El concepto de gen y cromosoma, conocimiento estructurante de la Biología. Algunas aportaciones desde la investigación en enseñanza de las ciencias

The concept of gene and chromosome, strcture-knowledge of the Biology. Some contributions from investigations in sciences teaching

Dalia Diez de Tancredi
tancredi10@cantv.net
Universidad Pedagógica Experimental Libertador
Instituto Pedagógico de Caracas

RESUMEN

Se refiere a una investigación de tipo documental descriptiva, sobre la importancia del concepto de gen y cromosoma en la Biología del siglo XXI, como concepto en tensión según filósofos e historiadores de la Biología durante el siglo XX, así como sus repercusiones en la enseñanza de esta disciplina para diferentes niveles educativos (básica, media y superior). Gen y cromosoma son considerados conceptos estructurantes de la Biología, por lo que se presentan resultados de investigaciones realizadas por cerca de una década en enseñanza de la Biología, se plantean recomendaciones a docentes e investigadores para futuras investigaciones en el campo.

Palabras clave: *Investigaciones en enseñanza de la biología; conceptos estructurantes de la Biología; gen y cromosoma; historia y filosofía de la biología*

ABSTRACT

Investigation of type descriptive documentary about to the importance of the concept of gene and chromosome in the Biology of century XXI, like concept in "tension" for philosopher and historians of the Biology in the XX century whit repercussions in teaching for different educative levels. Gene and chromosome are considered structure-concepts of the Biology, reason why results of investigations made by near of ten years on the science teaching and biology teaching; raises educational and investigating recommendations to for in the field.

Key words: *Investigations in biology teaching; structure-concepts of the Biology; gene and chromosome; history and philosophy of biology*

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, de tipo documental- descriptiva, trata el estudio sistemático de investigaciones publicadas en revistas de reconocido prestigio sobre la enseñanza de las ciencias, en relación a los conceptos de gen y cromosoma, por ser considerados conocimientos esenciales para el aprendizaje de la biología y por su actual relevancia en el campo de esta ciencia.

El propósito de la misma es formular algunas recomendaciones para atender, desde el área de la enseñanza de la biología, la dificultad que confrontan estudiantes de diferentes niveles educativos en el aprendizaje de dichos conceptos y sus implicaciones en la transferencia de conocimientos a otros campos o áreas de las ciencias, tales como Genética, Genómica, Biotecnología, Evolución, entre otras.

En los programas de formación inicial de docentes de Biología y para actividades de formación profesional de profesores en ejercicio, el tratamiento de éstos conceptos debe ser cuidadoso, ya que sus concep-

ciones previas pueden incidir notablemente al momento de organizar la enseñanza con sus estudiantes y de manera importante afectar su aprendizaje significativo.

En biología, al igual que otras ciencias, existen conceptos clave o estructurantes sobre los cuales se edifica un conocimiento más integral y complejo (Gagliardi, 1986; García, 1988) por lo cual el concepto de gen es considerado uno de ellos (Jouve,1995; Banet y Ayuso, 1998). Por otra parte, en la propia Biología este concepto ha pasado por procesos de cambio y transformaciones y que según señala Charbell (2005), para el siglo XX el gen es considerado como uno de los referentes o concepto marco en la historia de la ciencia. De la misma manera, Falk (2000) plantea que el gen es considerado por los filósofos e historiadores de las ciencias como uno de los conceptos en "tensión" para el siglo XXI.

En la enseñaza formal de la biología los contenidos de gen y cromosoma son tratados en una variedad de investigaciones educativas en las que se han realizado diferentes tipos de desarrollos instruccionales, se han elaborado una variedad de materiales didácticos donde se emplean imágenes externas, analogías, proposiciones, etc. y sobre los que se han diseñado y aplicado estrategias y actividades para mejorar su enseñanza (Saddler, Troy y otros, 2005; Andrioli y Mudry, 2005; Juárez y Manresa, 2005; Codina, 2005; Kurvink y Bowser, 2004: Chinnick, Yue y Torres, 2004; Zohar y Nemet, 2002; Ayuso y Banet, 2002; Carrero y Reyes ,2000; San Valero, 1995). Todo ello, con el fin de tratar de favorecer en el estudiante la construcción de representaciones mentales adecuadas que le permitan lograr un aprendizaje significativo.

La revisión de investigaciones realizadas con estudiantes de diferentes niveles educativos (media, básica y superior) sobre gen, ADN y cromosoma señalan que para lograr su aprendizaje se requiere tener conocimientos previos provenientes de otras ciencias, como, por ejemplo, de la Química. En este sentido, Pino (2003) aborda en su investiga-

ción aspectos del proceso mental que emplean los estudiantes para aprender los conceptos de ADN, gen y cromosoma, usando como estrategia instruccional la elaboración de mapas conceptuales por parte de estudiantes del 9° grado de Educación Básica en Venezuela. Esta autora señala entre sus hallazgos, que los estudiantes requieren conocer previamente sobre compuestos químicos específicos, así como tener conocimientos de estructura, entre otros, para llegar a comprender la molécula del ADN como constituyente del gen y del cromosoma.

Otros investigadores señalan que, entre los contenidos biológicos que ocupan una mayor atención de docentes e investigadores en la enseñanza de la Biología están los relacionados con la Genética (Banet y Ayuso, 2000; Ayuso y Banet, 2002). La mayoría de los conceptos genéticos se basan en entidades teóricas construidas dentro de sistemas conceptuales abstractos, hipotéticos deductivos y, dentro de ellos, los científicos han derivado mecanismos para tratar de comprender las funciones que cumplen dentro de los sistemas vivos (Baker y Lawson, 2001).

Gen concepto en tensión para el siglo XXI

Desde el punto de vista de la Biología como ciencia, el gen es considerado como un concepto clave, con un alto grado de abstracción y sobre el que se fundamenta la mayoría de los conocimientos actuales de esta ciencia. La biotecnología, biodiversidad, evolución, clonación, bioética, entre otros, son sólo algunos campos en donde la comprensión de este concepto es primordial para tratar la relación entre el conocimiento científico, la tecnología y su repercusión en la sociedad (Bugallo, 1995; Jouve, 1995; Banet y Ayuso, 1998,2000). Por otro lado, historiadores y filósofos de la Biología también plantean la necesidad de debatir sobre el concepto de gen, debido a que es un concepto controversial que tiene implicaciones para la enseñanza y el aprendizaje de la Genética (Charbell, 2005).

Desde 1953, con el modelo planteado de estructura de doble hélice de la molécula de ADN por Watson y Crick, se logró un importante avance en la comprensión físico – química de todo el conjunto de requisitos sobre el material genético establecidos por la genética clásica y que fueron, junto a la explicación de la secuencia lineal de los genes, base para las explicaciones químicas de las mutaciones y las recombinaciones, señalándolas como fenómenos del nivel molecular. Es por ello, que según Charbell (2005) el modelo de ADN implicó un triunfo de la visión realista sobre una visión instrumentalista de gen, consolidándose la idea del ADN como material genético de la herencia.

Es así, como a partir del modelo de doble hélice del ADN y la emergencia de la biología molecular, el gen pasó a ser tratado como unidad estructural que permitió introducir en el ámbito de la biología molecular y de la Genética un vocabulario informacional. De allí, el uso de expresiones como: información genética, código genético, trascripción, traducción, entre otros, que dieron paso a la idea del gen como unidad de información.

De acuerdo a Fogle, (citado en Charbell, 2005) la actualización de la comprensión mendeliana de gen ("factores") por aquella en la cual los genes tienen como función biológica permitir en los sistemas vivos la síntesis bioquímica de las proteínas, sirvió de fundamento funcional a la biología molecular clásica e hizo que se superpusieran las ideas de gen como unidad de estructura, de función y posteriormente se introdujera en la visión de la Biología Molecular y en la Genética como unidad de información.

Esto ha llevado a plantear una "crisis" en la comprensión del concepto de gen, debido a : 1. Proliferación de significados que se le atribuyen, muchas veces superpuestos, 2. La dificultad de acomodar la complejidad y diversidad de la arquitectura genética (que hoy se conoce gracias a los avances en el proyecto genoma) a la estructura clásica mole-

cular “científicamente aceptada” de la molécula de ADN como componente químico – físico de los genes que tiene funciones simples, directas y con un mecanismo hasta entonces comprensible, por una serie de elementos que señalan, por ejemplo, la existencia de genes sin función especifica para la síntesis de proteínas y de polipéptidos que son sintetizados por diversos genes, entre otras.

En este mismo sentido, este autor señala que la comprensión del gen como unidad estructural y funcional relacionada además con informacional, en la cual se le considera como unidad material de la información definida por una secuencia particular de nucleótidos, ha comenzado a confrontar dificultades, debido a que se ha determinado que ciertos segmentos de la molécula de ADN, a pesar de ser transcritos no son traducidos (por ejemplo, los genes de ARN ribosómico, ARN de transferencia) y otros segmentos de dicha molécula ni siquiera son transcritos, como es el caso de los pseudos genes. Ello ha llevado además, a presentar dificultades con el concepto de gen cuando se pretende comprender sobre la presencia de genes estructurales y reguladores (Keller, 2005).

El desarrollo del conocimiento de la Biología actual y de la genómica sobre el gen, esta conduciendo a plantear dudas, no solamente entre filósofos e historiadores, sino también entre los propios biólogos quienes señalan la necesidad de hacer actualizaciones sobre él en la biología molecular, y que ha llevado a considerarlo como un concepto en “tensión” (Falk, 2000). Esto requiere ser reconsiderado para ser tratado dentro del ámbito de la célula, por ser ella, la unidad viva morfo-génica fundamental donde se les ubica (Keller, 2005).

En síntesis, podemos referir que el conocimiento sobre gen en los últimos años, producto del desarrollo del genoma, ha producido un “colapso” en la superposición que existen de las concepciones de gen, cuyo punto inicial de partida se había dado con el concepto mendeliano estructural (factores), que ha sido aceptado y considerado como concepto fun-

cional por la Biología Molecular y posteriormente se le ha dado un significado informacional. Hoy en día, se maneja la existencia de diferentes tipos de genes estructurales y funcionales, como por ejemplo: genes superpuestos y nidados, intrones y exones, aquellos que no tienen localización constante (transpones), los pseudos- genes y genes con funciones alternativas, genes que codifican proteínas multi-funcionales, así como la existencia de una dependencia de la acción génica asociada a los contextos celular y supra-celular (Cohen, 2002).

MÉTODO

Para procesar la información obtenida a partir de investigaciones publicadas en enseñanza de las ciencia, específicamente en la enseñanza de la Biología sobre los conceptos de gen y cromosoma, se localizaron aquellas publicaciones periódicas del tipo de revistas, revistas en línea y documentos presentados en Congresos y Encuentros donde se refieren resultados considerando los conceptos de gen y cromosoma. En este sentido, se estableció como período de búsqueda de una década (1995 a 2005) y se decidió organizar la información tomando en cuenta, la población o la muestra de estudio, técnicas y otros instrumentos empleados, así como sus resultados y conclusiones.

Los estudios seleccionados, a partir de tales criterios, se procesaron y registraron a partir de las fuentes originales y trabajos en extenso en cuadros y tablas de registro.

RESULTADOS

A continuación, la Tabla 1 presenta la información de investigaciones en enseñanza de la Biología sobre gen, cromosoma y otros conceptos relacionados que han sido reportadas y publicadas en revistas especializadas en enseñanza de las ciencias, lo cual nos ha permitido sistematizar la información sobre el tipo de investigación que en este sentido se ha llevado a cabo por cerca de una década.

La información se ha organizado cronológicamente tomando en cuenta la fecha de los primeros trabajos publicados, para mostrar la investigación llevada a cabo entre 1995 y 2005.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS-TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
San Valero, C., (1995)	Proponer estrategias innovadoras para enseñar contenidos de genética. Diseño y aplicación de una unidad didáctica sobre el genoma humano.	Estudiantes de secundaria.	Cuestionario para evaluar el aprendizaje estudiantil.	Estrategias innovadoras con enfoque CTS sobre genoma humano mejoran la comprensión en los estudiantes sobre contenidos de genética.	El enfoque CTS ayuda a la comprensión de estos contenidos de Biología Nuevas estrategias de enseñanza acordes con el contenido del genoma humano favorecen el aprendizaje de los estudiantes.
Bugallo, R., (1995)	Analizar investigaciones sobre didáctica de la genética.	Investigaciones realizadas en enseñanza de la genética con estudiantes de diferentes niveles educativos.	Registro de investigaciones. Análisis de resultados de las investigaciones.	Existen dificultades comunes en la comprensión de contenidos de genética por parte de estudiantes.	Entre las dificultades para su aprendizaje se consideran: conocimiento abstracto; se requiere del dominio d e conocimientos matemáticos; existen dificultades en la resolución de problemas.
Jouve, N., (1995)	Proponer al concepto de gen como integrador en Biología.	Investigación Documental-teórica.	Revisión de materiales impresos e investigaciones en el área.	Gen, concepto integrador para comprender conocimientos de biología.	Importancia de investigaciones que apunten hacia procedimientos de enseñanza del gen con estudiantes distintos los niveles educativos.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS-TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
Banet y Ayuso, (1995)	Indagar sobre el conocimiento que tienen los estudiantes de un curso de biología sobre contenidos de genética.	Estudiantes de secundaria - bachillerato	Pruebas de conocimiento. Análisis del contenido de gen en programas de biología del bachillerato.	Los contenidos de genética son de difícil comprensión para los estudiantes de bachillerato.	El conocimiento de contenidos de genética requieren ser considerados en distintas investigaciones educativas a fin de plantear elementos para una mejorar su didáctica y atender a los conceptos claves.
Ayuso, Banet y Abellan, (1996 a)	Analizar el tipo de actividad que se plantean a estudiantes: 1.- Resolución de problemas de genética. 2.- Realización de ejercicios.	Estudiantes de educación secundaria.	Análisis de programas de genética. Categorizaciones elaboradas por los autores.	Dificultades de estudiantes para resolver problemas: conceptuales; tipos de problemas y estrategias de solución de tipo operatorio (probabilidad).	Importancia de plantear variedad de problemas para favorecer la transferencia de conocimientos de genética en herencia mendeliana. El intento por clarificar los procesos mentales que desarrollan los estudiantes al resolverlos, puede ayudar en el proceso de enseñanza.
Banet, Ayuso y Abellan, (1996 b)	Tipo de actividad en enseñanza. Analizar la introducción en bachillerato de contenidos de genética y la resolución de problemas.	Estudiantes de educación secundaria-bachillerato.	Análisis del tipo de ejercicios y los problemas de herencia mendeliana que se plantean en las clases de biología.	Los ejercicios de genética mendeliana se refieren a ejecuciones algorítmicas causa-efecto.	Debe enseñarse la resolución de problemas causa efecto y efecto causa como parte de los contenidos de genética mendeliana o genética de poblaciones.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS-TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
Banet y Ayuso (1998; 2000)	Revisar trabajos de genética con el fin de reflexionar acerca de la problemática de su aprendizaje.	Trabajos publicados en el área en para Educación básica y media	Análisis currícular y programas de biología de distintos niveles educativos.	Los estudiantes tienen dificultades para comprender la genética mendeliana, en cálculos de probabilidades; significado de las frecuencias y proporciones en la determinación de genotipo y solución de problemas.	Las dificultades a las que se enfrentan los estudiantes en el aprendizaje de la genética plantean la necesidad de desarrollar actividades de enseñanza para superarlas. Los estudiantes no comprenden conceptos de gen, genes alelomorfos, cromosoma, lo que dificulta la interpretación adecuada de homocigotos y heterocigotos; además tienen ideas alternativas sobre meiosis .
Browning y Lehman, (1998)	Identificar concepciones alternativas de los estudiantes que inciden en la solución de problemas de genética.	Estudiantes de bachillerato.	Uso de mapas conceptuales; protocolos de resolución de problemas.	Existen dificultades de tipo operatorio (probabilidades matemáticas y proporciones) al resolver los problemas de herencia.	Las concepciones previas que tienen los estudiantes son obstáculos en la resolución de problemas de genética. Desconocimiento de herramientas matemáticas dificultan el aprendizaje de la genética de poblaciones.
Valadee del Río, E., (1999)	Analizar contenidos de genética en libros de texto.	Libros de educación secundaria.	Análisis del contenido de genética y del significado de la información.	Existe un uso inadecuado de los símbolos **y se** Obvia información sobre su correcta aplicación.	Plantea una propuesta para simbolizar los genes en seres vivos eucariontes.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS-TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
Miguel, V., (2000)	Revisar los contenidos de manipulación génica en los programas de cursos de biología en las escuelas.	Investigación Documental.	Revisión de Materiales Instruccionales Materiales científicos.	Importancia de los conocimientos sobre beneficios de biotecnología y principios de ética al manipular genes.	Importancia del conocimiento en Biotecnología sus consideraciones biológicas y éticas. Necesidad de modernizar el currículo de biología.
Aznar, V., (2000)	Determinar conocimientos y actitudes del publico sobre biotecnología.	Artículos de estudios sobre conocimientos de adolescentes y publico en general.	Técnicas de análisis de documentos.	Implicaciones de los errores conceptuales de adolescentes sobre genética inciden en la comprensión de biotecnología	El conocimiento errado sobre conceptos de genética que se maneja en los artículos dirigidos al publico en general incide negativamente en la comprensión de procesos y aplicaciones biotecnológicas .
Sigüenza, A., (2000)	Analizar la relación entre representaciones mentales duraderas (esquemas mentales previos) y modelos mentales que construyen los estudiantes al resolver problemas (analogías mentales del problema).	Seis (6) estudiantes de primero de bachillerato (25% por enzima y 25% por debajo de la media).	Ejercicios en clase. Cuestionarios con problemas. Entrevistas *"teachback".*	Al resolver problemas el estudiante crea un espacio mental donde representa secuencialmente los estados del problema, la solución que refleja en su cuaderno presenta esta secuencia.	Existen dos procesos de resolución diferentes para dos tipos de problemas: tipo causa - efecto, que se resuelven usando algoritmos o pat rones de respuesta y del tipo efectos –causa donde los estudiantes interpretan y deciden las posibilidades de solución. Las dificultades de conocimientos matemáticos ponen en peligro la estabilidad de los principios de constancia.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS-TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
Jiménez-Aleixandre, Bugallo y Duschl, (2000)	Determinar el conocimiento de estudiantes de la escuela secundaria sobre contenidos de genética.	Estudiantes de 9no grado de la escuela elemental.	Diseño y aplicación de una secuencia Instruccional. Cuestionarios de conocimientos. Entrevistas a estudiantes.	La secuencia instruccional sobre producción de argumentos mejora significativamente la comprensión de contenidos y su aprendizaje.	Estudiantes de todos los niveles educativos tienen dificultades en el aprendizaje de conceptos de genética. Es necesario desarrollar programas instruccionales para r la enseñanza de la Genética y mejorar comprensión de estos contenidos en la escuela.
Southerland, Abrams, Cummins y Anselmo, (2001)	Indagar acerca de las dificultades en el aprendizaje de Tópicos de Biología,	Revisiones de investigaciones en enseñanza de la biología.	Análisis de trabajos previos en distintas áreas de la biología, entre ellos, contenidos de genética, ingeniería genética, genoma humano. Registro de informaciones teóricas y sus resultados.	Evidencias en diez años señalan un aumento en el desarrollo de investigaciones de intervenciones didácticas diferentes a la metodología tradicional. Estudios sobre cómo ocurre el aprendizaje es menor.	Reportan dificultades de los estudiantes y sus explicaciones ante fenómenos biológicos. Muchos temas de Biología requieren la comprensión de gen y cromosoma .Hasta la f echa, la investigación se ha basado en tratar de aportar propuestas instruccionales que sustituyan las clases expositivas y disminuir el uso de libros de textos como únicos recursos de enseñanza.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS-TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
Ayuso y Banet, (2002)	Analizar trabajos sobre la enseñanza de genética y concepciones de los estudiantes. Aportar criterios para seleccionar y secuenciar contenidos de localización, transmisión y cambios de la herencia. Analizar características de actividades de enseñanza para favorecer el aprendizaje.	Estudiantes de pre-universitaria.	Cuestionarios, entrevistas, mapas de conceptos elaborados por los estudiantes.	Existen diferentes representaciones mentales en los estudiantes sobre contenidos de herencia. Se elaboran esquemas para analizar las concepciones previas y organizar la secuencia instruccional de de herencia biológica.	Destaca la importancia de la conceptualización de conceptos claves de genética para comprender otros procesos biológicos. Refieren planteamientos para favorecer aprendizajes en este ámbito de la biología, mediante una secuencia de cómo desarrollar los contenidos de la herencia biológica tomando en consideración un enfoque de aprendizaje constructivista.
Ayuso y Banet, (2002)	Justificar los vínculos que deben existir entre la enseñanza de la herencia y evolución de seres vivos.	Estudiantes de educación segundaria.	Cuestionarios.	Las dificultades de los estudiantes para comprender la teoría neo-darwinista se debe a nociones no adecuadas de conceptos de genética.	Existen vínculos necesarios de enseñar en los programas de biología entre conceptos de genética, herencia mendeliana y evolución.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS-TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
Zohar y Nemet, (2002)	Examinar resultados de la aplicación de una unidad integrada que considera el razonamiento en el aprendizaje de las ciencias y el uso de la argumentación en genética.	Estudiantes de Educación elemental y media.	Elaboración de instrumentos para medir el aprendizaje de los estudiantes.	El rendimiento en el aprendizaje estudiantil mejora al usar la unidad didáctica sobre la argumentación, usando contenidos de genética humana.	La argumentación como parte de la enseñanza de dilemas en genética humana favorece la ejecución tanto del conocimiento biológico como de la argumentación.
Martínez y Gil-Quilez, (2003)	Analizar libros de texto considerando el tratamiento dado al contenido de ingeniería genética, tópico importante en la enseñanza de la biología en el mundo.	34 Libros de texto de biología para el bachillerato De los grados: 10, 11 y 12 publicados entre 1997 y 2001.	Instrumento de análisis y evaluación de materiales impresos. Listado para chequear las características de los contenidos tratados en libros de biología, elaborado considerando la las concepciones alternativas que tienen los estudiantes en contenidos de ingeniería genética	Los conceptos de la genética se presentan medianamente, aunque conectados con conceptos previos para su comprensión. La mayoría de los libros no asocian el código genético con especies. Se introduce el concepto de plasmidos sin tratamiento de la fisiología en bacterias. En las aplicaciones no explican	El tema de la ingeniería genética se introduce en los libros de manera lógica, con una secuencia que considera: la molécula de ADN, su aislamiento, constitución química, transferencia de fragmentos de ADN en nuevos organismos con fines experimentales. El uso de términos de la Ingeniería genética están débilmente conectados a aspectos básicos de la genética La descripción de los procedimientos esta simplificada; se discute aplicaciones y repercusiones de la ingeniería sin equilibrio entre ventajas y desventajas. Se recomienda revisar el contenido de Ingeniería genética en los libros.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS-TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
Pino, I, (2003).	Identificar atributos de de ADN, gen y cromosoma aprendidos por los estudiantes Aborda aspectos del proceso mental de los estudiantes para aprender estos conceptos usando como estrategia para la investigación la elaboración de mapas conceptuales.	Estudiantes de 9º grado de educación básica venezolana.	La elaboración de mapas conceptuales por parte de estudiantes del 9° grado de Educación Básica. Entrevistas a expertos y estudiantes para profundizar en las respuestas dadas en cuestionarios y mapas conceptuales elaborados.	Los estudiantes deben entrenarse en mapas conceptuales. Se elaboraron mapas conceptuales en diversos momentos de la investigación para observar el proceso de formación de representaciones mentales al consolidar el concepto de gen y cromosoma.	En el aprendizaje los conceptos de gen y cromosoma tienen un considerable nivel de dificultad entre los estudiantes, además se requiere para su aprendizaje tener conocimientos previos provenientes de otras ciencias como la Química y del concepto de estructura.
Sadler y Zeidler, (2003)	Explorar los eventos en los cuales los estudiantes construyen conocimientos sobre ingeniería genética Considerando la implicación en problemas morales.	20 estudiantes.	Entrevistas para conocer las ideas y reacciones sobre la terapia de genes y clonaciones. Escenarios de situaciones creadas para exponer sus ideas.	El análisis cualitativo revela que las consideraciones morales tuviero n una influencia significativa sobre las decisiones tomadas. Se discuten aspectos de enseñanza.	Los estudiantes plantearon un razonamiento moral basado s en análisis utilitario de las consecuencias, así como la aplicación de principales problemas que pue den ser influenciados por hechos afectivos como la emoción, la intuición y otros problemas emergentes como las dimensiones socio científicas, la toma de decisiones.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS-TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
Kurvink y Bowser, (2004)	Proponer un juego Instruccional: que ponga en practica información sobre el proyecto: Genoma humano; utilizar diagnósticos genéticos para comprender el papel del ADN.	Estudiantes preuniversitarios.	Cuestionarios, Protocolos. Registro de observaciones durante la realización del juego.	Los resultados pueden usarse para investigar el aprendizaje Eventualmente el diagnostico podría arrojar datos sobre la comprensión de los estudiantes sobre terapia y cura de enfermedades genéticas.	El aprendizaje de los estudiantes a través del juego puede ayudar en la comprensión de los procesos involucrados en la expresión genética y los problemas éticos y sociales asociados al tema. El esquema básico del juego fue concebido sobre el enfoque Herencia y sociedad. El juego refuerza el conocimiento sobre la información genética y facilita su comprensión.
Diez y Caballero, (2004)	Analizar imágenes externas de gen y cromosoma en materiales instruccionales para la enseñanza de la biología en el sistema educativo venezolano.	Dieciséis (16) libros de texto y manuales de actividades practicas para el laboratorio, seleccionados intencionalmente por ser de mayor uso entre docentes y estudiantes de tres niveles del sistema educativo venezolano.	Instrumentos de análisis de las representaciones, secuencia instruccional según categorizaciones para el contenido con o sin imágenes externas para: atraer la atención; provocar interés y motivar; señalizar y organizar el contenido, ilustrarlo mostrar hechos o procedimientos específicos.	Los materiales de los tres niveles educativos utilizan imágenes realistas, icónicas y esquemáticas, para tratar los contenidos. En Básica y Media Diversificada las esquemáticas y las icónicas son más frecuentes que las imágenes realistas del tipo de fotografías. El color esta asociado a imágenes. En básica, las ilustraciones no favorecen la interacción de los estudiantes con el contenido.	Se logró identificar y describir las características y uso en el texto de las imágenes externas relacionadas con gen y cromosoma en materiales instruccionales que usan docentes y estudiantes. El uso del color es frecuente en las imágenes y otr as secciones de los materiales (organizadores avanzados, títulos y sub- títulos, lecturas anexas). En la secuencia instruccional predominan las definiciones, acompañadas o no de ilustraciones, siguen las descripciones y poco se emplean actividades interact ivas.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS-TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
Andrioli y Mudry, (2005)	Aplicar la estrategia de proyecto de investigación escolar como actividad extraescolar para aprender sobre contenidos básicos de genética y su aplicación en la contaminación ambiental.	Estudiantes del ultimo año de Educación media.	Diseño y aplicación de una unidad didáctica con actividades innovadoras. Instrumentos de observación y registro de las actividades desarrolladas por los estudiantes.	Los estudiantes participan en el desarrollo de un proyecto de investigación para evaluar el daño ambiental aplican do sus conocimientos de genética.	La propuesta facilita el aprendizaje de la genética y su aplicación en el estudio de la contaminación ambiental desde un proceso participativo que asegura la adquisición de nuevos conocimientos herramientas y habilidades.
Juárez, Cascales y Manresa, (2005).	Aplicar conocimientos de la molécula del ADN como actividad en la semana de la ciencia donde participan docentes y estudiantes Biología, Química y Matemáticas.	Estudiantes de Educación Media.	Elaboración de maquetas Aplicaciones de conocimientos de matemática y de Química del ADN.	Se construyo una molécula gigante del ADN.	Relación matemáticas, química y biología en actividades fuera del aula.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS-TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
Codina, J., (2005)	Proponer una unidad didáctica para trabajar los contenidos de genética, extracción de ADN, leyes de herencia mendeliana.	Estudiantes de media.	Secuencia Instruccional para el aprendizaje de contenidos del currículo de biología.	Los estudiantes comprenden de manera contextualizada los mecanismos de la herencia y otros conceptos relacionados en la construcción teórica de un organismo transgénico.	Las estrategias innovadoras para la enseñanza de la Biología inciden favorablemente en aprendizaje de contenidos de genética.
Sadler, Troy y otros, (2005)	Determinar el significado del conocimiento del contenido científico en el razonamiento de problemas sociales. Aplicaciones del conocimiento de la genética en problemas de ingeniería genética.	Doscientos sesenta y nueve (269) estudiantes de ciencias naturales.	Pruebas cuantitativas de conocimientos de genética. Entrevistas durante las cuales expresaron sus razonamientos a respuestas sobre árboles genealógicos, escenarios de clonaciones.	Existen diferencias en el contenido cuando relatan situaciones según planteamientos formales o informales.	Los participantes mas avanzados con mayor comprensión sobre contenidos de genética demostraron menos debilidad en sus razonamientos para incorporar aspectos científicos Los resultados tienen implicaciones en la enseñan za.

AUTOR (ES) /AÑO	OBJETO	POBLACIÓN-MUESTRA	INSTRUMENTOS -TECNICAS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
Stotz, Griffiths y Knight, (2004)	Identificar las concepciones que tienen los especialistas de diferentes campos de la Biología sobre el concepto de gen.	Ciento sesenta (160)especialistas en Biología de nivel de post doctorado de la Universidad.	Instrumentos tipo cuestionario. Entrevistas.	Existen patrones comunes en las respuestas de los especialistas en cuanto a la visión estructuralista del concepto de gen El concepto de gen es dependiente del campo de formación y de desarrollo de los especialistas.	Existen diferentes conceptualizaciones de gen entre los biólogos. Se encontraron diferentes posiciones que van desde las ideas de la Genética clásica mendeliana, pasando por los aportes de la Biología Molecular, hasta aquellas que llegan a una consideración del gen como elemento de información que regula los procesos biológicos, tanto a nivel de organismo como de poblaciones y la evolución.
Charbell, (2005)	Plantear consideraciones sobre las dificultades de mantener el concepto de gen como unidad funcional e informacional a la luz de los hallazgos encontrados a partir del Genoma. Señalar implicaciones del concepto de gen en la enseñanza de la biología a nivel medio y superior.	Fundamentos históricos y filosóficos reportados en los análisis de los autores en las ultimas tres décadas.	Revisión y análisis de documentos.	El concepto de gen planteado en 1909 por Fogle, su consolidación a partir del modelo de ADN, de Watson y Crick en 1953 como su sustento en la Biología Molecular clásica y moderna ha sufrido desafíos importantes debido a los hallazgos encontrados en el proyecto genoma. Todo ello con implicaciones en la enseñanza de la Genética.	En la enseñanza, plantear la existencia de genes P y genes D. La existencia de diversos tipos de genes deben ser considerados en la enseñanza de la Biología a Nivel de Educación Superior. De igual manera, en Educación Media debe organizarse la enseñanza considerando el papel no determinista de los mismos y las dificultades que ha teni do la superposición de significados de gen en diversos momentos de la historia de la biología.

Fuente: Revistas en línea, artículos en revistas especializadas sobre enseñanza de la Biología y en enseñanza de las ciencias (*). Libros publicados sobre enseñanza de las Ciencias, de la Biología (**)
Revistas: 1. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales. 2. The American Biology Teachers.3. Revista Enseñanza de las ciencias.4. Revista de investigación y experiencias didácticas, Instituto de Ciènces de l 'Educació, Universitat Autònoma de Barcelona. 5.Revista de Investigación UPEL- IPC. 6.Revista Investigações em Ensino de Ciências 7. Science Education 8.Journal of research in science teaching

Como se evidencia, la década referida en la revisión de investigaciones educativas en el campo de la biología muestra el interés de los biólogos y docentes por el aprendizaje de la Genética y de sus conceptos claves. Por otra parte, desde la óptica de la Historia y Filosofía de la Biología el concepto de gen también ha sido considerado en los debates, llegando a considerarlo como uno de los conceptos marco del siglo XX, producto de los avances científicos de las tres últimas décadas a partir del estudio del genoma, que lo ha colocado ante importantes desafíos y que ha requerido plantear nuevos conceptos asociados, tales como: genes interrumpidos, genes alternativos, genes superpuestos, así como nuevas consideraciones sobre el papel del ARN mensajero visto como unidad funcional (Charbell, 2005).

La información de las investigaciones revisadas y consideradas anteriormente, puede ser agrupada en categorías como investigaciones:

1. Referidas a la enseñanza de contenidos de genética y sobre el conocimiento que tienen los estudiantes, las dificultades para el aprendizaje que se atribuyen al concepto de gen y otros conceptos asociados.
2. Sobre propuestas instruccionales o unidades didácticas para mejorar el aprendizaje de la genética, donde los conceptos de gen y cromosoma son determinantes.
3. Acerca del uso de estrategias instruccionales y enfoques innovadores (Biología y Sociedad; CTS, entre otros) para tratar de mejorar la enseñanza de la Genética y por consiguiente el aprendizaje de gen y cromosoma.
4. Acerca del uso de recursos de enseñanza, como los mapas conceptuales, para favorecer el aprendizaje significativo del concepto de gen, ADN y cromosoma.
5. En relación a la resolución de problemas, sus características y condiciones para el aprendizaje de la genética.

6. Que consideran la revisión de trabajos realizados en este campo.
7. En historia y filosofía de la biología con implicaciones en la enseñanza del concepto de gen y de cromosoma.

En análisis de las investigaciones nos lleva a plantear que la temática de las mismas se refieren a:

- Conocimientos de los estudiantes que se inician en el aprendizaje formal de la genética. Conocimiento que tienen acerca de la naturaleza de los genes. Conocimiento que tienen los estudiantes de las relaciones entre cromosomas, meiosis, mitosis y fertilización. Comprensión de los estudiantes acerca de la relación entre los conocimientos de célula y genética.
- Conceptualizaciones que tienen los biólogos sobre el concepto de gen.
- Exploración del aprendizaje de los estudiantes y la comprensión de conceptos de genética, a partir de una perspectiva ontológica y epistemológica.
- Dificultades de los estudiantes de diferentes niveles educativos en la comprensión de gen y alelos; en la resolución de problemas de genética; en contenidos asociados a la división celular (mitosis, meiosis); entre otros.
- Desarrollo del concepto de gen. Epistemología del concepto de gen.
- Procesos de aprendizaje en contenidos de genética. Formación de modelos mentales en la resolución de problemas de genética.
- Desarrollo del currículo de biología, Introducción de genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato. Enseñanza de la herencia mendeliana en educación secundaria, conocimientos de genética que tienen niños y niñas través de educación extraescolar o no escolarizada.
- Didáctica de la genética. Programas para la enseñanza de contenidos de genética por diversos sistemas educativos.
- El Genoma Humano y enfoque CTS. Uso de la prensa escrita / enseñanza de la genética con enfoque CTS. Juegos y simulaciones

para la enseñanza de la genética. Construcción de maquetas sobre la Molécula de ADN. Juegos Instruccionales para el aprendizaje de contenidos del proyecto: Genoma Humano.

- Análisis de textos escolares sobre contenido de genética. Caracterización de imágenes sobre gen y cromosoma usadas en los libros de texto de básica, media y superior. Contenidos de ingeniaría genética en los libros de texto.
- Enseñanza de la Biotecnología.
- Contenidos específicos de: Biotecnología, su importancia. Tópicos de Biología. Relaciones Genética, Evolución, Ecología. Genética humana.
- Aplicaciones de la genética al estudio de la contaminación ambiental. Aplicación de conocimientos de genética en problemas de ingeniería genética.
- Uso de mapas conceptuales para enseñanza y aprendizaje de ADN y gen.
- Tipos de actividades: Resolución de problemas o ejercicios.
- Revisiones sobre trabajos de investigación en enseñanza y aprendizaje de contenidos de genética.
- Enseñanza de la genética mendeliana basada en fundamentos de la epistemología de la biología
- Historia del concepto de gen. Concepto de gen su desarrollo y evolución, una perspectiva histórica y epistemológica. Conflictos actuales con el concepto de gen y sus implicaciones en la enseñanza de la biología.

A partir de la organización planteada, es posible señalar que:

En las investigaciones reportadas entre los años de 1995 y 2005, aquellas que se encuentran con mayor frecuencia, son las relacionadas con contenidos de genética, con el conocimiento que tienen los estudiantes y sobre las dificultades que ellos tienen en el aprendizaje de los conceptos de gen y cromosoma.

Entre las investigaciones acerca de las dificultades que se atribuyen al aprendizaje de estos conceptos referimos la investigación desarrollada por Southerland, Abrams, Cummins y Anselmo (2001) quienes plantean la importancia de explorar el conocimiento previo de los estudiantes y sus explicaciones ante diferentes fenómenos biológicos, señalando que para tener un adecuado conocimiento de los procesos biológicos, se requiere que los estudiantes comprendan los conceptos de gen y cromosoma.

Aunque consideramos importantes la realización de este tipo de investigaciones, pensamos que es necesario llevar a cabo estudios que permitan profundizar para tratar de comprender acerca del proceso de aprendizaje de esta ciencia, planteando investigaciones, que ahonden en la exploración del desarrollo de los procesos conceptuales y específicamente aquellas que se refieren al aprendizaje significativo de contenidos claves estructurantes de la biología, desde la óptica de la construcción de representaciones mentales.

A partir de los resultados de las investigaciones presentadas en la tabla 1 en cuanto a las dificultades que tienen los estudiantes en la comprensión de contenidos de genética, podemos señalar que las mismas están referidas a : la comprensión del proceso de meiosis, los conceptos de cromosoma, gen, alelos, ya que ello incide en la inadecuada interpretación de otros conceptos biológicos, como por el ejemplo, el significado de homocigotos y heterocigotos y su necesidad para la interpretación de características de las poblaciones biológicas y en la resolución de problemas.

Las dificultades, que se presentan al resolver problemas de genética están referidas a los cálculos de las probabilidades, el significado de las frecuencias y proporciones para los genotipos y fenotipos en los cruces y al tipo de ejercicios que se utilizan cuando se requiere resolver problemas genéticos o hereditarios, entre otros. Además, según estos

estudios, la falta de comprensión sobre gen incide también en el aprendizaje de otros contenidos de biología, por lo cual se sospecha que la enseñanza llevada a cabo en las aulas, sólo se ha logrado entre los estudiantes realizar un trabajo de rutina memorística, de poca relevancia y carente de significado.

Se plantea entonces, que es necesario realizar una enseñanza de la genética que considere los conocimientos previos de los estudiantes, incluyendo la información que adquieren fuera de la escuela, el planteamiento de situaciones de aprendizaje que favorezcan la construcción del conocimiento y el uso de materiales apropiados y diversos para tal fin. Ello podría lograr que los estudiantes reestructuraran sus concepciones iniciales sobre la información hereditaria, su ubicación en la célula, el papel de los cromosomas, etc y, de esta manera, posiblemente lograr conocimientos más coherentes con los conceptos científicos actualmente aceptados en esta nueva era de la biología.

Otros autores, interesados en el aprendizaje y en la enseñanza de estos contenidos biológicos, plantean modelos de programas instruccionales para la enseñanza de la genética (Jiménez-Aleixandre, Bugallo y Duschl 2000; Codina,2005), en los cuales se proponen secuencias instruccionales que consideran, por ejemplo, la producción de argumentos por parte de los estudiantes para mejorar significativamente la comprensión de estos conceptos; el uso de mapas conceptuales (Pino, 2003); el enfoque CTS en la enseñanza de la Genética (San Valero ; 1996); mejorar la enseñanza de la resolución de problemas de genética (Sigüenza, 2000; Banet y Ayuso 2000, y otros), así como el uso de juegos instruccionales (Toledo y Camero,2005), enseñanza a partir de proyectos y otras estrategias innovadoras (Kurvink y Bowser; 2004), todos ellos con la finalidad de facilitar la comprensión y favorecer en los estudiantes el aprendizaje significativo.

En trabajos preliminares de didáctica de la genética, Bugallo (1995) señaló que esta área del conocimiento biológico las investigaciones realizadas hasta ese momento y las propuestas planteadas no habían permitido lograr avances en su aprendizaje. Es posible que, tal afirmación se pueda extender a lo que esta ocurriendo después de otros diez años. La importancia que tiene este asunto entre educadores e investigadores se debe a que existe consenso acerca de su papel en la comprensión de la biología, tanto en su sentido de contenido específico, como por su incidencia en la construcción de conocimientos necesarios para la vida diaria y que todo ciudadano debe tener como parte de una cultura científica.

Es importante señalar que, si bien fueron necesarios durante la década de los años 80, la realización de estudios e investigaciones en la enseñanza de las ciencias con énfasis las ideas alternativas, concepciones previas de los estudiantes, planteamientos para lograr el cambio conceptual y las dificultades de los aprendices en la resolución de problemas de esta disciplina, entre otros. Hoy sabemos que es necesario conducir investigaciones en enseñanza de la biología que traten de describir, comprender, interpretar los procesos de conceptualización entre los estudiantes.

El reporte de investigaciones en cuanto a que las concepciones alternativas de los estudiantes se deben a los contenidos de la ciencia escolar que se presentan en los libros de texto (Cho et al., 1985 en Bugallo, 1995), este es otro tipo de investigaciones que se reportan con resultados que señalan la persistencia de ideas alternativas entre estudiantes de distintas regiones del mundo por las representaciones externas que provocan la construcción de representaciones internas que pueden ser obstáculos en el aprendizaje de la biología . Las tendencias actuales apuntan a la realización de trabajos que orienten la búsqueda de sistemas instruccionales que puedan reducir tales dificultades y mejorar contenidos e informaciones de los materiales didácticos de diversos tipos.

También es común entre los docentes señalar que entre las dificultades que ellos confrontan para lograr una adecuada enseñanza de los conceptos de gen y cromosoma, así como para otros contenidos de biología, esta la imposibilidad para realizar experimentos con material biológico (debido a los tiempos en que los mismos deben realizarse), la escasa dotación de recursos en las instituciones educativas para realizar trabajos prácticos lo cual incide desfavorablemente en su enseñanza y, por consiguiente, dificultan el aprendizaje de sus estudiantes. Esta es otra problemática que se debería atender en esta nueva era de la investigación en enseñanza de las ciencias y por lo tanto de la biología a fin de modernizar el tratamiento en el laboratorio de estos conceptos.

CONCLUSIONES

La revisión realizada por cerca de diez años en el área de la investigación en enseñanza de la biología, nos permite plantear la necesidad de conducir estudios sobre la enseñanza y el aprendizaje de estos contenidos biológicos, apoyándose en las aportaciones de la teoría cognitiva, especialmente en relación con la comprensión del concepto de gen, lo cual implica considerar otros conceptos relacionados como son ácidos nucleidos (ADN y ARN), cromosomas, entre otros.

Realizar investigaciones en la enseñanza de la Biología considerando el concepto de gen y cromosoma, desde la óptica de las representaciones mentales que tienen y construyen los estudiantes sobre dichos conceptos y sobre las características de los procesos cognitivos asociados a su comprensión y a la conceptualización, conforman una nueva tendencia en la investigación en enseñanza de la Biología a la cual es necesario atender en nuestro país, no solamente por la novedad de esta temática sino por la necesidad de prever la enseñanza de contenidos del genoma, clonación, biotecnología.

Existe consenso entre los investigadores en enseñanza de la Biología sobre la dificultad que tienen para estudiantes de distintos niveles educativos (básica, media y superior) comprender los contenidos de la genética y especialmente acerca del concepto de gen (Cantu y Herron, 1978; Gipson, Abraham y Remmer, 1989; Kilian, 1979; Lawson, 1982; Thorton y Fuller, 1981; Walker, Hendrix y Mertens, 1980, Walker, Mertens y Hendrix, 1979; Ward y Herron. 1980, citados en Baker y Lawson; 2001). Ello podría llevar a considerar que gran parte de los problemas planteados sobre la comprensión de la Genética, la evolución, la genómica y de otros campos de la biología podrían estar relacionados con dificultades que existen en la conceptualización de gen y cromosoma.

El importante debate entre biólogos, por una parte, y entre filósofos e historiadores de la Biología por la otra, nos hace reflexionar sobre la importancia de este concepto biológico, tanto para las investigaciones propias del campo de la ciencia de la biología, en estudios sobre epistemología y filosofía e historia de la biología, además de su ya referida importancia en el campo de la educación en ciencias y en el currículo. Ello nos obliga a repensar en la ciencia escolar, que debería ser replanteada en los cursos de formación inicial y profesional de los docentes quienes inciden de manera directa en la enseñanza básica y media. En ello se deben considerar las investigaciones sobre la enseñanza y sobre los procesos cognitivos que se desarrollan en su aprendizaje.

En la formación de los estudiantes de la carrera de Biología, de las instituciones de formación docente y en las escuelas de educación, la enseñanza del concepto de gen y de cromosomas debería ser conducido para dar respuesta tanto en los nuevos retos de la biología del siglo XXI como en la reflexión permanente de la dinámica del desarrollo histórico de dichos conceptos.

De igual manera, sería un reto para los profesionales de la docencia en Biología anticiparse a los cambios que deben venir en el

currículo mediante el análisis de los señalamientos que plantean autores como Keller (2005) sobre la nueva era de la Biología para el siglo XXI o era de los sistemas Biológicos.

REFERENCIAS

Andrioli y Mudry, (2005). Proyecto de investigación escolar: La genotoxicidad en los currículos del ciclo de enseñanza media y superior. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales* (45) 55-60

Ausubel, D.(2002). *Adquisición y retención del Conocimiento. Una perspectiva Cognitiva*. Editorial Paidós, Barcelona, Buenos Aires, México

Ausubel, D. (1983). *Psicología educativa. Un punto de vista cognitivo.* Editorial trillas, México

Ayuso, E. y Banet,E. (2002). Conceptos de la herencia Biológica e el aprendizaje de la evolución. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales.* Abril- Junio IX (32) 39-47

Banet, E. y Ayuso, E. (1998), E. La herencia biológica en la educación secundaria: Reflexiones sobre los programas y estrategias de enseñanza. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales.* Abril V (16), 79-84

Banet, E. y Ayuso, E. (2000). Teaching genetic at Secundary Scholl: a strategy of teaching about the localitation of inheritance information.

Banet, E. y Ayuso, E. (2002). Alternativas A la enseñanza de la Genética en Educación secundaria. *Revista Enseñanza de las Ciencias 20 (1)*

Baker y Lawson (2001). *Research on the acquisition of science knowledge Epistemologycal foundations of cognitions*. In D. L. Gabel (ed), Handbook of research on science teaching and learning, N.Y.: Macmillan

Bugallo, R. A. (1995). La didáctica de la genética*. Enseñanza de las ciencias, 13 (3*), 379-385

Bugallo, R. A. (1994). Revisión Bibliográfica de investigaciones sobre genética. *Enseñanza de las ciencias* (12) 3, 150-163

Carrero, Y ; Reyes, L.,(2000). *Robot Genético* . Editorial CENAMEC, Caracas, Venezuela.

Codina, J.(2005) Aprendiendo con Spaiderman. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales.* Julio-Septiembre (45) 111-116

Cohen, Daniel. (2002).*Los genes de la esperanza.* Editorial Trillas, Madrid

Charbell, (2005). Charbel, Niño (2005). *Controversies about the gene concept and its impact on the teaching of genetics.* Atas do V Encontro de Pesquisa em Educação em Ciencias. ENPEC. Brasil

Chinnici, J.; Yue, y Torres, K. (2004). Students as Human Chromosomes, in role Playing Mitosis and meiosis. *The Amerycan Biology Teacher.* Vol 66, 1. 35- 39

Falk, R. (2000). The gene, A concept in Tension, in Beurton, P., Falk y Rheinberger, H-J. *The concept of gene in Development y Evolution*. Cambridge; Cambridge University Press, 317-348

Gagliardi, R. (1986). Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las ciencias* 4 (1) : 30-35

García, C. (1988). De los obstáculos epistemológicos A los conceptos estructurantes: Una aproximación a la enseñanza aprendizaje de la geología. *Enseñanza de las Ciencias* 16 (2) 322-330

Jiménez-Aleixandre, Bugallo, A. y Duschl, F. (2000). La enseñanza de la genética en la escuela segundaria. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias, (2), 3*

Jouve, N.(1995). Desarrollo de la Genética. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales.* Octubre III (10) 69-78

Juárez, M. ; Cháscales, A. y Manresa, A. (2005). Construcción de maquetas de ADN. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales.* Julio, Septiembre (45) 55- 60

Kurvink, K. y Bowser, J.(2004). Genetic Screening. A unique game survival. *The American Biology teachers.* Vol 66. 6. 435-440

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

Pino, I. (2003). La utilización de mapas de conceptos como técnica para identificar atributos de conceptos de ADN y gen aprendidos por los estudiantes de 9 grado de Educación Básica. *Revista de Investigación* (53), 71-90

San Valero, A.C. (1995). El proyecto Genoma Humano, sus implicaciones sociales y la Biología de bachillerato. *Alambique: Enseñanza de las ciencias experimentales* Enero II (3)

Siguenza, A. ; Molina y Agustín, F (2000). Formación de modelos mentales en la resolución de problemas de genética. *Enseñanza de las ciencias* 18 (3) 439-450

Southerland, Abrams, Cummins y Anselmo (2001). Topicos de Biología, Dificultades de aprendizaje. Revista electrónica de enseñanza de las ciencias (4) 2

Stotz Karola, Griffiths Paul y Knight Rob, (2004). *How biologists conceptualize genes: an empirical study***.** Stud. Hist. Phil. Biol. & Biomed. Sci. (35) 647–673.

Stotz, K., Bostanci y Griffths, P. (2004). Tracking the Shift to 'Post genomics'. *Submitted to Community Genetics*

Toledo, M. y Camero , R.E., (2005). Resultados preliminares de la aplicación de la Simulación-Juego (modificada): Sintetiza la Proteína. *Revista de Investigación.* Vol 59. 55-75

Zohar, A. y Nemet, F.,(2002).Students knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in science teachig* Vol 42 1 35-43