,50 Media
(1). <b>Unidad física (estructural) de la herencia</b> que se transmite de un organismo a sus descendientes.	0,25 Baja

**Cuadro 3. Significados iniciales del concepto de gen identificados (n =50).**

<b>Significado de gen</b>	<b>Fa</b>	<b>Fr (%)</b>	<b>Correspondencia con el CBA</b>
<b>1.Unidad física (estructural) de la Herencia</b>	22	44	0,25 Baja
<b>2. Información en la secuencia de nucleótidos del ADN asociado a la síntesis proteica.</b>	11	22	0,50 Media
<b>3. Información biológica o unidad de transcripción</b> que puede expresarse para llevar a cabo diversas funciones en los sistemas vivientes.	6	12	1 Total
<b>1; 2. Combinación</b>	5	10	0,25 Media
<b>1; 3. Combinación</b>	5	10	0,75 Alta
<b>2; 3. Combinación</b>	1	2	0,75 Alta
<b>1,2,3. Combinación</b>	0	0	0,75 Alta
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>100 %</b>	

Fa: frecuencia absoluta; Fr: frecuencia relativa

Un 44% considera inicialmente al concepto de gen: como estructura física asociada a la herencia biológica, lo cual se corresponde con el enfoque que predomina en los programas de estudio y en el contenido de libros de texto de Biología de Básica y Media en Venezuela. Este enfoque estructuralista del significado del concepto de gen ha sido reportado como predominante en estudios previos realizados en el nivel preuniversitario en otros países (Lazarowitz y Penso, 1992; Banet y Ayuso, 1995; Lock y Miles, 1993; Ramos y Prieto, 1996; Kindfield, 1991;; Ayuso, et. al., 1996; Ayuso y Banet, 1998; Banet y Ayuso, 1998, entre otros). Según diversos autores, el significado del concepto de gen como estructura física, asociado únicamente con la herencia de caracteres pudiera ser un obstáculo para el aprendizaje y la comprensión del concepto de gen como “información biológica” que puede ser transcrita y expresarse en diversas funciones en los sistemas vivientes.

En consideración con el conocimiento CBA, el significado del concepto de gen, como estructura física, expresado por los estudiantes de educación Superior al inicio de la investigación tiene **baja** correspondencia con el significado actualmente planteado a partir del estudio del Genoma. Este significado **estructuralista** puede evidenciarse a través de respuestas de los estudiantes identificados como: E5, E6, E8, E9, E10, E13, E14, E18, E19, E20, E21, E22, E23, E24, E26, E31, E34, E35, E39, E48, E 49, y E50, y para quienes el concepto de gen se corresponde con “estructura física de la herencia”. A continuación se presenta una selección de respuestas dadas en el cuestionario inicial y en la entrevista, que avala dicha interpretación:

**E5:** *Los genes son unidades físicas de la herencia, ubicadas en los cromosomas... son encargados de la transmisión de los caracteres hereditarios. Los tipos de genes son dominantes, recesivos.*

**E13:** *Las características genéticas de una planta, un animal, una persona, u otro ser vivo son producto de la herencia, es decir, está determinada por sus genes. Por ello que al gen se le considera unidad estructural de la herencia. Existen genes de tipo P es decir aquellos que se expresan en el fenotipo.*

**E20:** *Los genes son estructuras físicas ubicadas en los cromosomas. Un par de genes determina un carácter hereditario, de allí que se les considere unidades de la herencia. Si el carácter es dominante es por que los genes son dominantes. Si el carácter es recesivo, los genes son recesivos.*

**E24:** *Unidad física y funcional de la herencia, lo que significa que son los responsables de la transmisión de caracteres hereditarios. Existen tantos tipos de genes como caracteres hay en los seres vivos a los cuales se refiera uno.*

**E49:** *Es la unidad física y funcional de la herencia, es decir, son ellos los que se transmiten de padres a hijos. Hay genes dominantes y genes recesivos,*

Como se aprecia el significado de gen, los tipos de genes, las funciones y conocimientos asociados registrados, permiten interpretar que los estudiantes lo refieren como unidades físicas relacionadas con la herencia y, en consecuencia, tienen **baja** correspondencia con el conocimiento actualmente aceptado entre la comunidad de biólogos.

Para el 22 % (E4; E7; E27; E28; E30; E33; E36; E41; E42; E43; E44) el significado inicial acerca del concepto de gen se corresponde con el enfoque de la Biología Molecular, cuando consideran que los genes están constituidos por ADN y / o ARN y cuya función está relacionada con la síntesis de proteínas específicas, que permite señalar una correspondencia **media** con el conocimiento actualmente aceptado (CBA).

El 12% (E11; E16; E17; E25; E37y E38) señaló inicialmente el concepto de gen como información biológica o unidades de trascipción. Dicha información está contenida en el ADN formando parte de los cromosomas, o en el ARN/ ADN para organismos procariontes. Para estos estudiantes los genes están implicados en diversos procesos biológicos considerado como **total** correspondencia con el significado actual (CBA).

Para E1, E40, E45, E46, E47 el significado del concepto de gen tiene una correspondencia **media** con el CBA, al considerarlos tanto estructuras físicas asociadas a la herencia como secuencias específicas de nucleótidos de los ácidos nucleicos (ADN o ARN), cuya función es la síntesis de proteínas específicas (combinación de 1,2).

A continuación se presentan algunas respuestas que sustentan esta interpretación:

**E1:** *...forman parte de la carga hereditaria de un individuo; un gen está formado por la secuencia de nucleótidos del ADN, para llevar a cabo la síntesis de proteínas, la herencia de caracteres. Existen genes de iniciación de la información, genes supresores, genes de terminación, etc.*

**E40:** *...formados por secuencias de nucleótidos del ADN y que tienen como función la síntesis de proteínas específicas. Los tipos de genes dependen de la proteína en cuestión, hay genes que contienen la información de activación para la diferenciación celular, por ejemplo.*

**E45:** *Son unidades que forman parte de los cromosomas y están constituidos por segmentos de ADN...encargados de sintetizar las proteínas. Hay genes de iniciación de la síntesis, genes con la información a ser transcrita y genes de terminación.*

El 10% (E2, E3 E15, E29, E32) señala una combinación de significados del concepto de gen (1, 3), al considerarlos como **información biológica o unidad de transcripción** contenida en el ADN o ARN (3), y como estructuras físicas (1) que se encuentran en los cromosomas de los seres eucariontes, la cual puede expresarse para llevar a cabo diversas funciones en los sistemas vivientes, entre ellos, la transmisión de caracteres. Se considera a este significado con **alta** correspondencia con el CBA. La transcripción de respuestas representativas de los estudiantes, se muestra a continuación:

**E2:** *Se le considera como unidad de información ubicada en los cromosomas que permite cumplir con diversas funciones en los seres vivos, entre las cuales están: la síntesis de proteínas, la herencia de caracteres, otros [...]. Los tipos de genes entonces tienen que ver con los procesos biológicos en cuestión.*

**E15:** *Se refieren a la unidad física y fundamental de la herencia, ubicada en los cromosomas cuya información se transmite de padres a hijo. Estas unidades contienen la información biológica que permite llevar a cabo diferentes procesos a nivel celular y de los organismos. Es por ello que para señalar los tipos de genes es necesario referirse a los procesos en los que están involucrados.*

Los estudiantes **E29** y **E32** atribuyen como primera propiedad de los genes el considerarlos **información biológica** y lo complementan señalando, *que forman parte de los cromosomas, como estructuras del núcleo celular, o en otras donde se les ubica.*

El estudiante **E12**, (2%) lo señala como información biológica, que depende de la secuencia de nucleótidos (ADN, ARN) y se transcribe para permitir las funciones de síntesis de proteínas, el desarrollo embrionario y otros procesos en los sistemas vivientes (2,3), lo que también se considera como **alta** correspondencia con el CBA.

A partir de las respuestas dadas puede señalarse que E2, E3, E15, E29 y E32, refieren el significado del concepto de gen como información biológica, sin embargo, sólo el estudiante E12 hace mención a los seres procariontes.

En relación a **significados del concepto de gen** identificados, es posible indicar una diversidad de significados iniciales entre los estudiantes que se corresponde con resultados de otros autores, quienes señalan que, aún entre los biólogos, existen diferentes significados del concepto de gen, los cuales varían desde considerarlos como unidades de la herencia en correspondencia con los conocimientos de la Genética mendeliana, pasando por los conocimientos de la Biología Molecular, donde se refiere su constitución bioquímica y funciones relacionadas, hasta llegar a aquellos que lo consideran como información que regula los procesos biológicos, en correspondencia con su enfoque actual de “*unidades de información*” que pueden ser transcritas, según la Genómica.

En el campo de la enseñanza, como parte de los contenidos de aprendizaje, resulta relevante incluir la epistemología e historia de la ciencia con el propósito de presentar al conocimiento científico como no “definitivo y exacto”, así como la consideración de la ciencia como actividad humana sujeta a cambios y evolución. De ahí que, para la formación de estudiantes universitarios y futuros educadores del campo de la Biología, se considera importante incorporar espacios de aprendizaje que favorezcan la reflexión en cuanto al significado que cada quien atribuye al concepto de gen. Además de presentar la nueva información y contenidos sobre los significados de dicho conocimiento a través de la historia y su desarrollo epistemológico, considerando los diversos campos de la Biología.

Además del significado inicial del concepto de gen, entre los estudiantes del grupo de estudio, tanto en el cuestionario como en la entrevista se indagó sobre la **valoración de este conocimiento**.

El cuadro 4 presenta respuestas tipo, los estudiantes que las señalaron y su ubicación en las categorías. Como producto del análisis se señala que, el 44% considera que este conocimiento le permite comprender la herencia de enfermedades genéticas. 36% indicó que permite entender la herencia de caracteres entre los miembros de su familia; 10 % planteó que este conocimiento le permite conocer como el genotipo determina el fenotipo y el 24% lo considera importante para entender sobre aplicaciones de la Genética: mejorar la calidad de los alimentos, cultivos y producción de animales, así como para el diagnóstico de enfermedades, la elaboración de fármacos, en la terapia génica, entre otras. Los resultados ponen en evidencia la tendencia a asociar al gen con la herencia de caracteres, lo cual reconfirma el significado del concepto de gen expresado inicialmente por los estudiantes. Considerar a este conocimiento como necesario para comprender la herencia de caracteres de padres a hijos se corresponde con el enfoque de programas educativos del nivel pre-universitario.

**Cuadro 4.** Importancia del conocimiento del concepto de gen para la vida, al inicio de la investigación.

<b>Categorías</b>	<b>Respuesta tipo</b>	<b>Código / Estudiante</b>
<b>(1).Comprender la herencia de enfermedades de origen genético.</b>	<i>“Permite comprender cómo y por qué se heredan enfermedades genéticas como la hemofilia, el daltonismo, la distrofia muscular, la diabetes, entre otras.”.</i>	E1, E5, E13, E36, E37, E38, E39, E44, E45, E46, E48, E49, E50.
	<i>“Prever la posibilidad de transmitir alguna enfermedad genética a nuestros hijos”.</i>	E2, E3, E4, E7, E8.
	<i>“Conocer si existe la posibilidad de sufrir determinada enfermedad hereditaria hay en mi familia”.</i>	E17, E25, E29, E11.
<b>(2). Entender la herencia de caracteres entre los miembros de una familia, generalmente la propia.</b>	<i>“Conocer posibles caracteres hereditarios en nuestros futuros hijos”.</i>	E1, E3, E15, E16, E21, E26, E27. E31, E32, E40, E41, E42, E43.
	<i>“Entender por que poseemos rasgos que heredamos de nuestros padres”.</i>	E12, E13, E14, E20, E22, E33.
<b>(3). Identificar implicaciones del genotipo en el fenotipo</b>	<i>“mis hijos tienen el pelo liso porque heredaron los genes de su padre”.</i>	E8.
	<i>“Yo herede los ojos azules de mi papá, pero se que mi mamá, a pesar de tenerlos</i>	E10.

<b>Categorías</b>	<b>Respuesta tipo</b>	<b>Código / Estudiante</b>
	<i>marrones, ella tiene genes para los ojos azules de manera recesiva, si no yo no los podría tener azules”.</i>	
	<i>En mi familia el color de la piel es morena porque hay genes que determinan ese color”.</i>	E13.
	<i>“Uno puede saber a partir de los caracteres visibles de una persona, como es el genotipo”.</i>	E17, E23, E34, E47.
<b>(4). Conocer sus aplicaciones para mejorar la calidad de alimentos, cultivos, producción animal, en el diagnóstico de enfermedades, la elaboración de fármacos, en terapia génica, entre otras,</b>	<i>“La producción de alimentos transgénicos como las verdura ha sido posible por de aplicaciones de la genética”.</i>	E2, E6, E9.
	<i>“Conociendo los genes que producen ciertas enfermedades es posible conocer formas para producir medicamentos”</i>	E10, E13, E18, E19, E24, E28, E30, E35, E39.

En cuanto a la **Importancia de este concepto para la Biología**, las respuestas tipos señaladas por los estudiantes acerca de la importancia del concepto de gen para la Biología como ciencia (ítems 8 a 13) y su organización en categorías fueron:

**Cuadro 5.** Importancia del concepto de gen para la Biología como ciencia.

<b>Categoría</b>	<b>Respuestas tipo</b>	<b>Código / Estudiantes</b>
<b>(1).</b> Estudiar fenotipos y genotipos.	<i>“Conocer los genes de una determinada población biológica (su genotipo) permite interpretar las características de determinado fenotipo”.</i>	E10, E11, E24.
	<i>“En genética, por ejemplo, conocer sobre el fenotipo de determinada especie, lleva a considerar el estudio de su genotipo”.</i>	E8, E9, E33, E42.
	<i>“El estudio de los genes (genotipo) ayuda a comprender su expresión( fenotipo)</i>	E19.
<b>(2).</b> Comprender variaciones entre individuos de una misma especie, inclusive entre miembros de una misma familia.	<i>“El estudio de los genes permite conocer a qué obedecen las variaciones entre individuos de una misma especie, inclusive entre los miembros de una misma familia”.</i>	E13, E31, E32, E43.
	<i>“ Las características genéticas de una especie biológica se determina gracias al estudio de sus</i>	E1, E16, E26, E48.

<b>Categoría</b>	<b>Respuestas tipo</b>	<b>Código / Estudiantes</b>
	<i>genes”</i>	
<b>(3).</b> Considerar posibles aplicaciones de este conocimiento biológico y llevar a cabo investigaciones.	<i>“El avance de hoy sobre el conocimiento de los genes permite realizar investigaciones para mejorar la calidad de vida de las personas.</i>	E2, E5, E18, E23, E44.
	<i>“La cura o tratamiento de enfermedades genéticas tiene fundamentos en las investigaciones en el campo de la genética”.</i>	E3, E15, E28, E34, E35, E36, E49.
<b>(4).</b> Estudiar y comprender el Genoma.	<i>“Hoy en día ha quedado demostrado que el concepto de gen es determinante, de allí los estudios que han conducido al proyecto genoma”.</i>	E4, E40, E41, E45.
	<i>“En la época del genoma, este concepto es clave pues ayuda a descifrar su significado”.</i>	E16, E29, E30, E46, E47, E50.
<b>(5).</b> Estudiar adaptaciones evolutivas.	<i>“El conocimiento sobre los genes ha sido determinante para estudiar la diversidad biológica, la evolución y especiación”.</i>	E1, E25, E30, E39.
<b>(6).</b> Para el propio desarrollo y avance del conocimiento biológico.	<i>“la comprensión sobre los genes ha sido clave en el desarrollo de la Biología actual y plantear nuevas investigaciones.”.</i>	E6, E7, E40, E41, E45, E46, E47.
	<i>“La Biología de hoy en día ha evolucionado en función de los conocimientos que se tienen de los genes”.</i>	E20, E27, E28.
	<i>“ La Genética moderna se fundamenta en los avances a partir del estudio de los genes del proyecto genoma”</i>	E37, E38.
<b>(7)</b> Comprender procesos biológicos que tienen que ver con la transmisión de información.	<i>“El conocimiento actual sobre los genes, su identificación y ubicación en el genoma permiten comprender cómo dicha información se expresa o cómo se podría bloquear para prevenir enfermedades”.</i>	E12, E14, E17, E21, E22.

El 24% señaló la importancia de este conocimiento en investigaciones y aplicaciones en diversos campos. 24% indica el avance en el conocimiento de la Biología actual sobre el conocimiento de los genes. 16% indicó que permite el estudio de fenotipos y genotipos. 20% señaló que el gen es importante por sus implicaciones en la Genómica. 10% señaló que su conocimiento es necesario para comprender procesos biológicos relacionados con la transmisión de la información. 16% lo considera importante para la comprensión de las variaciones entre individuos de una misma especie e inclusive entre miembros de una misma familia y un 8 % lo consideró importante para el estudio de los procesos de evolución.

A partir del registro de las intervenciones, formulación de preguntas y respuestas de los estudiantes, es posible señalar:

- Existen significados, entre los estudiantes, que no se corresponden con el conocimiento aceptado por la comunidad científica en cuanto a la caracterización del material genético en células de organismos procariontes (bacterias) y en células de seres eucariontes (animales, plantas, protistas, hongos).
- Dificultades al reconocer la presencia de los genes, como información biológica, tanto en células somáticas como en células sexuales para los organismos eucariontes.
- Consideran el ARN, principalmente, como producto de la transcripción del ADN, lo cual evidencia el desconocimiento del mismo como material genético de seres procariontes.

Las dificultades coinciden con las encontradas en estudios previos (Banet y Ayuso, 1998; 1995), en el campo de la enseñanza de la Biología.

El registro de lo que acontece en las aulas, las respuestas de los estudiantes, las preguntas que formulan, entre otros aspectos, permitió diseñar acciones didácticas como proceso constructivo y reflexivo (IAP). Las acciones fueron orientadas por la Teoría del Aprendizaje Significativo (Ausubel, 2002), los principios orientadores del aprendizaje significativo crítico señalados por Moreira (2005) y los elementos del acto educativo de Novak (1992). Ante la presencia en una mayoría de los estudiantes del significado del concepto de gen, como estructura física asociada a la herencia, se seleccionaron materiales educativos que les permitieron reflexionar sobre ello y a partir de las mismas construir conocimientos.

El esquema general de las actividades fuera del aula con las docentes de ambos cursos se fundamentó en:

- Presentación de la información registrada durante el desarrollo de las clases, en las que se identificaron “concepciones no científicas”, dificultades específicas para algunos estudiantes y otros elementos de interés, con la finalidad de considerarlas a fin de facilitar una enseñanza potencialmente significativa y crítica del concepto de gen.
- Reflexión sobre la información registrada, como punto de partida para la organización de actividades que las docentes realizaron en sus clases.
- Análisis de la información de los mapas de conceptos y otras formas de representación que elaboran los estudiantes en las clases.
- Interpretación de resultados de la evaluación de los aprendizajes e incorporación de estrategias para la identificación y discusión de posibles “errores” y logros.

#### *Resultados de Evolución de significados del concepto de gen, su valoración e importancia para la Biología*

Se analizaron las respuestas dadas a los ítems (1 a 5 y 14) del **cuestionario**, aplicado durante el desarrollo del curso de BC y como parte del cuestionario final del curso de GG, además de la información registrada en entrevistas individuales en sesiones de **intervención fuera del aula** dirigidas por la investigadora. Para interpretar las respuestas, así como la información registrada, se consideró la correspondencia de las mismas a la luz de los conocimientos actualmente aceptados por la comunidad científica (CBA) y se empleó la valoración señalada anteriormente.

Para identificar una posible evolución de los significados iniciales del concepto de gen, durante el transcurso de ambos cursos, se siguieron los mismos procedimientos empleados para el momento inicial del estudio. La decisión para asignar las respuestas (UA) a los ítems 1, 2, 3, 4, 5, y 14, a las categorías señaladas para caracterizar los diferentes significados del concepto de gen, se consideraron elementos característicos a cada uno de los significados del concepto de gen previamente establecidos.

**Cuadro 6. Evolución de significados del concepto de gen y su correspondencia con el CBA (inicial, BC y GG, n=50).**

Código/ Estudiante	SIGNIFICADOS DEL CONCEPTO DE GEN Y CORRESPONDENCIA CON EL CBA		
	INICIAL	BIOLOGÍA CELULAR	GENÉTICA GENERAL
<b>E1</b>	1; 2 Media	2 Media	1; 2 Media
<b>E2</b>	1; 3 Alta	2 Media	3 Total
<b>E3</b>	1; 3 Baja	1 Baja	1; 2; 3 Alta
<b>E4</b>	2 Media	2Media	2 Media
<b>E5</b>	1 Baja	1 Baja	2 Media
<b>E6</b>	1 Baja	2 Media	3 Total
<b>E7</b>	2 Media	2 Media	2 Media
<b>E8</b>	1 Baja	2 Media	2 Media
<b>E9</b>	1 Baja	2 Media	3 Total
<b>E10</b>	1 Baja	1,2 Media	3 Total
<b>E11</b>	3 Total	1 Baja	2; 3 Alta
<b>E12</b>	2; 3 Alta	2; 3 Alta	2; 3 Alta
<b>E13</b>	1 Baja	2 Media	2 Media
<b>E14</b>	1 Baja	3 Total	3 Total
<b>E15</b>	1; 3 Alta	2 Media	2 Media
<b>E16</b>	3 Total	3 Total	3 Total
<b>E17</b>	3 Total	1 Baja	1 Baja
<b>E18</b>	1 Baja	1 Baja	3 Total
<b>E19</b>	1 Baja	2 Media	3 Total
<b>E20</b>	1 Baja	2 Media	2 Media
<b>E21</b>	1 Baja	1 Baja	1 Baja
<b>E22</b>	1 Baja	1 Baja	3 Total
<b>E23</b>	1 Baja	2 Media	3 Total
<b>E24</b>	1 Baja	2 Media	3 Total
<b>E25</b>	3 Total	2 Media	3 Total
<b>E26</b>	1 Baja	2 Media	3 Total
<b>E27</b>	2 Media	2 Media	3 Total
<b>E28</b>	2 Media	2 Media	3 Total
<b>E29</b>	1; 3 Alta	3 Total	3 Total
<b>E30</b>	2 Media	2 Media	3 Total

Código/ Estudiante	SIGNIFICADOS DEL CONCEPTO DE GEN Y CORRESPONDENCIA CON EL CBA		
	INICIAL	BIOLOGÍA CELULAR	GENÉTICA GENERAL
E31	1 Baja	2 Media	3 Total
E32	1;3 Alta	2 Media	3 Total
E33	2 Media	2 Media	3 Total
E34	1 Baja	1,2 Media	1; 3 Alta
E35	1 Baja	2 Media	2, 3 Alta
E36	2 Media	2 Media	2, 3 Alta
E37	3 Total	1 Baja	3 Total
E38	3 Total	1 Baja	1; 2; 3 Alta
E39	1 Baja	1; 2 Media	3 Total
E40	1; 2 Media	1; 2,3 Alta	2; 3 Alta
E41	2 Media	1 Baja	1; 2; 3 Alta
E42	2 Media	1 Baja	1; 2 Media
E43	2 Media	3 Total	2; 3 Alta
E44	2 Media	2,3 Alta	3 Total
E45	1; 2 Media	3 Total	3 Total
E46	1; 2 Media	2 Media	3 Total
E47	1; 2 Media	2 Media	3 Total
E48	1 Baja	2; 3 Alta	3 Total
E49	1 Baja	2 Media	3 Total
E50	1 Baja	2 Media	3 Total

Sobre la importancia de este conocimiento para la vida, en el curso de **Biología Celular** (BC) el 48% lo señaló importante para comprender la herencia de enfermedades de origen genético; 22 % indicó que este conocimiento le permite conocer la herencia de caracteres entre miembros de su familia; 14 % señaló que le permite identificar implicaciones del genotipo en el fenotipo. 26% planteó que lo ayuda a comprender acerca de sus aplicaciones para mejorar la calidad de alimentos, mejora de cultivos y la producción animal; el diagnóstico de enfermedades, la elaboración de fármacos, terapia génica, entre otras.

Al comparar las respuestas de los estudiantes a los ítems 6 y 7 en BC con las dadas al inicio de la investigación, es posible señalar que existe una marcada tendencia a reconocerlo como conocimiento para comprender la herencia, fundamentalmente de enfermedades genéticas y otros caracteres hereditarios, así como en la producción de alimentos, medicamentos, en el diagnóstico de enfermedades. Los resultados permiten señalar que las respuestas dadas durante el transcurso de la intervención con los estudiantes se corresponden con significados del concepto de gen identificados en el curso de BC.

En el curso de **Genética General** (GG), durante las sesiones de intervención con los estudiantes fuera del aula expresaron opiniones sobre la importancia de este conocimiento, tanto para su vida personal, como para su desenvolvimiento en la sociedad. Las respuestas fueron las siguientes:

- (40%). Aspectos biotecnológicos asociados a mejorar la salud personal y familiar.
- (30 %) Aspectos de la Genética (Caracteres hereditarios, enfermedades genéticas, entre otros).
- (20%). Posiciones críticas ante las implicaciones éticas de la manipulación genética, patente de genes, clonación de humanos, etc.
- (10%). Elementos para la protección de la Biodiversidad.

Al comparar los resultados con los obtenidos al inicio y en el cursote BC, se observa una mayor diversidad y amplitud de respuestas, incorporando elementos de aplicaciones de dicho conocimiento en el tratamiento y prevención de enfermedades, producción de alimentos por manipulación de genes, protección de la biodiversidad y de aspectos éticos.

En cuanto a su importancia en BC, 28 % considera al conocimiento del concepto de gen importante por sus aplicaciones en investigaciones en el campo de la propia Biología; 32% lo consideró importante para el estudio y comprensión del Genoma; el 14% señaló el estudio de adaptaciones evolutivas; 20% en el desarrollo y avance del conocimiento en Biología y el 20% para la comprensión de procesos que tienen que ver con la transmisión de información. Al comparar las respuestas de la valoración de este conocimiento desde el punto de vista de la Biología, en el curso de BC, con las señaladas al inicio de la investigación, se muestra una mayor diversidad, así como un enriquecimiento de las opiniones. Aunque persiste una tendencia a asociar a los genes con conocimientos de la Herencia biológica, su frecuencia es menor que en el momento inicial, posiblemente a partir de la nueva información del curso y la intervención durante la IAP, lo cual podría ser indicador de una posible evolución de significados construidos por los estudiantes del estudio.

En GG, como parte de los planteamientos considerados durante las sesiones de intervención fuera del aula se registró información de la importancia de este conocimiento para la Biología actual. El análisis de la información permite señalar que los estudiantes consideran importante el concepto de gen por sus implicaciones en el desarrollo de la Biología como ciencia (40%); para realizar investigaciones aplicadas a otros campos (40%) y en el desarrollo de la Genómica y Proteómica (20%). Lo cual evidencia la incorporación de información de los contenidos incorporados en el curso, así como de conocimientos sobre la historia y epistemología del concepto de gen.

En síntesis, considerando las respuestas expresadas por los estudiantes acerca del significado del concepto de gen, es posible señalar que:

- Existen diferentes significados para el concepto de gen, entre los estudiantes del grupo de estudio, a lo largo de la investigación, con elementos orientadores de una evolución de su significado durante el desarrollo de los cursos.
- Considerando la Teoría, de aprendizaje significativo de Ausubel (2002), se interpreta que el aprendizaje de conceptos abstractos, como es el concepto de gen, tiene muy poca posibilidad de aprenderse de manera mecánica o por repetición, ya que necesariamente deben relacionarse “con los sistemas ideáticos existentes en la estructura cognoscitiva” (Ausubel, 1968). Según señalan estos autores, el aprendizaje de conceptos abstractos, se asimilan por inclusión correlativa y no por inclusión derivativa como ocurre con los conceptos fácticos:

De acuerdo con los planteamientos ausubelianos, el proceso de asimilación del concepto de gen requiere, que ocurra en la estructura cognitiva de los estudiantes, un proceso de inclusión correlativa donde la nueva información se relacione con lo que ya saben, y a partir de ello el conocimiento puede modificarse, ampliarse y/o diferenciarse de manera progresiva. Ello permite que el significado inicial que tienen sobre el concepto de gen sea aclarado, en la medida que se discrimina y se recombina, permitiendo la adquisición de nuevos significados. Con fines de favorecer el aprendizaje significativo crítico del concepto de gen, es necesario identificar los significados que tienen los estudiantes, para a partir de ellos, organizar la enseñanza que permita presentar la nueva información de manera progresiva, facilitando actividades que favorezcan la reflexión y adquisición de nuevos conocimientos y su aplicación en diferentes situaciones.

Asumimos que el proceso de aprendizaje significativo de conceptos abstractos requiere de tiempo, ya que según diversos autores: *“los procesos cognitivos que influyen en el aprendizaje significativo de conceptos son progresivos y se requiere de tiempo hasta que los nuevos conceptos adquieren significados denotativos y connotativos en la estructura cognitiva humana”*

Además, y aceptando los planteamientos de Moreira (2000), el aprendizaje ocurre en el marco de un continuo entre un aprendizaje mecánico y un aprendizaje significativo, lo que explica las diferencias encontradas entre los estudiantes que diferencialmente progresaron en la comprensión del gen.

La modificación de la estructura cognitiva, la capacidad para resolver problemas y la retención, son algunas de las diversas evidencias de aprendizaje significativo planteadas por Ausubel (1968). Para tratar de indagar e interpretar acerca de la estructura cognitiva y su modificación, como producto del aprendizaje, es necesario emplear variados instrumentos que sean apropiados para ello, entre los cuales se considera la elaboración de mapas de conceptos y de representaciones gráficas, ya que dichas representaciones podrían permitir identificar e interpretar la evolución de los significados del concepto de gen en el proceso de su aprendizaje. En este sentido, Gowin señala: que *“pensamos con conceptos... el pensamiento cambia en la medida que los conceptos cambian.* (Gowin, 1981).

A partir de la información aportada por los estudiantes a lo largo de la IAP es posible señalar que una parte mantienen el significado del concepto de gen en las diversas oportunidades, por ejemplo, los estudiantes E11, E16 para quienes el gen tiene el significado de unidad informacional y el estudiante E21 lo considera como unidad física y funcional de la herencia durante diferentes ocasiones.

Los estudiantes E12 y E17 expresan en las diferentes oportunidades que el gen es *la información genética contenida en la secuencia de nucleótidos que conforman el ADN y / o ARN.* Esto permite mostrar que no siempre es posible identificar progresiones en el significado que tienen los estudiantes en tan corto periodo de tiempo (14 a 16 semanas) y que posiblemente se requiere mayor tiempo que el transcurrido entre uno y otro momento de la investigación, además de la importancia de colocar al estudiante ante nuevas situaciones donde necesite hacer uso de los conocimientos que posee.

En las respuestas de algunos estudiantes, durante la intervención didáctica en el aula y fuera de ella, se identificaron conocimientos que no están de acuerdo con el conocimiento aceptado, tal es el caso del estudiante E15, quien asocia al gen con un nucleótido o una base nitrogenada, en las diferentes situaciones y momentos durante la IAP, y que además se mantienen en representaciones gráficas que elabora. Este tipo de conocimiento, aprendido de manera significativa por los estudiantes, puede considerarse obstáculos para la comprensión del significado del concepto de gen aceptado actualmente por la comunidad científica.

Desde la historia y desarrollo epistemológico del conocimiento, además de considerar el significado del concepto de gen en correspondencia con la: Genética, Biología Molecular, Biología Celular, Evolución, por ejemplo, se plantean varios significados relacionados con funciones específicas. Lo cual permite señalar que, los significados que los estudiantes expresan durante los diferentes momentos de la investigación están asociados, en primer lugar, al poder explicativo que les ofrece para abordar y tratar de comprender las diversas situaciones y problemas durante el desarrollo de los cursos. Y en segundo lugar, su significado está asociado a los diferentes campos de la Biología.

En resumen, a partir de las respuestas de los estudiantes acerca del significado del concepto de gen durante el desarrollo de los cursos, se evidencian diferencias desde considerarlos inicialmente estructuras físicas con funciones relacionadas con la herencia de caracteres hasta entenderlos como unidades de información, lo cual se corresponde con el proceso de desarrollo histórico y epistemológico de este concepto y además relacionando sus respuestas con el contexto de los contenidos de cada asignatura en cuestión.

Considerando a Keller (2005), a partir del siglo XIX, el concepto de gen ha evolucionado hasta su concepción actual como “*unidades funcionales de información*”. Esto ha estado acompañado de avances tecnológicos cuyas aportaciones han hecho posible conocer con mayor precisión acerca de su composición, ubicación, además de la aplicación de este conocimiento científico para el bienestar individual y social de la humanidad, con repercusión en el campo de las ciencias de la Salud, Agricultura, Biotecnología y en el avance del propio desarrollo de la Biología como ciencia. Sin embargo, a medida que el concepto de gen ha evolucionado, se mantienen aspectos fundamentales de su significado como conceptos clave de la Biología (op. cit. pp. 3 - 10).

Con la finalidad de determinar diferencias significativas entre los resultados en los tres momentos: Inicial, Biología Celular y Genética General se utilizó la prueba de rangos de signo de Wilcoxon, prueba no paramétrica que facilita la comparación y permite obtener diferencias comparando pares de observaciones entre dos o más muestras relacionadas.

#### **Cuadro 7. Evolución de significados el concepto de gen.**

<b>Indicadores de Cambio</b>	<b>De Inicial a Biología Celular</b>		<b>De Biología Celular a Genética General</b>	
	<b>Frecuencia absoluta</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>	<b>Frecuencia absoluta</b>	<b>Frecuencia a relativa (%)</b>
Cambios positivos	29	58	36	72
Sin cambio	12	24	10	20
Cambios negativos	9	18	4	8

A partir del estadístico de contraste se señala que existen diferencias significativas de evolución entre los significados iniciales del concepto de gen de los estudiantes y el registrado en BC, los valores de significancia de los significados iniciales y los identificados en el curso de BC fue de -1,977 y un significado bilateral de 0,048. La intervención didáctica llevada a cabo en los cursos de BC con sesiones de trabajo en el aula y fuera de ella, así como las sesiones de trabajo con la docente favoreció entre los estudiantes la evolución de significados del concepto de gen hacia los actualmente aceptados en la Biología.

Las actividades de aprendizaje desarrolladas durante la intervención didáctica con estudiantes dentro y fuera del aula, y fundamentada en los principios planteados por Moreira (2005) para facilitar el aprendizaje significativo crítico del concepto de gen, permitieron compartir

significados en grupo, reflexionar ante situaciones concretas donde se ponen de manifiesto dichos significados y realizar actividades que permitieron exponer sus interpretaciones, a la luz del CBA, lo cual puede considerarse como elementos de una enseñanza potencialmente significativa que favorece el proceso de evolución de significados del concepto de gen entre dichos estudiantes.

A partir del estadístico de contraste, es posible señalar que existen diferencias altamente significativas a favor de la evolución de los significados iniciales sobre el concepto de gen expresado por los estudiantes al comenzar la investigación y aquellos manifestados durante el curso de BC. Los valores de significancia del estadístico aplicado, permiten señalar que las diferencias entre los significados iniciales y los identificados en los cursos BC y GG fue Z: - 4,985. Dichos valores confirman la existencia de elementos a favor de la evolución de significados del concepto de gen en los estudiantes a lo largo de los dos cursos consecutivos.

El análisis e interpretación de significados del concepto de gen, a partir de mapas de conceptos elaborados por los estudiantes en ambos cursos, destaca la importancia de considerar diversos instrumentos para obtener información que permitan contrastar las respuestas de los estudiantes en diversas oportunidades y hacer interpretaciones lo más cercana posible a los significados que se construyen. Para analizar los mapas de conceptos se establecieron categorías que se corresponden con los principios ausubelianos de jerarquización, que resalta la importancia de desglosar los conceptos por orden jerárquico, la incorporación de relaciones cruzadas de los conceptos subordinados con los principales y del uso de palabras o conectores entre los conceptos, además de la incorporación de ejemplos.

#### **Cuadro 8. Síntesis de calidad de los mapas de conceptos elaborados en los cursos de BC y GG.**

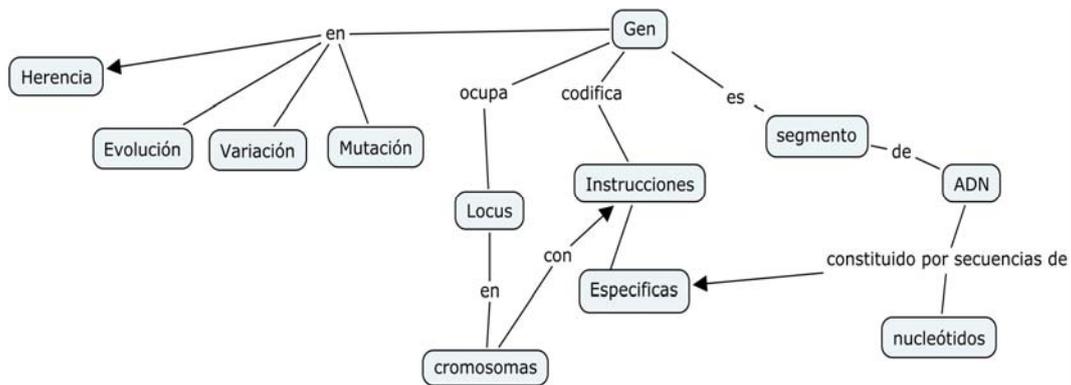
Calidad de contenido	Mapa conceptual contenido BC		Mapa conceptual contenido GG	
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa (%)
<b>Baja</b>	25	50	6	12
<b>Media</b>	20	40	38	76
<b>Alta</b>	5	10	6	12

A partir de los datos precedentes es posible señalar que, en el curso de GG, la mayoría de los estudiantes (88%) logra una importante mejora en la calidad de los mapas de conceptos (media y alta calidad) en comparación con lo identificado en el curso de BC (50%), con una importante disminución de la baja calidad, de 50% a 12 %, según se observa en el cuadro anterior.

A continuación se presentan algunos mapas de conceptos elaborados por los estudiantes en ambos cursos. Las copias de Mapas de Conceptos seleccionados ejemplifican casos de la evolución de significados del concepto de gen. Los mismos fueron elaborados empleando la herramienta Cmaps Tools.

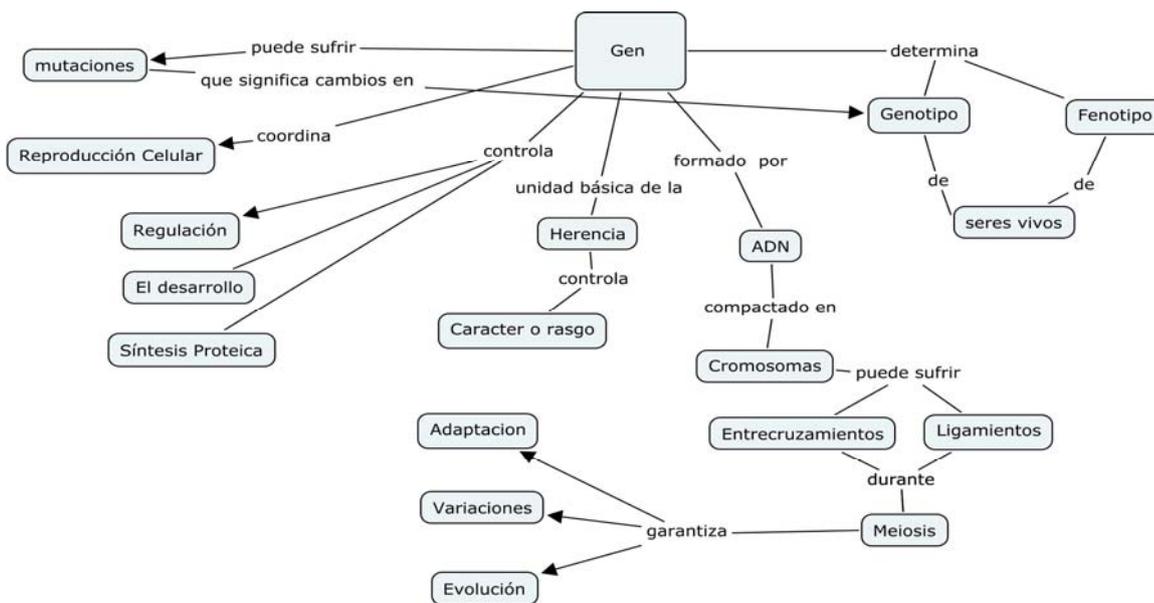
#### **Caso Estudiante 1. E1**

Las figuras 1 y 2 muestran los mapas de conceptos elaborados por E1 en dos momentos diferentes del desarrollo de la investigación.



**Figura. 1. Mapa de Conceptos 1 del estudiante E1 (Baja Calidad y Correspondencia con el CBA).**

En el primer mapa E1 señala al gen como *segmento de ADN constituido por una secuencia particular de nucleótidos, ubicado en un lugar determinado del cromosoma (locus) y que contiene determinada instrucción (biológica)*. Tiene significado de estructura física, que permite explicar la herencia, variaciones, mutaciones y la evolución. Este significado es consecuente con el que dicho estudiante señaló de manera oral y escrita en el cuestionario y la entrevista. Con respecto a los conceptos y términos incorporados en el mismo, se puede decir que son pertinentes, sin embargo, no muestran una plena correspondencia con el CBA



**Figura 2. Mapa de Conceptos 2 del estudiante E1 (Alta Correspondencia y Calidad).**

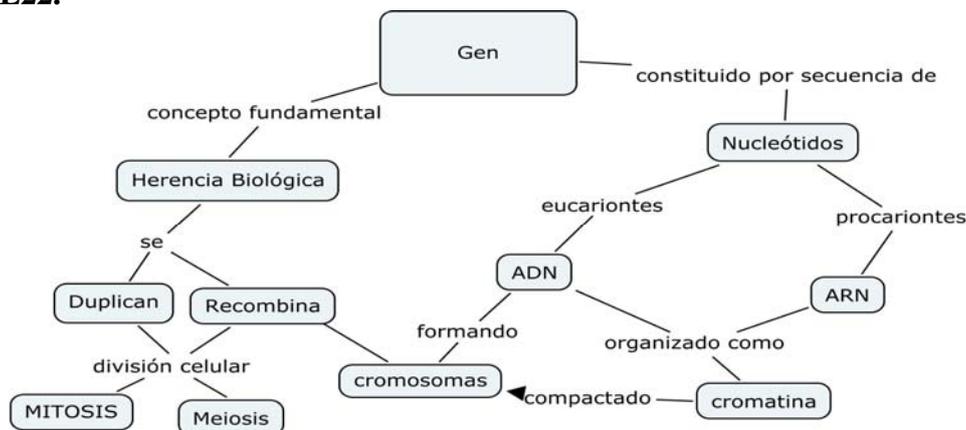
En el segundo mapa de conceptos E1 incorpora un mayor número de conceptos relevantes, además de un mayor número de relaciones entre conceptos y de conectores o proposiciones entre ellos, lo cual pudiera ser interpretado como indicador de evolución del significado del concepto de gen, a partir de la intervención didáctica construida en la IAP durante el curso deGG, y evidenciar una mejor calidad del mapa 2 con respecto al mapa 1. Sin embargo, en ambos mapas de conceptos (1 y 2) de E1 se muestra una débil conexión y relación entre los conceptos, debido a que las conexiones que usa son generalmente de una palabra, lo cual estaría indicando una baja atribución de significados y, por tanto, un deficiente aprendizaje significativo crítico. Es posible señalar entonces, que en el curso de GG, el estudiante incorpora un mayor número de proposiciones en comparación con el mapa 1, por lo que se muestra, como una representación con mayor número de relaciones entre los conceptos. Este elemento pudiera considerarse como una progresividad hacia la relación, aunque afectada por el tipo de conectores de una palabra. Todo ello permite señalar que,

aun cuando se evidencia progresión con respecto al mapa anterior, la atribución de significados es baja y aún existe un deficiente aprendizaje significativo.

En cuanto a la dimensionalidad de la representación, y considerando a Moreira (2006), el mapa de conceptos 1, se refiere a un diagrama unidimensional, de conexiones lineales, mientras que en el mapa 2, se muestran con elementos de bidimensional y que desde el punto de vista ausubeliano, dan idea de un mayor desglose de los conceptos, según el orden jerárquico (diferenciación progresiva), así como del principio de reconciliación integradora. De acuerdo con Moreira (2006), los mapas de conceptos no sólo deberán facilitar el desglose conceptual unidireccional (de arriba hacia abajo), sino también deben mostrar la relación de los conceptos subordinados con los principales. El mapa 1 elaborado por el estudiante E1, señala: *variaciones, mutaciones, la evolución,*”, mientras que, en el Mapa 2, la relación entre “gen y herencia” es algo más explícita cuando dice: *“el gen es la unidad básica de la herencia”*, además relaciona el concepto de gen con otros procesos biológicos como *“reproducción celular, regulación, desarrollo y la síntesis proteica*, ello muestra una diferencia importante puesto que, en este segundo mapa, se explicitan otros procesos, además de la herencia. Con relación a las proposiciones, y tomando en consideración los planteamientos de Moreira (2006), cuanto mayor es el número de proposiciones que se establecen entre los conceptos, mayor será el grado de significatividad.

En síntesis, el segundo mapa de conceptos muestra un grado de mayor nivel de conceptualización de parte del estudiante, con respecto al primer mapa, así como una posible evolución del significado de gen desde un nivel fundamentalmente de estructura física a un significado de funcionalidad en diversos procesos y campos de la Biología.

### Estudiante E22.



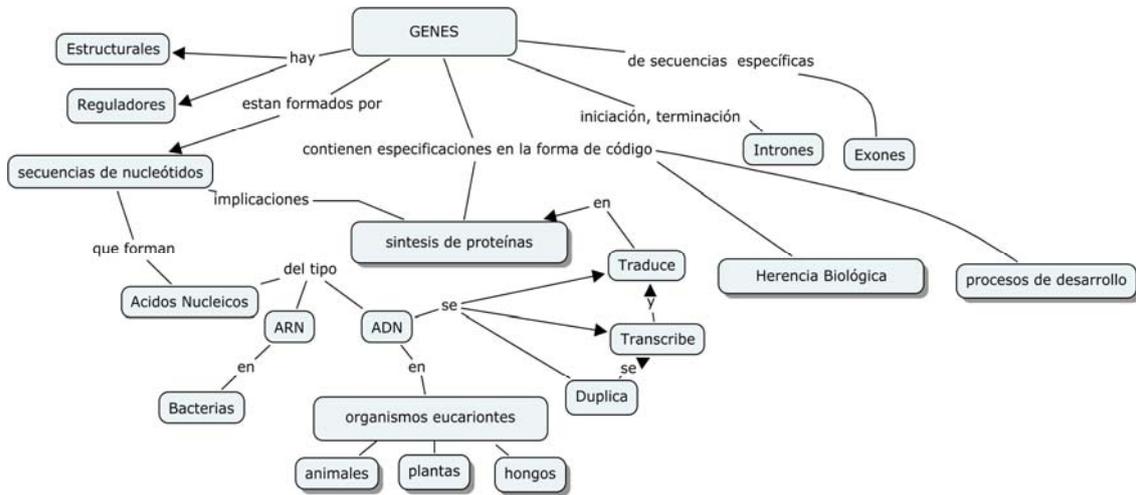
**Figura. 3. Caso Estudiante E22. Mapa 1 (Baja Calidad y Correspondencia con el CBA).**

El primer mapa elaborado en el curso de BC E22 señala al gen como constituido por secuencia de nucleótidos tanto en seres procariontes como eucariontes. Lo que se corresponde con su expresión oral cuando señala:

**E22:**...*estructura cuyo sustento bioquímico es el ADN en seres eucariontes y se encarga de transmitir de padres a hijos la herencia de caracteres determinados...* Significado que se mantiene cuando agrega: *Hay genes específicos para el grupo sanguíneo en los humanos, el color y tipo del pelaje en los animales, o el color de las flores en las plantas.*

En este mapa se muestra una débil conexión y relación entre conceptos, debido a que las conexiones que usa son generalmente de una palabra, lo cual estaría indicando una baja atribución de significados y por tanto una débil conceptualización. En cuanto a la dimensionalidad de la representación, se refiere a un diagrama unidimensional, de conexiones lineales, que permiten identificar un débil desglose de los conceptos según el orden jerárquico (diferenciación progresiva), y escasa presencia del principio de reconciliación integradora.

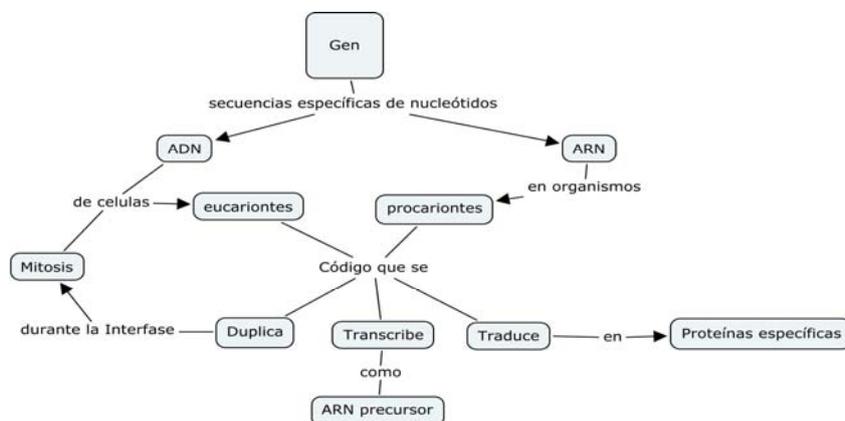
En el segundo mapa de conceptos E22 expresa un significado del concepto de gen como *información, asociada fundamentalmente a la síntesis de proteínas específicas*, con mención a procesos de transmisión de caracteres hereditarios y a procesos de desarrollo en los sistemas vivientes. Incorpora mayor número de conceptos y términos relevantes, lo cual puede ser interpretado como indicador de evolución del significado del concepto de gen, a partir del desarrollo de la intervención como parte de la IAP. En ambos mapas de conceptos se muestra una débil conexión y relación entre conceptos, las conexiones que usa son generalmente de una palabra, lo cual indica una baja atribución de significados y por tanto una débil conceptualización.



**Figura 4. Caso Estudiante E22. Mapa 2 (Calidad y Correspondencia Media)**

Es posible señalar entonces que, después del curso de BC, incorpora proposiciones que señalan mayor número de relaciones entre los conceptos, lo que pudiera considerarse como un aspecto a favor de la progresividad en la conceptualización. En cuanto a la dimensionalidad de la representación el mapa 1, se refiere a un diagrama unidimensional, de conexiones lineales, mientras que el mapa 2, se presenta un gráfico con elementos bidimensionales y relaciones cruzadas, lo que, desde el punto de vista ausubeliano, da idea de un mayor desglose de los conceptos en orden jerárquico (diferenciación progresiva), así como del principio de reconciliación integradora. La calidad del segundo mapa de conceptos es mayor que el mapa 1, aunque su correspondencia con el CBA es considerado como media debido a que se mantienen significados de una funcionalidad asociada a la síntesis de proteínas específicas.

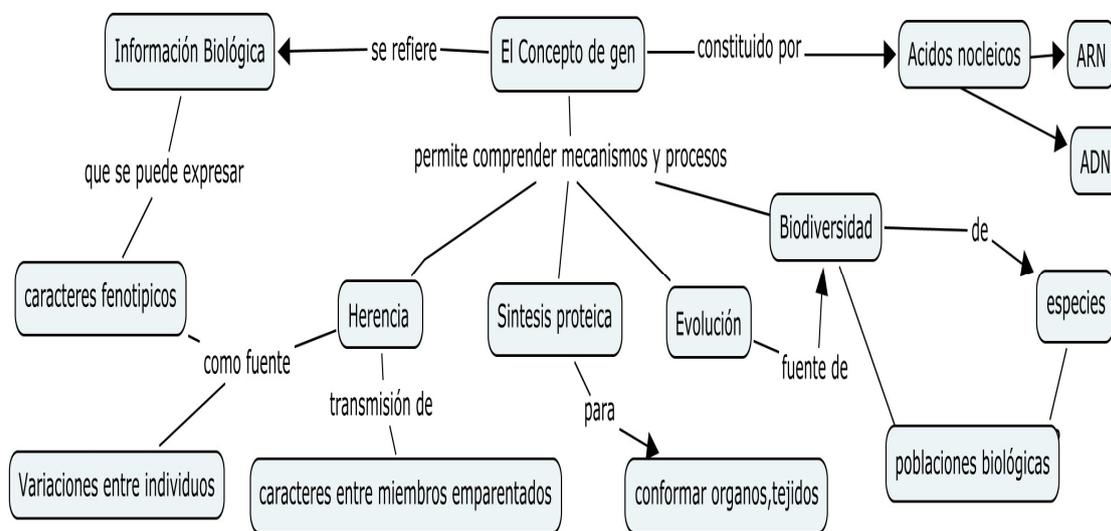
**Caso del Estudiante E31**



**Figura 5. Caso estudiante E31. Mapa 1 (Baja Calidad y Correspondencia Media)**

En cuanto al significado del concepto de gen que presenta E31 en el mapa de conceptos 1, elaborado en el curso de BC, se muestra al concepto de gen con *secuencias de nucleótidos contenidos en el ADN para eucariontes y de ARN en seres procariontes y que en la forma de código permite llevarse a cabo la síntesis de proteínas...* lo que muestra diferencias con el significado inicial expresado por el mismo estudiante en el cuestionario en donde se refirió al gen como: *... unidad estructural y funcional que se trasmite por herencia desde un organismo a sus descendientes, entre individuos de una especie. Los tipos de genes se refieren al tipo de carácter fenotípico y a sus implicaciones genotípicas.*

En relación a la calidad constructiva del mapa de conceptos, se muestra una débil conexión y relación entre los conceptos, con escasas conexiones, generalmente de una palabra, lo cual puede considerarse como una baja atribución de significados y por tanto una débil conceptualización. Sobre la dimensionalidad de la representación, y considerando a Moreira (2006), el primer mapa de conceptos se refiere a un diagrama unidimensional, de conexiones lineales con escaso número y desglose de los conceptos, según el orden jerárquico (diferenciación progresiva) y ausencia del principio de reconciliación integradora.



**Figura 6. Caso Estudiante E31. Mapa 2 (Calidad y Correspondencia Media con el CBA).**

En cuanto al segundo mapa de conceptos en el curso de GG, E31 incorpora un mayor número de conceptos y proposiciones en comparación con el mapa 1, aunque sigue siendo una representación con escasas relaciones cruzadas y conectores de una sola palabra, por lo que, si bien es una representación de mayor complejidad que la anterior, sigue demostrando una baja conceptualización. La dimensionalidad de la representación del mapa de conceptos 2, se refiere a un gráfico con muy pocos elementos de bidimensional y que desde el punto de vista ausubeliano, señala un escaso desglose de los conceptos, según el orden jerárquico (diferenciación progresiva) así como del principio de reconciliación integradora. En cuanto a una posible evolución de significados del concepto de gen, en el mapa 2 se hace referencia a diversos procesos biológicos, tales como: Biodiversidad, Evolución, síntesis de proteínas, Herencia biológica, los cuales se incorporan en el segundo mapa.

Con la finalidad de comparar los significados del concepto de gen, a partir de los mapas de conceptos elaborados por los estudiantes, en ambos cursos, en el siguiente cuadro se presenta la interpretación de los mismos en función a su correspondencia con el conocimiento actualmente aceptado por la comunidad científica, para lo que se empleó la valoración considerada para el

análisis de los significados del concepto de gen para las respuestas al cuestionario y a lo expresado de manera verbal durante la entrevista.

**Cuadro 9. Síntesis de los significados del concepto de gen identificados en los mapas de conceptos elaborados por los estudiantes en BC y GG (n=50).**

Significados del concepto de gen.	Valoración/ correspondencia con el CBA.	Mapa de Conceptos curso de Biología Celular		Mapa de Conceptos curso de Genérica General	
		fa	fr (%).	fa	fr (%).
1. Unidad física de la Herencia	Baja/ 0,25	11	22	2	4
2. Información en la secuencia de nucleótidos del ADN /ARN asociado a la síntesis proteica.	Media/ 0,5	7	14	0	0
3. Información biológica o unidad de transcripción que puede expresarse para llevar a cabo diversas funciones en los sistemas vivientes.	Total / 1,0	11	22	22	44
1,2. Combinación.	Media/ 0,5	2	4	4	8
1, 2, 3. Combinación.	Alta/ 0,75	0	0	0	0
1,3. Combinación.	Alta/0,75	0	0	0	0
2,3. Combinación.	Alta/ 0,75	19	38	22	44
<b>TOTAL</b>		<b>50</b>	<b>100%</b>	<b>50</b>	<b>100%</b>

Como se evidencia, los significados del concepto de gen identificados a partir de los mapas de conceptos elaborados por los estudiantes en el curso de BC, señalan que, un 22% de los estudiantes expresan un significado del concepto de gen con **baja** correspondencia con el CBA, al considerarlos como estructuras físicas relacionadas con la herencia biológica (1); mientras que el 18 % muestra una correspondencia **media** al considerarlos como información biológica contenida en el ADN y asociado a la síntesis de proteínas (2) o su combinación de significados (1,2). Un 38% muestra una **alta** correspondencia al referir en los mapas una combinación de significados como información biológica contenida en el ADN/ ARN asociada a la síntesis de proteínas y a otras funciones en los sistemas celulares (3; 2,3). Un 22% muestran una **total** correspondencia de los significados expresados acerca del concepto de gen con el CBA, al considerarlos como información biológica que se relaciona con diversos procesos en los sistemas vivos (3).

En el curso de GG, un 4% de los mapas de conceptos elaborados por los estudiantes mantienen **baja** correspondencia, como unidades físicas relacionadas principalmente con la herencia de caracteres hereditarios (1); el 44% muestra una **alta** correspondencia en los significados del concepto de gen con el CBA (2,3) y en un 44% de los mapas de conceptos se identificaron significados del concepto de gen con **total** correspondencia, al considerarlos como información biológica que se relaciona con diversos procesos en los sistemas vivos. (3). La interpretación de dichos resultados permite señalar una evolución de los significados acerca del concepto de gen, entre los estudiantes del grupo de estudio, hacia significados aceptados actualmente por la comunidad científica de Biología.

Según diversos autores, los mapas de conceptos utilizados con la finalidad de interpretar e identificar elementos de la estructura cognitiva no representan la totalidad de las relaciones entre los conceptos de una persona, pero si es posible a partir de ellos, identificar algunos elementos presentes en la estructura cognitiva que se construyen durante el aprendizaje. Si además, se considera la elaboración de representaciones externas del tipo de dibujos, esquemas, entre otras, como instrumentos para indagar acerca de los significados que tienen y construyen los estudiantes sobre el concepto de gen, es posible que la interpretación del significado que construyen los estudiantes sea lo más cercana posible.

En este sentido, adicionalmente al uso de mapas de conceptos (MC) se consideró la elaboración de representaciones gráficas, en forma de dibujos (D1 y D2) en ambos. Al igual que para los mapas de conceptos, las representaciones gráficas elaboradas por los estudiantes fueron consideradas como instrumentos para obtener información, que permiten contrastar las respuestas en diversas oportunidades y hacer interpretaciones más fiables y acordes con la realidad (Validez y Confiabilidad) de los significados que construyen durante los cursos. A continuación se incorpora copia de algunas representaciones gráficas elaboradas por los estudiantes.

### Caso Estudiante E3

Estudiante	BIOLOGÍA CELULAR. DIBUJO 1	GENÉTICA GENERAL DIBUJO 2
E 3	Correspondencia Baja 0,25	Correspondencia Media 0,5

La figura 7 muestra representaciones gráficas elaboradas por el estudiante E3 en los cursos de BC y GG durante la intervención didáctica, así como su correspondencia con el significado de gen aceptado actualmente entre la comunidad de biólogos. Para el estudiante E3, el dibujo 1 muestra un significado del concepto de gen asociado a estructuras físicas situadas en los cromosomas, en el mismo, el estudiante señala que los genes están formados por la secuencia de nucleótidos del ADN, lo cual se considera como **Baja** correspondencia con el conocimiento actualmente aceptado. En el dibujo 2, este mismo estudiante incorpora una serie de conceptos tales como: *información biológica que es transcrita mediante el proceso de síntesis de proteínas*, lo cual señala una correspondencia **Media** del significado de gen con el significado actual.

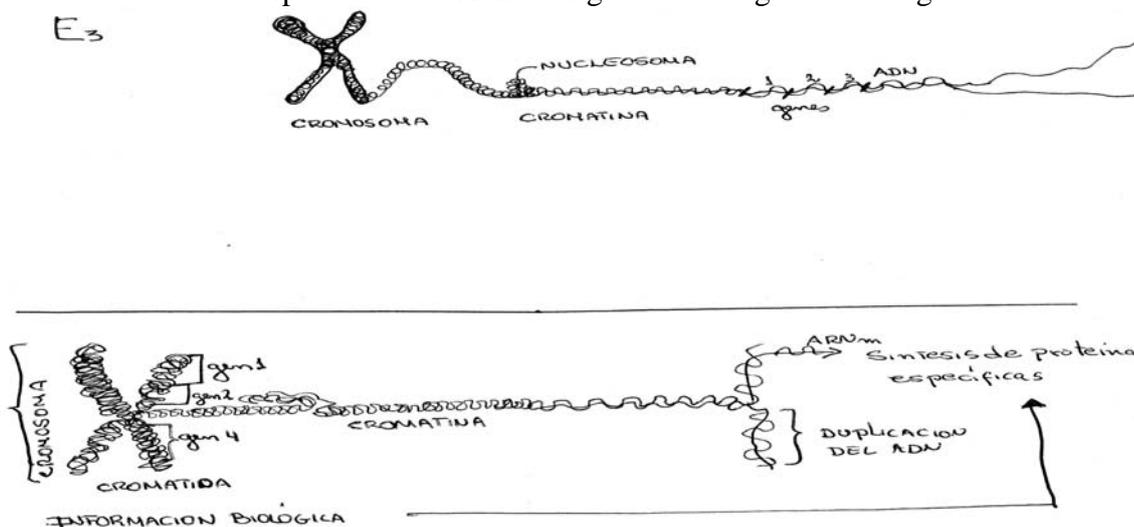


Figura 7. Dibujo 1/ Dibujo 2 de E3

## Caso Estudante E5

Estudiante E5	<b>BIOLOGÍA CELULAR DIBUJO 1</b>	<b>GENÉTICA GENERAL DIBUJO 2</b>
	Correspondencia Alta 0,75	Correspondencia Total 1

Durante el desarrollo del curso de BC E5 expresó, a través del dibujo 1, un significado del concepto de gen como información biológica, tanto para seres procariontes y eucariontes, además de relacionarlos con diversos procesos biológicos, lo cual es considerado como **Alta** correspondencia con el CBA. En el Dibujo 2, E5 mantiene el significado para los genes como información biológica e incorpora: genes intrones y genes exones asociados a procesos de regulación (genes reguladores) así como genes estructurales, de allí que sea considerada como correspondencia **Total** con el CBA e incorpora información de procesos biológicos con los cuales asocia al concepto de gen.

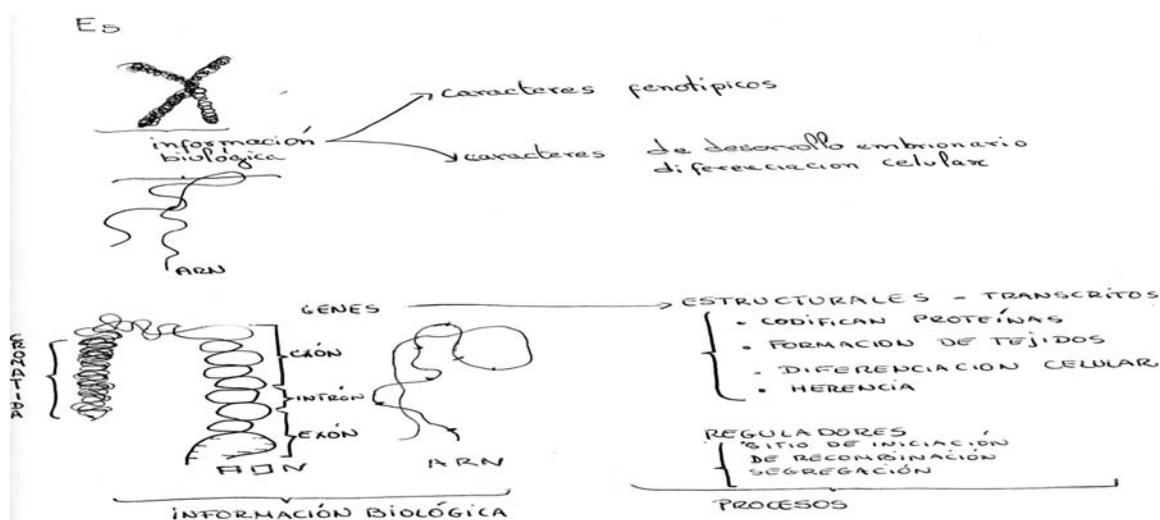


Figura 8. Dibujo 1/ Dibujo 2. E5

Con la finalidad de señalar la evolución de significados del concepto de gen en los cursos consecutivos se presenta información de manera integrada.

**Cuadro 10. Síntesis de la integración de la información, acerca de la evolución de significados del concepto de gen a lo largo de la IAP (n = 50).**

Significados del concepto de gen.	Valoración/ Correspondencia Con el CBA.	Inicial Global (%)	Verbal (%)		Mapas de Conceptos (%)		Representaciones Gráficas (%)	
			BC	GG	BC	GG	BC	GG
1. Unidad física de la Herencia.	Baja/ 0,25	44	22	4	22	4	26	5
2. Información en la secuencia de nucleótidos del ADN /ARN	Media/ 0,5	22	54	14	14	0	38	20

Significados del concepto de gen.	Valoración/ Correspondencia Con el CBA.	Inicial Global (%).	Verbal (%).		Mapas de Conceptos (%).		Representaciones Gráficas (%).	
			BC	GG	BC	GG	BC	GG
asociado a la síntesis proteica.								
1, 2. Combinación.	Media/ 0,5	10	6	4	4	8	14	8
1, 2, 3. Combinación.	Alta/ 0,75	0	2	6	0	0	0	0
1, 3. Combinación.	Alta/0,75	10	0	2	0	0	0	0
2, 3. Combinación.	Alta/ 0,75	2	6	12	40	44	20	50
3. Información biológica o unidad de transcripción que puede expresarse para llevar a cabo diversas funciones en los sistemas vivientes.	Total /1,0	12	10	58	20	44	2	20
<b>TOTAL</b>		100	100	100	100	100	100	100

Se evidencia un proceso de evolución no lineal de los significados sobre el concepto de gen entre los estudiantes del grupo de estudio. Al inicio, el significado del concepto de gen, como unidad física de la herencia (1) fue identificado en el 44% de los estudiantes del grupo de estudio, a través de sus respuestas al cuestionario inicial y en las entrevistas. En el curso de BC, este significado del concepto de gen se identificó en las respuestas del 22% de los estudiantes. En los mapas de conceptos elaborados, el 22% de los estudiantes consideran al concepto de gen como estructuras físicas, al igual que el 26% de los estudiantes lo señalan en las representaciones gráficas que elaboran. En el curso de GG, el significado del concepto de gen como estructura física asociada a la herencia, se identifica en las respuestas verbales del 4% de los estudiantes, al igual que en los mapas de conceptos elaborados por el 4% y en las representaciones gráficas elaboradas por el 5% de los estudiantes. La persistencia de significados del concepto de gen considerados como de **Baja** correspondencia (como unidad física relacionada con la transmisión de caracteres hereditarios) entre algunos de los estudiantes, permite señalar que, aprender de manera significativa y crítica el concepto de gen requiere de tiempo para favorecer la conceptualización, así como para transferir lo aprendido a nuevas situaciones y en otros contextos.

Con respecto al significado del concepto de gen, como información contenida en los ácidos nucleicos (ADN/ARN) (2) y como estructuras físicas asociadas a la herencia biológica (1,2) fue expresado inicialmente por el 32% de los estudiantes, en el curso de Biología Celular, fue considerado como correspondencia **Media** e identificado en las respuestas verbales del 60% de los estudiantes, de igual manera, se identificó en los mapas de conceptos elaborados por el 18% de los estudiantes y en los dibujos elaborados por el 52% de los estudiantes.

En el curso de GG, este significado, con correspondencia **Media** con el CBA (2; 1,2), fue identificado en las respuestas verbales del 18% de los estudiantes, mientras que en los mapas de conceptos y representaciones gráficas aparece para el 8% y 28% de los estudiantes respectivamente.

En cuanto al significado del concepto de gen, como combinación de significados, para una **Alta** correspondencia con el CBA (1, 2, 3; 1, 2; 2, 3) fue expresado inicialmente por el 12% de los estudiantes, mientras que en el curso de Biología Celular, el 8% de los estudiantes lo incorpora en sus respuestas verbales. El 40% lo incorpora en los mapas de conceptos, y 20% lo incorpora en las representaciones gráficas que fueron elaboradas por los estudiantes. En el curso de GG, este significado del concepto de gen es expresado por el 20% de los estudiantes, a través de sus expresiones verbales, mientras que el 44 % lo señala en los mapas de conceptos y el 50% en las representaciones gráficas.

Para referir el significado del concepto de gen con **Total** correspondencia con el CBA, donde es considerado como información biológica que se expresa en diversas funciones de los sistemas vivos (3), el mismo fue señalado inicialmente por el 12% de los estudiantes. En el curso de BC, dicho significado fue expresado de manera verbal por el 10 % de los estudiantes e identificado en los mapas de conceptos del 20% y en las representaciones gráficas elaboradas por el 2 % de los estudiantes. En GG el 58% de los estudiantes se refieren a este significado en las expresiones verbales, el 44% lo incorpora como contenido en los mapas de conceptos y el 20% de los estudiantes lo incorpora en las representaciones graficas que elabora.

Estos resultados permiten señalar que, si bien se evidencia una evolución del significado del concepto de gen entre los estudiantes del grupo de estudio a partir de la intervención didáctica, la misma no ocurre de la misma manera para la totalidad de los estudiantes.

## Conclusiones

El estudio permitió identificar significados iniciales del concepto de gen, entre los estudiantes de educación Superior que conformaron el grupo de estudio, así como el que construyen durante el desarrollo de los dos cursos consecutivos de Biología Celular (BC) y Genética General (GG). Dicha evolución, se corresponde con la intervención didáctica que se construyó durante la investigación acción participativa (IAP) con los estudiantes fuera del aula, así como las acciones llevadas a cabo por la investigadora con las docentes de ambos cursos. La información de la aplicación de los diversos instrumentos en la intervención con los estudiantes fuera y dentro del aula, permiten señalar la existencia de diversos significados del concepto de gen entre los estudiantes, lo cual se corresponde con los resultados reportados en estudios previos con estudiantes y profesionales de la Biología en otros contextos. Para algunos estudiantes se mantienen los significados del concepto de gen, considerados como de baja y media correspondencia con el CBA, durante el desarrollo de la IAP, lo que señala que el aprendizaje significativo es un proceso complejo que requiere de tiempo para incorporar los conocimientos en la estructura cognitiva del estudiante. Ello pone en evidencia, la importancia de organizar la enseñanza de manera de hacerla potencialmente significativa, ofreciendo a los estudiantes espacios de aprendizaje que les permita reflexionar sobre el contenido y su propio aprendizaje. La enseñanza de conceptos abstractos requiere ser mediada de manera deliberada, presentando el conocimiento científico con una visión crítica y reflexiva de su epistemología.

La intervención didáctica, construida y conducida durante la IAP, fundamentada en los principios del aprendizaje significativo (Ausubel, 2002) y los principios orientadores señalados por Moreira (2005), para favorecer el aprendizaje significativo crítico, lo que permitió, en la mayoría de

los estudiantes del grupo de estudios, la evolución de conocimientos hacia significados del concepto de gen con una alta correspondencia con conocimientos actualmente aceptados por la comunidad científica.

Para facilitar el proceso de construcción del aprendizaje significativo crítico del concepto de gen, se requiere considerar los conocimientos previos de los estudiantes e identificar posibles obstáculos para su aprendizaje, así como los elementos facilitadores para su comprensión, adquisición y dominio. Para a partir de ellos, planificar y ofrecer una enseñanza potencialmente significativa y crítica de conceptos fundamentales, abstractos y de considerable complejidad, como es el concepto de gen para la Biología.

Al llevar a cabo estudios acerca de la evolución de significados de conocimientos científicos, tal y como se procedió sobre el concepto de gen, es necesario emplear una diversidad de instrumentos que permitan indagar, en diferentes momentos, sobre la construcción de los conocimientos en los estudiantes. En este sentido, los mapas de conceptos y la elaboración de representaciones gráficas son efectivos, pues ofrecen, tanto a los educadores como a los propios estudiantes, información sobre su aprendizaje, reflexionar acerca del conocimiento que se construye, y a los docentes reorganizar la enseñanza.

La organización de una enseñanza potencialmente significativa, orientada a facilitar el proceso de aprendizaje significativo crítico de contenidos de científicos complejos y de dificultad entre los estudiantes, requiere de tiempo, además de la importancia de considerar de manera deliberada los diversos elementos intervinientes en el acto educativo, señalados por Novak (1992), y sus interacciones (docente, estudiantes, contenido, evaluación y contexto). En este proceso juega un papel importante la selección de diferentes estrategias didácticas y actividades de aprendizaje; disponer de diversos recursos educativos, que permitan identificar el conocimiento que tienen y construyen los estudiantes, su motivación e interés. Utilizar actividades que permitan a los estudiantes aprender a partir del error y conducir la enseñanza de manera particular.

En el contenido a enseñar es determinante incorporar aquellos conocimientos que, según el nivel de los estudiantes, permitan la interacción específica de la nueva información con los conocimientos existentes en su estructura cognitiva, considerar su calidad, actualidad, epistemología, entre otros, como posibles condiciones que favorecerán un aprendizaje significativo y crítico. Los elementos para organizar la enseñanza, señalados por Moreira (2005) como principios para favorecer una enseñanza potencialmente significativa y crítica permiten al estudiante formular preguntas, en lugar de sólo dar respuestas ante las cuestiones que se le planteen; compartir significados con el docente y con los demás estudiantes, reflexionar acerca de su comprensión, utilizar el lenguaje apropiado, analizar la información a partir de diversas fuentes, representar su conocimiento, aplicar lo aprendido a otros contextos. La investigación en el aula, a partir de necesidades sentidas y compartidas por estudiantes y docentes como actores de la misma, ofrece vías para construir fundamentos metodológicos y teóricos en el campo de la investigación en enseñanza de la Biología.

## Referencias

- Ausubel, D. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento: una perspectiva cognitiva*. México: Piados
- Ausubel, D. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. New Cork, Holt, Rinehart and Winston
- Ayuso, E. y Banet, E. (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.

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.

Banet, E. y Ayuso, E. (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), 21-31.

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), 137-153.

Gowling, D. (1981). *Educating*. N.Y.: Cornell University Press.

Keller, E. (2005). The century beyond the gene. *Journal BioScience*, 30, pp. 3-10.

Kinfield, A. (1991). Confusing chromosome number and structure: A common student error. *Journal Biological Education*, 25 (3), 193- 201.

Lazarowitz, R. y Penso, S. (1992). High schooll students' difficulties in learning Biology Concepts. *Journal Biological Education*, 26 (3), 54-74.

Leal, E. (2009). La Investigación Acción Participación, un aporte al conocimiento y a la transformación de Latinoamérica, en permanente movimiento. *Revista de Investigación*. N° 69. p12.

Lock, R. y Miles, C. (1993), Biotechnology and genetic engineering; student's knowledge and attitudes. *Journal of Biological Education*, 27 (4), 267- 272.

Martinez, M. (2007). *La Investigación Cualitativa Etnográfica en Educación*. Trillas: Venezuela.

Moreira, M.A. (2006). *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: Universidade de Brasília. p. 185.

Moreira, M. A. (2005) *Aprendizaje significativo crítico*. Porto Alegre Impresos Portao.Ltda. pp. 8-47.

Moreira, M. A. (2000). *Aprendizaje significativo: teoría y práctica*, Madrid: Visor.

Moreira, M. A. y Buchweitz, B. (1987). *Mapas Conceituais Instrumentos Didácticos de Avaliação e de Análise de Currículo*. Editora Moraes: São Paulo

Novak, J. D. (1992). *A Theory of Education*. Second Edition; Draft of Chapters 1-4. Departament of Education Cornell University. Ithaca, N.Y

Novak, J. D. (1981). *Uma teoria de educação* (trad. M. A. Moreira). São Paulo: Pioneira.

Ramos, E. y Prieto. (1996). Actividades e ideas de los alumnos sobre la manipulación genética de los alimentos, *XVII Encuentros de Didácticas de las Ciencias Experimentales*. La Rábida, España.

Scribano, A. O. (2008). *Proceso de investigación social cualitativo*. Prometeo: Argentina.

Recebido em: 03.11.10

Aceito em: 11.01.12