

I CONGRESO IBEROAMERICANO DE DOCENTES

CONGRESO VIRTUAL DEL 26 NOVIEMBRE AL 08 DICIEMBRE DE 2018

ALGECIRAS (CÁDIZ) DEL 06 AL 08 DICIEMBRE DE 2018

Actas del Congreso Iberoamericano de Docentes

Ingeniería didáctica, una estrategia metodológica
para la enseñanza de la genética.

Sandra Liliana González Chica

ISBN: 978-84-948417-0-5

Edita **Asociación Formación IB.**

Coordinación editorial: **Joaquín Asenjo Pérez, Óscar Macías Álvarez, Patricia Ávalo Ortega y Yoel Yucra Beisaga**

Año de edición: **2018**

Presidente del Comité Científico: **César Bernal.**

El I Congreso Iberoamericano de Docentes se ha celebrado organizado conjuntamente por la Universidad de Cádiz y la Asociación Formación IB con el apoyo del Ayuntamiento de Algeciras y la Asociación Diverciencia entre otras instituciones.

<http://congreso.formacionib.org>



red
iberoamericana
de docentes



formaciónib))

Ingeniería didáctica, una estrategia metodológica para la enseñanza de la genética.

Sandra Liliana González Chica
sandragonalezch@gmail.com

Resumen— La ingeniería didáctica como estrategia metodológica, para mejorar el nivel de la competencia uso comprensivo del conocimiento científico. Surge por la necesidad de que los jóvenes de grado noveno de la Institución Educativa Francisco José de Caldas, de Santa Rosa de Cabal, mejoren sus niveles de desempeño, se dividió en:

Análisis preliminar: Recorrido epistemológico frente a la construcción de los conceptos sobre los ácidos nucleicos, las características de la población estudiantil, ideas previas, obstáculos en la enseñanza - aprendizaje.

Análisis a priori: Selección de la variable principal.

Experimentación: Aplicación de una secuencia didáctica con contenidos conceptuales, con un diseño que contiene por actividad: objetivo, tiempo, recursos didácticos, producción y evaluación.

Análisis a posteriori: Comparación de los resultados pretest y postest, medibles por el porcentaje de acierto, los procesos de argumentación, mejoramiento en el uso de los conceptos y efectividad en la solución de problemas que están en la secuencia didáctica.

Palabras clave— Genética, ingeniería didáctica, secuencia didáctica, uso comprensivo del conocimiento científico

Abstract— Didactic engineering, a methodological strategy for the teaching of genetics.

Didactic engineering as methodological strategy, to improve the level of competence comprehensive use of scientific knowledge. It arises from the need for the ninth grade youth of the Educational Institution Francisco José de Caldas, Santa Rosa de Cabal, to improve their performance levels, was divided into:

Preliminary analysis: Epistemological course against the construction of concepts on nucleic acids, the characteristics of the student population, previous ideas, obstacles in teaching - learning.

A priori analysis: Selection of the main variable.

Experimentation: Application of a didactic sequence with conceptual contents, with a design that contains by activity: objective, time, didactic resources, production and evaluation.

A posteriori analysis: Comparison of the pretest and posttest results, measurable by the percentage of success, the processes of argumentation, improvement in the use of the concepts and effectiveness in the solution of problems that are in the didactic sequence.

Descriptors— Comprehensive use of scientific knowledge, didactic engineering, didactic sequence, genetic.

I. INTRODUCCIÓN

Nos enfrentamos a un mundo cambiante, cada vez más globalizado, en el que se debe repensar el modelo de enseñanza y aprendizaje; los jóvenes de ahora requieren de una educación mucho más activa que les ayude a formarse en competencias y habilidades para poderse desempeñar mejor en la sociedad; los adelantos científicos y tecnológicos, son publicados día a día, por lo tanto, el uso comprensivo de éste conocimiento científico, comienza a ser una necesidad.

El concepto de ingeniería didáctica surge cuando el docente realiza una labor comparable a la de un ingeniero; el objetivo de ésta metodología es conseguir que un conocimiento específico sea asimilado por los educandos de manera significativa. El presente trabajo reviste una gran importancia, ya que permitió demostrar que ésta estrategia metodológica, muy utilizada en el campo de las matemáticas, también resulta ser muy efectiva cuando se siguen sus pasos y se pone a prueba en otras áreas del conocimiento, en este caso, en las ciencias naturales.

II. METODOLOGÍA

La metodología utilizada es la Ingeniería Didáctica, concepto que surgió en la didáctica de las matemáticas a comienzos de los años ochenta. Se denominó con éste término a una labor equiparable con el trabajo del ingeniero, quien, para realizar un proyecto determinado, se basa en los conocimientos científicos de su dominio y acepta someterse a un control de tipo científico Artigue [1]. Aunque esta metodología surgió en el ámbito de la didáctica de las matemáticas como necesidad de que las investigaciones educativas fueran significativas para la enseñanza y el aprendizaje, puede extenderse a otras áreas; Delia Lerner [2] ha presentado consideraciones para el caso de la didáctica de la lengua, apoyándose en los trabajos de Brousseau y Chevallard.

Brousseau [3] propone realizar un “estudio epistemológico” del concepto dentro de la estructura de la teoría actual, además de sus condiciones históricas y culturales y también el análisis didáctico de cómo ha sido su enseñanza, lo cual es muy importante para que el docente pueda realizar la trasposición de éste conocimiento y pueda acercarlo de una forma más fácil a los estudiantes por medio de la ejecución de las actividades encaminadas a lograr el aprendizaje de los educandos, en la tabla I se presenta un resumen de la revisión frente al análisis epistemológico.

TABLA I EVOLUCIÓN DE LOS CONCEPTOS EN GENÉTICA

Autores – año	Hitos en la genética
Gregor Mendel (1865)	Presentó ante la Sociedad para el Estudio de las Ciencias Naturales, de Brünn, los resultados de sus estudios en Guisantes.
Friederich Miescher (1869)	Aisló por primera vez del núcleo celular de las células de pus una sustancia de carácter ácido, al que denominó nucleína.
Walter Flemming (1879)	Identificó la cromatina; después de 1888, estos fragmentos pasaron a denominarse cromosomas.
Hugo De Vries, Carl Correns y Erich Tchermak Von Seysenegg (1900).	Redescubren las Leyes de Mendel y le dan el crédito correspondiente
Theodor Boveri y Walter Sutton(1902)	Exponen de manera independientemente la teoría cromosómica de la herencia.
William Bateson (1906)	Propuso la palabra <i>Genética</i> para bautizar a la ciencia emergente del árbol frondoso que es la biología.
Correns (1909).	Propuso explícitamente una unidad hereditaria para cada carácter.
Wilhelm Johannsen (1909)	Presentó la palabra genes para designar a los factores hereditarios de Mendel e introdujo el concepto “fenotipo”
Phoebus Aaron Levene (1909)	Demostró la existencia de la ribosa
Thomas Hunt Morgan (1915)	Consigue que la teoría cromosómica fuera universalmente aceptada.
Frederick Griffith (1928)	Demostró por primera vez que el ADN es el material de la herencia.
Levene (1929)	Consideraba para el ADN, la unidad denominada nucleótido.
Erwin Chargaff (1949)	Analizó las bases nitrogenadas concluyendo que la proporción era igual en todas las células de los individuos de una especie dada, pero variaba de una especie a otra.
Alfred Hershey y Martha Chase (1952)	Demostraron de manera irrefutable que el ADN era la molécula portadora de la información genética.
Rosalind Franklin y	Fotografiaron el ADN mediante la técnica de difracción de

Maurice Wilkins (1952)	rayos X
James Watson y Francis Crick (1953)	Presentaron su hallazgo de la estructura molecular en forma de doble hélice del ADN, la cual respondía a plenitud las leyes de la estereoquímica, estaba representada la molécula portadora del programa genético de los organismos vivos, acababan de descubrir “El secreto de la vida”.
Matthew Menselson y Franklin Stahl (1958)	Demostraron la naturaleza semiconservativa de la replicación del ADN.

Construcción propia, a partir de Guevara, G [4] y Griffiths [5]

Es importante saber qué contenido se va a enseñar y cuál ha sido el desarrollo histórico de éste; también, e incluso más importante, conocer las características de los sujetos a quienes se va a enseñar a la luz de las diferentes teorías sobre su desarrollo cognitivo y el análisis de los contextos a los que pertenecen estos individuos.

Dos ideas importantes de las teorías de Piaget [6] son las siguientes:

- La interacción con el medio ambiente hace que las personas se desarrollen y adquieran estructuras de pensamiento cada vez más sofisticadas
- La inteligencia es la capacidad que le permite al ser humano adaptarse al medio

Lo expuesto anteriormente es una evidencia de la importancia de la influencia social, el propio sistema educativo, la interacción entre pares, que puede obstaculizar o catapultar las capacidades de los adolescentes; por esto, aunque los diferentes niveles de la educación se organicen con estudiantes que oscilan entre las mismas edades, el ritmo de aprendizaje en cada uno de ellos es diferente; mientras algunos asimilan los problemas abstractos que ofrece la ciencia sin ninguna dificultad, otros por el contrario, se encuentran con callejones sin salida, lo que hace necesario el planteamiento de diversas actividades de manera que se apunte a las diferentes capacidades de los individuos.

Limón y Carretero [7], sintetizan cuatro tipos de habilidades a desarrollar en los adolescentes durante el curso de la enseñanza obligatoria y que deberían concretarse en programas de instrucción con actividades específicas en cada materia o asignatura (Estrategias de aprendizaje, habilidades de razonamiento, de resolución de problemas y metacognitivas).

Para el presente estudio se decidió trabajar como eje principal la genética, ya que éste ha sido el pilar de los principales avances en la biología; es una temática de difícil comprensión por el alumnado; además, está definido en los estándares básicos de competencias, en los derechos básicos de aprendizaje para el grado noveno.

Stewart y Kirk, [8] Garvin y Stefani, [9], expresan que la genética es uno de los temas más tratados en la didáctica de la biología debido a su importancia, ya que es un área de rápida expansión con importantes implicaciones económicas, éticas y sociales en general.

Teniendo en cuenta los obstáculos en el aprendizaje de la genética, el diagnóstico de la población estudiantil y selección de competencia a reforzar, se identificaron las necesidades a nivel teórico para su enseñanza y los requerimientos didácticos para el desarrollo de la competencia uso comprensivo del conocimiento científico.

A. Población y muestra

Con el fin de avalar la ingeniería didáctica como estrategia metodológica, en ciencias naturales, se aplicó a un grupo mixto de 39 estudiantes de grado noveno de la Institución Educativa Francisco José de Caldas de Santa Rosa de Cabal (Risaralda), cuyas edades están entre los 14 y 15 años y pertenecen en su mayoría a estratos socioeconómicos 1 y 2.

B. Instrumento

La experimentación es una de las fases contempladas por la ingeniería didáctica y se caracteriza por la sistematización de la información recolectada durante el proceso, materiales y recursos necesarios para la investigación.

Piaget afirma que nuestros conocimientos no provienen ni de la sensación ni de la percepción, sino de la totalidad de la acción, lo que implica que el conocimiento no se recibe en forma pasiva, sino que se construye a partir de la suma de acciones Camejo [10]. El enunciado anterior nos invita a plantear el desarrollo de una secuencia didáctica a la luz del constructivismo, para que el estudiante alcance cierto grado de competencia en el uso comprensivo del conocimiento científico.

Para la ejecución de la temática y el alcance de los objetivos planteados en esta investigación se optó por crear dos secuencias didácticas para abordar temas claves en la genética como son: características de los ácidos nucleicos y Leyes de Mendel. Atendiendo al proceso contemplado en la ingeniería didáctica, definiremos conceptualmente que es una secuencia didáctica.

La secuencia didáctica permite la programación sistematizada de contenidos conceptuales y procedimentales. A continuación se esbozan las siguientes características más importantes de esta estrategia, planteadas por Martín [11]:

1. Ciclo de enseñanza y aprendizaje orientado a una finalidad y articulado en forma de secuencia temporal

2. Los objetivos son concretos, limitados y compartidos con el alumnado
3. Los procedimientos se centran en la reflexión sobre el uso y la aplicabilidad de los contenidos
4. Incorpora las cuatro habilidades lingüísticas (hablar, escuchar, leer y escribir)
5. Las actividades se planifican desde una perspectiva bilateral: la función del emisor y la de los receptores
6. Integra los distintos tipos de evaluación: inicial, formativa y sumativa
7. Tiene una duración de 6 a 10 horas de clase

Camps, citado por Vilá I Santasusana, Ballesteros, Castellá, Cros, Grau y Palau [12], describen la secuencia didáctica en tres etapas básicas:

- **La preparación**, Contempla el diseño de los objetivos que responden a las dificultades diagnosticadas en cuanto a los contenidos y requerimientos didácticos, se establecen los recursos y el tiempo necesario para la realización de la actividad.
- **La producción**, permite al sujeto la integración de la teoría y la práctica, pues deberá emplear los conocimientos construidos en las prácticas u otras actividades
- **La evaluación**, permite la sistematización de la experiencia y la autoevaluación de los logros alcanzados. Esta fase es sumamente valiosa, ya que permite determinar las debilidades y fortalezas suscitadas en el proceso de aprendizaje

La secuencia didáctica permitirá al docente graduar los objetivos, integrar la teoría y la práctica; la evaluación se ejecuta durante todo el proceso y admite la realización de ajustes a las actividades para propiciar mejores aprendizajes.

C. Procedimiento de recolección y análisis de datos

Se elaboró un cuestionario que contenía preguntas de selección múltiple con única respuesta tipo I, las cuales se desarrollan en torno a una idea o un problema y constan de un enunciado y cuatro opciones de respuesta, enfocadas en la evaluación de la competencia, uso comprensivo del conocimiento científico, relacionadas con los contenidos en genética; éstas preguntas normalmente son utilizadas en las pruebas nacionales estatales (saber noveno) e internacionales (PISA), para medir el desempeño de los jóvenes alrededor de los 15 años.

Las preguntas fueron diseñadas en un formulario de google drive; los estudiantes lo resolvieron *on line*, antes de ejecutar la secuencia didáctica, que se convirtió en el instrumento en la fase de experimentación contemplada por la ingeniería didáctica, posteriormente, se ejecutó la estrategia didáctica que tenía por objetivo superar en los estudiantes las dificultades observadas en el pretest; adicionalmente, se pudo analizar la evaluación de cada una de las actividades para realizar realimentación y análisis frente al alcance de los objetivos propuestos.

El pretest ejecutado contenía 10 preguntas para evaluar los conocimientos previos sobre las características de los ácidos nucleicos y las Leyes de Mendel; luego se aplicó el

mismo cuestionario en forma de postest para analizar la efectividad de la estrategia metodológica y las herramientas didácticas empleadas, con el fin de mejorar el nivel de la competencia uso comprensivo del conocimiento científico.

III. RESULTADOS

Como última fase de la ingeniería didáctica, se realiza el análisis a posteriori, el cual se identifica por la comparación a nivel teórico de los resultados que se esperan en los estudiantes, con los obtenidos durante la investigación.

La fig.1 reúne los resultados del pretest y el postest, además permite visualizar los cambios en las respuestas de los estudiantes en la temática ácidos nucleicos, las preguntas se hallan en <http://goo.gl/forms/EOQm7tUEQbNZlhGY2>

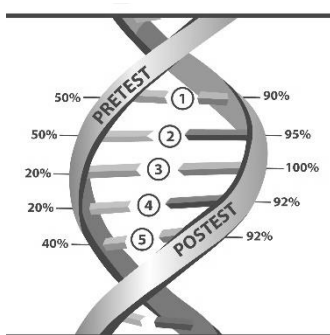


Fig 1. Resultados de cada opción de respuesta en el pretest y postest por pregunta, en la temática ácidos nucleicos.

El pretest mostró que aproximadamente la mitad de los estudiantes estaban en la capacidad de interpretar literalmente esquemas y relacionarlos con sus conocimientos previos sobre las características principales de los ácidos nucleicos (estructura, localización a nivel celular y composición química); el resto de los estudiantes no tienen claros conceptos como: nucleótido, base nitrogenada, aminoácido, proteína, ATP, ADP.

Por ser un tema anteriormente desarrollado, los estudiantes recurren a la memoria, aunque les falta realizar mayor relación entre los conceptos; la terminología no es de fácil manejo para ellos, por lo tanto, la metodología debe permitir que se den esas asociaciones mentales por parte de los jóvenes y así mejorar sus niveles de comprensión.

La aplicación de la secuencia didáctica busca que el estudiante, reconozca la importancia del modelo de la doble hélice para la explicación del almacenamiento y transmisión del material hereditario, además de esto, también pretende desarrollar sus competencias ciudadanas al usar la libertad de expresión y respetar las opiniones ajenas, cumplir su función cuando trabaja en grupo y respetar las funciones de las

demás personas. La secuencia didáctica sobre la estructura de los ácidos nucleicos, se dividió en diagnóstico, experimentación y modelado, ésta puede visualizarse a través de:

<https://issuu.com/sandragonzalez9778/docs/secuencia-acidos-nucleicos>

El diagnóstico inició con el establecimiento del contrato didáctico, con él se logró comprometer a los estudiantes con su propio proceso de aprendizaje; además, permitió una escucha activa de las normas que ellos planteaban y se estableció un proceso de negociación y pensamiento crítico frente a lo que se requiere por parte de los jóvenes y del docente para que el proceso de enseñanza aprendizaje funcione adecuadamente, siguiendo los cuatro principios planteados por García y Fortea [13]:

1. El mutuo consentimiento, porque es un acuerdo de voluntades para que se inicie el proceso
2. Aceptación positiva del estudiante
3. Negociación de los distintos elementos
4. Compromiso por parte del docente y del estudiante para cumplirlo.

Esta actividad involucró de manera muy positiva a los estudiantes, haciéndoles partícipes del proceso en el cual ellos mismos establecieron acuerdos de convivencia.

El conocimiento en genética no ha evolucionado de manera secuencial; de hecho, Mendel hizo primero sus descubrimientos, antes de que se pudiera dilucidar la estructura del ADN; el docente debe realizar el proceso de institucionalización, que consiste precisamente en convertir el saber sabio, en un saber de fácil comprensión por el estudiantado y con el fin de lograr esta comprensión sobre la ubicación de los ácidos nucleicos a nivel celular, se realizó una práctica de laboratorio de aislamiento del ADN de hojas de espinaca con materiales caseros, por medio de una serie de preguntas orientadoras y el conocimiento de la función que cumplía cada material en el proceso práctico.

Con el objetivo que los jóvenes reconocieran las diferentes partes que componen la estructura de los ácidos nucleicos y sus características, se realizó una actividad de modelado, rescatando lo que indican Limón y Carretero, sobre las habilidades de razonamiento que deben desarrollar los adolescentes; a partir de una parte de la secuencia del gen normal de la hemoglobina y del gen mutado causante de la anemia falciforme, se llevó a realizar un razonamiento inductivo, deductivo y analógico sobre las diferencias estructurales entre el ADN y el ARN, junto con la capacidad de argumentación para explicar las diferencias entre la cadena normal y la mutada del gen.

Al final de este proceso y con la solución del postest, se pasó a un nivel de eficiencia en las respuestas de las preguntas entre un 87% y 100%, los cuales son resultados

significativos teniendo en cuenta que inicialmente las respuestas estaban muy dispersas y el nivel de acierto llegó máximo al 50%. Estos resultados, ayudan a reforzar la teoría de Ferraz y Terrazan [14], sobre la eficiencia del uso de modelos para mejorar el aprendizaje frente a la utilización de solo textos, también se potencian las habilidades que involucran la motricidad fina y gruesa de los jóvenes.

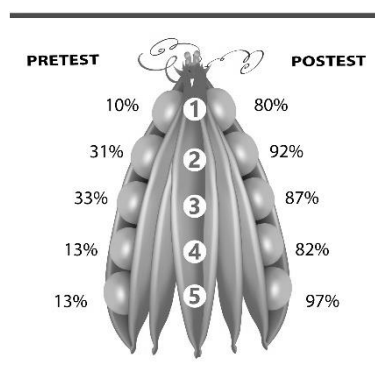


Fig 2. Resultados de cada opción de respuesta en el pretest y postest por pregunta en la temática, Leyes de Mendel.

Con la elaboración del pretest, resultados que se observan en la fig 2, se evidenció que los estudiantes presentaban muchos vacíos conceptuales relacionados con la distinción del fenotipo, genotipo, la representación del heterocigoto, la diferenciación de las Leyes de Mendel y la aplicabilidad de cada una de éstas. Las preguntas aplicadas de encuentran en: <https://goo.gl/forms/1NgTtaP4QcWmzTS53>

Aunque se esté diciendo lo mismo pero se realice un cambio en el lenguaje matemático de la probabilidad a las proporciones, los estudiantes se confunden ya que no tienen una buena fundamentación en esta área.

La interpretación inadecuada de los problemas planteados es un obstáculo importante para el aprendizaje de las leyes de Mendel, ya que si el estudiante no entiende que le están preguntando, difícilmente podrá encontrar la respuesta correcta.

Uno de los trabajos sobre genética es el análisis de las concepciones previas de los estudiantes de secundaria sobre la evolución y la herencia, estudio realizado por Deadman y Kelly [15]. Ambos investigadores indicaron que la inapropiada comprensión de la probabilidad y la ausencia de un concepto simplificado de la herencia mendeliana, que actuaban como inclusores, eran algunos de los mayores obstáculos para el desarrollo de conceptos más elaborados.

Algunas de las principales fuentes de concepciones alternativas y de dificultades para el aprendizaje de la genética identificadas en algunas investigaciones son:

A diferencia de otras áreas de la biología, la enseñanza de la genética requiere un nivel mayor de matemáticas y de capacidad analítica, sobre todo para la resolución de problemas Radford y Bird-Stewart [16].

Los estudiantes pueden llegar a resolver con éxito los problemas, pero sin encajar el algoritmo en el contexto del proceso genético Stewart [17].

Una fuente adicional de dificultades viene derivada del trabajo práctico en genética. Los experimentos clásicos necesitan semanas o meses para realizarse, lo que resulta incompatible con el ritmo escolar Beals [18].

Todas las dificultades identificadas con la realización del pretest y su revisión teórica frente a las investigaciones respectivas, sirvieron como base para construir y ejecutar la segunda secuencia didáctica sobre las leyes de Mendel, la cual puede consultarse a través de:

<http://issuu.com/sandragonzalez9778/docs/secuencia-leyes-de-mendel>, la cual se inició con una actividad sobre el concepto de probabilidad, seguido de la elaboración de un mapa conceptual para que el estudiante conectara los diferentes conceptos dándole sentido a los mismos; ello produjo un resultado considerable en las respuestas correctas del postest, incrementándose el porcentaje de acierto en más de un 60%.

CONCLUSIONES

Comienzo éste apartado con la siguiente frase *“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad”*, escrita por Albert Einstein. Para obtener buenos resultados en los procesos educativos, solo hacen falta voluntades; del docente para querer innovar e involucrarse en la investigación en el aula, de los estudiantes para participar y dar todo de sí, demostrando las grandes capacidades que tienen.

La ingeniería didáctica es una excelente estrategia metodológica, debido a que tiene unas fases claras para establecer un derrotero de trabajo y permite reflexionar continuamente sobre el proceso que se está realizando, logrando realizar ajustes, y con ello, conseguir mejores resultados.

Los jóvenes necesitan que les impongan retos, por lo tanto, se deben buscar métodos de enseñanza más eficientes que los modelos tradicionales; el constructivismo es una opción, ya que con la elaboración de las secuencias didácticas, el estudiante participa activamente desde el establecimiento del contrato didáctico, hasta la realización de las actividades en las cuales conocían de antemano los objetivos que se pretendían

alcanzar; el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), además, los motiva, ya que son herramientas que no solo les van a ser de utilidad en el aprendizaje de una sola área, si no que les ayuda a adquirir competencias para la vida y el adecuado uso de la información.

Los laboratorios virtuales resultan ser, en algunos casos, mucho más eficientes que los reales, sobre todo porque economizan tiempo y recursos, aunque no se deben sustituir del todo las prácticas, debido a que el estudiante también debe manipular algunos elementos, enfrentarse a ciertas situaciones, observar directamente fenómenos que son sencillos y a la vez replicables.

Se cumplieron los objetivos propuestos al incrementar considerablemente los niveles de la competencia uso comprensivo del conocimiento científico, en los estudiantes de grado noveno de la Institución Educativa Francisco José de Caldas; ésta competencia es fundamental, ya que les permite solucionar problemas, comprender la información de tipo científico, mejorar sus procesos de argumentación y comunicación de la información, evaluar continuamente sus aprendizajes y reflexionar sobre ellos empleando la metacognición.

REFERENCIAS

- [1] Artigue, M. (1995). Ingeniería didáctica. En M. Artigue, R., Douady, L., Moreno y Gómez, P. Ingeniería didáctica en la educación Matemática. "Una empresa docente". México: Grupo Editorial Iberoamérica S.A, pp 33-59.
- [2] Lerner, D. (2001). Leer y escribir en la escuela, lo real, lo posible y lo necesario. Argentina. Secretaría de Educación Pública. Fondo de Cultura Económica. (p.9)
- [3] Brousseau, G. (1986); La theorisation des phenomenes d`enseignement des Mathematiques, tesis, Burdeos.
- [4] Guevara, G (2004). ADN: Historia de un éxito científico. Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia. Bogotá: Universidad El Bosque (Vol 3, pp. 9-40).
- [5] Griffiths, A (2008). Genética. Mc Graw – Hill. Interamericana de España. (p 68).
- [6] Piaget, J. (1970). La evolución intelectual entre la adolescencia y la edad adulta. Lecturas de Psicología del niño. Madrid: Alianza (pp. 208-213)
- [7] Limón, M. & Carretero, M. (1995). Aspectos evolutivos y cognitivos. Monográfico sobre la Enseñanza Secundaria Obligatoria. Cuadernos de Pedagogía, 238, pp. 39-41.
- [8] Stewart, J.H. y Van Kirk, J., (1990). Understanding and problem-solving in classical genetics, International Journal of Science Education, 12(5), pp. 575-588.
- [9] Garvin, W. y Stefani, L. (1993). Genetics-genetic disorder and diagnosis: a role-play exercise. Journal of Biological Education, Vol. 27 (1), pp. 51-57.

- [10] Camejo, A (2006); "La epistemología constructivista en el contexto de la post-modernidad" "Constructivist epistemology in the context of post-modernity"
- [11] Martín Vegas, R. (2009). Manual de Didáctica de la Lengua y literatura. Madrid: Síntesis. (p.120)
- [12] Vilá i Santasusana, M; Ballesteros, C; Castellá, M; Cros, A; Grau, M y Palou J. (2005). El discurso oral formal. Barcelona: GRAÓ (p122).
- [13] Garcia B y Fortea B (2006).Ficha metodológica coordinada por Universitat Jaume I.
- [14] Ferraz, D.F y Terrazan, E.A. (2003). Uso espontâneo de analogias por professores de biologia e o uso sistematizado de analogias: Que relação? Ciência e Educação, 9, 213-227.
- [15] Deadman, J. y Kelly, P., (1978), What secondary boys understand about evolution, and heredity before they are taught the topics. J. Biol. Education, 12, 7-15.
- [16] Radford, A. y Bird-Stewart, J.A. (1982). Teaching genetics in schools. Journal of Biological Education, Vol. 16 (3), pp. 177-180.
- [17] Stewart, J. (1983). Student problem solving in high school genetics. Science Education, Vol. 67, pp. 523-540.
- [18] Beals, J.K. (1995). Creative genetics. A lab for all seasons. Journal of College Science Teaching, Vol. 24 (3), pp. 183-185.