



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

“EL CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO DE LA
BIOTECNOLOGÍA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA
SUPERIOR REPRESENTADO A TRAVÉS DEL PERFIL
CONCEPTUAL DE MORTIMER”.

EL CASO DE PROFESORES DE LOS NIVELES DE
BACHILLERATO Y UNIVERSITARIO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN PEDAGOGÍA

PRESENTA:

PATRICIA VELÁZQUEZ GÓMEZ

TUTOR:

DR. ANDONI GARRITZ RUIZ



MÉXICO, D. F.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A quien me dio la capacidad de
existir y razonar*

*A David y Bruno porque con
su amor, su sostén, sus atenciones
y sobre todo con sus sonrisas, le
dan plenitud a mi vida*

*A mis padres, Aurora y
Vidal por su eterno cariño*

*A mis hermanas y hermanos
por su ayuda, sus consejos y su
cariño de siempre*

*Al Dr. Andoni por su
constante apoyo y atención, pero
ante todo por su confianza*

Un camino hacia si mismo

No soy un hombre que sabe. He sido un hombre que busca y lo soy aún, pero no busco ya en las estrellas ni en los libros; comienzo a escuchar las enseñanzas que mi sangre murmura en mí. Mi historia no es agradable, no es suave y armoniosa como las historias inventadas; sabe a insensatez y a confusión, a locura y a sueño, como la vida de todos los hombres que no quieren mentirse más así mismos.

La vida de todo hombre es un camino hacia sí mismo, la tentativa de un camino, la huella de un sendero. Ningún hombre ha sido nunca por completo él mismo; pero todos aspiran a llegar a serlo, oscuramente unos, más claramente otros, cada uno como puede. Cada uno es un impulso de la naturaleza hacia el hombre.

Podemos comprendernos unos a otros, pero sólo a sí mismo puede interpretarse cada uno.

Hermann Hesse

AGRADECIMIENTOS

Por medio de este trabajo quiero manifestar mi más sincero agradecimiento:

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Filosofía y Letras, por darme la oportunidad de pertenecer a estas grandes instituciones.

Al Dr. Andoni Garritz Ruiz, a quien presento mi admiración y mi respeto, y le agradezco el haberme brindado la oportunidad de estar bajo su dirección en la elaboración de este trabajo.

A todos los académicos que me apoyaron en la resolución de los cuestionarios de representación del contenido (CoRe), por el tiempo, la paciencia y el esfuerzo que esto les demando.

A la Facultad de Química y al CCH Azcapotzalco por su valiosa cooperación.

A los sinodales de este trabajo: Dra. Martha Corenstein, Dra. Leticia Gallegos, Dr. Plinio Sosa y Dr. Rogelio Rodríguez, quines con sus oportunas observaciones enriquecieron el mismo.

A todas las personas que de alguna u otra forma colaboraron e influyeron en esta tesis.

Índice de contenido

INTRODUCCIÓN.....	vii
CAPÍTULO 1	1
El Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC)	1
Introducción.....	1
Conociendo un poco del creador del CPC, Lee S. Shulman	2
Origen del Conocimiento pedagógico del contenido	4
Nacimiento y devenir del “Conocimiento pedagógico del contenido”	10
El conocimiento pedagógico del contenido en la enseñanza de la ciencia.....	13
El conocimiento pedagógico del contenido en la enseñanza de la química	16
CAPÍTULO 2	22
Del cambio conceptual al cambio del perfil conceptual.....	22
Introducción.....	22
La década del cambio conceptual.....	22
El cambio conceptual como evolución conceptual.....	25
La noción de perfil conceptual	29
CAPÍTULO 3	36
Biotecnología.....	36
Introducción.....	36
Del DNA a la biotecnología moderna. Un breve análisis histórico.....	39
Estructura y función del DNA	41
¿Cómo se interpretan las instrucciones escritas en el DNA?	45
La transcripción	46
La síntesis de proteínas.....	48
¿Qué son las mutaciones?.....	52
De los genes a la ingeniería genética.....	53
Herramientas de la tecnología basada en el DNA	54
Técnicas de Ingeniería Genética o del DNA Recombinante	58
La biotecnología en la educación	60
Introducción.....	60
Limitaciones en la enseñanza de la biotecnología.....	62
Recomendaciones para la enseñanza de la biotecnología	63
Modelos en la enseñanza de la biotecnología.....	64
Implicaciones de los modelos en la enseñanza.....	66
Sugerencias para promover la comprensión de la biotecnología en el público europeo	66
CAPÍTULO 4	70
Metodología.....	70
Introducción.....	70
CoRe y PaP-eRs acercamientos para capturar el CPC	71
Integración de las ideas principales de las CoRe.....	75
Clasificación de las frases expresadas en las CoRe conforme a los perfiles conceptuales de Mortimer	75
CAPÍTULO 5	77
Resultados.....	77
Obtención de datos	77

Análisis de datos.....	80
Zona perceptiva/intuitiva.....	81
Zona contextual	81
Zona empírica.....	81
Zona racionalista	81
Profesora 1	82
Profesora 2.....	84
Profesora 3.....	86
Profesora 4.....	89
Gráficas de perfil conceptual de las cuatro profesoras	91
CAPÍTULO 6	93
Conclusiones.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
ANEXOS	106
ANEXO 1. CoRe de la Profesora 1	107
ANEXO 2. CoRe de la Profesora 2	113
ANEXO 3. CoRe de la Profesora 3	115
ANEXO 4. CoRe de la Profesora 4	118
ANEXO 5. Análisis de las frases clasificables dentro de alguna zona del perfil conceptual de la profesora 1	124
ANEXO 6. Análisis de las frases clasificables dentro de alguna zona del perfil conceptual de la profesora 2.	126
ANEXO 7. Análisis de las frases clasificables dentro de alguna zona del perfil conceptual de la profesora 3.	128
ANEXO 8. Análisis de las frases clasificables dentro de alguna zona del perfil conceptual de la profesora 4.	130
ANEXO 9. Glosario de abreviaturas	135

INTRODUCCIÓN

En esta tesis hemos seguido una metodología mixta para obtener y caracterizar el “Conocimiento Pedagógico del Contenido” (CPC) de profesores de diferentes niveles con relación al tema de la biotecnología. Para lograrlo, hemos combinado dos métodos de investigación, el de la “Representación del Contenido” (CoRe) de Loughran *et al* (2004). —que nos ha sido útil para documentar el CPC de cuatro profesores (dos del bachillerato y dos del nivel superior)— y el del modelo de “perfil conceptual” (PC) de Mortimer (1995) —que nos ayudó a clasificar, construir y representar los compromisos de la forma de pensar de los profesores, por medio de sus PC.

Se trabajaron cuatro zonas del perfil conceptual —cada zona sucesiva es caracterizada por tener categorías con un poder explicativo mayor que sus precedentes: perceptiva/intuitiva, contextual, empírica y racionalista. Los resultados indican que los cuatro profesores usan en mayor o menor escala las cuatro zonas, aunque hay algunos profesores en los que destaca la zona perceptiva, en algún otro la contextual y en otros la racionalista. No resulta sorprendente, por lo tanto, que los cuatro profesores manejen la zona racionalista en un alto porcentaje, dado que es la más cercana a la concepción científica de la biotecnología. Resulta evidente que el PC es influido por los antecedentes pedagógicos y profesionales del profesor, el desarrollo de sus aspectos culturales y depende del contexto. Entonces, la experiencia de cada profesor, le indica en qué zona procura trabajar más, para lograr el interés de sus alumnos.

De los resultados de este trabajo se obtuvieron las ideas principales que deben formar parte del tema de la biotecnología en su enseñanza en el bachillerato, así como recomendaciones para su enseñanza en este mismo nivel. Puede decirse que la mayor aportación de esta investigación es que abre una brecha en la investigación educativa para lograr el análisis del CPC a través de los perfiles conceptuales de Mortimer.

Esta tesis se forma de cinco capítulos. El primero de ellos trata sobre el conocimiento pedagógico del contenido; en éste se describe esta categoría de investigación educativa desde sus orígenes hasta la forma como es concebida por diferentes autores. Se hace énfasis de su papel en la enseñanza de la ciencia, particularmente en el ámbito de la química. El capítulo cierra con la presentación del creador del CPC, Lee S. Shulman.

El capítulo dos habla sobre la metodología que usamos en esta investigación, la cual se basa en una propuesta de Loughram *et al*. Se describen las herramientas que estos autores proponen para capturar el CPC de un profesor: representación del contenido (CoRe) y repertorios de la experiencia pedagógica y profesional (PaP-eRs).

El tema de la biotecnología, el contenido sobre el que atiende esta tesis del conocimiento pedagógico del **contenido**, ocupa el capítulo tres. Este tema se aborda en dos vertientes: desde el aspecto disciplinario y desde el ámbito de la educación. En el primero se trata de situar al lector sobre los orígenes de la biotecnología y los aspectos disciplinarios que tienen que ver con ella para su entendimiento. El segundo nos refiere sobre las limitaciones,

las recomendaciones y los modelos que se han utilizado en su enseñanza, así como otros aspectos que influyen en ella.

El capítulo cuatro se titula “Del cambio conceptual al cambio del perfil conceptual” y, como su título lo indica, trata de describir cómo se ha ido transformando la idea de cambio conceptual hasta llegar al término de “cambio del perfil conceptual”, que es el utilizado en este trabajo y, por consiguiente, en este capítulo se trata de explicar este término a mayor detalle.

El capítulo cinco corresponde a los resultados obtenidos en esta investigación. En éste se presentan las cinco ideas centrales que forman parte del CPC, se describen a los académicos que participaron en la resolución de los CoRe, se definen las zonas del perfil que se lograron categorizar y se presenta el análisis de los CoRe visto desde estas zonas.

Finalmente, se concluye sobre la investigación en el capítulo 6.

CAPÍTULO 1

El Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC)

Introducción

Los resultados de la investigación educativa desarrollada en los últimos treinta años han transformado nuestras concepciones más elementales sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje. Las teorías constructivistas del aprendizaje, que enfatizan el rol central de los alumnos en la construcción del conocimiento en el aula, se han convertido en el paradigma dominante (Jenkins, 2000; Gil-Pérez *et al.*, 2002) y su influencia se ha extendido al proceso mismo de formación del profesorado. Los planteamientos constructivistas no sólo han puesto en la mesa del debate el qué deben saber y saber hacer los profesores de ciencia (Brooks, 1999), sino también el cómo crear las condiciones para preparar buenos docentes (Richardson, 1997).

La distinción tradicional entre conocimiento de la disciplina y conocimiento pedagógico ha sido una de las características distintivas de los programas de formación docente de la última centuria (Galluzzo y Craig, 1990; Ball, 2000.) La mayoría de los maestros de ciencia han adquirido los conocimientos básicos de su materia en cursos con contenido meramente disciplinario, en tanto que, su preparación pedagógica es resultado de su participación en cursos de educación con carácter general. Gran parte del debate en el área de formación docente ha estado marcado por la clara distinción entre estos dos mundos aparentemente desconectados (Shulman, 1986.) Así, por un lado, hay quienes hacen énfasis en la necesidad de fortalecer la formación científica del profesorado a través de cursos que mejoren su comprensión de los conceptos y teorías científicas y de la filosofía e historia de las ciencias. Por otro, hay quienes abogan por una mejor preparación pedagógica que incluya conocimientos sobre métodos adecuados de diseño curricular, enseñanza y evaluación. Por supuesto, hay los que sostienen que lo que se requiere es fortalecer ambas áreas.

Sin embargo, los resultados de la investigación reciente sobre aprendizaje de las ciencias han comenzado a borrar la frontera entre el conocimiento disciplinario y el conocimiento pedagógico que caracteriza al buen docente (Gabel, 1994). Por ejemplo, hoy día contamos con información específica sobre las ideas previas, teorías intuitivas y dificultades conceptuales de los alumnos en una gran variedad de áreas de la ciencia y tenemos una idea más clara de su influencia sobre el aprendizaje (Wandersee *et al.*, 1994; Carretero, 1998; Pozo y Gómez Crespo, 1998). Resultados como éstos hacen pensar que la habilidad de un docente para crear condiciones que faciliten el aprendizaje no sólo depende de sus conocimientos sobre el tema o sobre variados métodos de enseñanza; su éxito parece depender de su habilidad para transformar el conocimiento disciplinario que posee, en formas que resulten significativas para sus estudiantes. Esta transformación pedagógica del conocimiento científico requiere que el docente domine la materia, pero con propósitos de

enseñarla. Esta “recreación” del contenido demanda, entre otras cosas, que el docente: identifique las ideas, conceptos y preguntas centrales asociados con un tema; reconozca las probables dificultades conceptuales que enfrentarán sus alumnos y su impacto en el aprendizaje; identifique preguntas, problemas o actividades que obliguen al estudiante a reconocer y cuestionar sus ideas previas; seleccione experimentos, problemas o proyectos que permitan que los estudiantes exploren conceptos e ideas centrales en la disciplina; construya explicaciones, analogías o metáforas que faciliten la comprensión de conceptos abstractos; diseñe actividades de evaluación que permitan la aplicación de lo aprendido en la resolución de problemas en contextos realistas y variados (Talanquer, 2004).

Más allá de saber su ciencia y contar con sólidas bases en pedagogía, el buen docente parece poseer un tipo de conocimiento que le permite transformar pedagógicamente el contenido en actividades de aprendizaje significativas para el estudiante. Este tipo de conocimiento ha recibido el nombre de “conocimiento pedagógico del contenido” (CPC).

Conociendo un poco del creador del CPC, Lee S. Shulman



Los que investigan la enseñanza están comprometidos en la tarea de comprender sus fenómenos, de aprender cómo mejorar su realización, de descubrir mejores maneras de preparar a los individuos que quieren enseñar.

Lee S. Shulman (1986b)

Lee S. Shulman es actualmente el presidente de la “Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching”. Empezó su carrera como profesor de Psicología Educativa y Educación Médica en la Universidad Estatal de Michigan de 1963 a 1982, mudándose posteriormente a la Facultad de Educación de la Universidad de Stanford. Fue el último presidente de la Asociación Americana de Investigación Educativa (AERA, por sus siglas en inglés) y lo fue también de la Academia Nacional de Educación (NAE). Entre 1985 y 1990 él y otros colegas condujeron los estudios técnicos que fundamentaron la creación de la “National Board of Professional Teaching Standards”.

En una entrevista reciente, el Dr. Shulman (2006) nos dice: “Existe un principio universal: mientras más familiares estamos con cualquier cosa, lo menos que apreciamos la extraordinaria complejidad, así como la magia y el misterio de la misma. ¿Qué puede resultar más familiar a uno que tomar clases? Cuando somos niños y jóvenes estamos metidos en un salón de clases 25 horas a la semana durante 16 años. Se nos hace sencillo eso de dar clases, pero cuando lo hacemos por primera vez caemos en cuenta del horror que

significa tener que enfrentar a un grupo y lo complejo que es intentar que los alumnos aprendan algo”.

El mismo Shulman, en su famoso estudio de 1986 (b: 4-5) se remonta al año de 1875 para darnos un ejemplo de los exámenes que se aplicaban a los profesores de primaria del estado de California, en los Estados Unidos y nos hace ver que, en aquel tiempo, los exámenes tenían que ver en un 90 a 95% con el contenido de las clases (aritmética, gramática, geografía, historia, álgebra, fisiología, física, biología, etc.), mientras que un siglo más tarde las categorías para la evaluación de los profesores eran:

1. Organización para preparar y presentar los planes instruccionales
2. Evaluación
3. Reconocimiento de las diferencias individuales
4. Conocimiento cultural
5. Entendimiento de la juventud
6. Manejo de la clase
7. Conocimiento de las políticas y procedimientos educativos

Se pregunta Shulman (1986b: 5) “¿Dónde se fueron los contenidos a enseñar? La persona que presume que enseña tópicos disciplinarios a los niños debe demostrar conocimientos de esos tópicos como un requisito para enseñar. Aunque el conocimiento de las teorías y métodos de la enseñanza son importantes, juegan un papel secundario en las calificaciones de un profesor.” Nos dice que la tremenda frase de George Bernard Shaw “He who can, does. He who cannot, teaches.” se transformó hacia 1985 en “He who can, does. He who cannot, but knows some teaching procedures, teaches.” y que debemos luchar por transformarla en “Those who can, do. Those who understand, teach”.

Por aquellos años, Shulman (1986a) también escribió: “Paradigmas y programas de investigación en el estudio de la enseñanza: una perspectiva contemporánea” en el *Handbook of Research on Teaching*. Y llega a la conclusión de que existe un “paradigma perdido”, del que luego (Shulman, 1999: ix).

A Shulman (1986b: 7-8) le urgía rescatar los contenidos disciplinarios como la forma más adecuada de evaluar a un profesor, pero nos sugiere no olvidar la pedagogía en el proceso: “el paradigma perdido se refiere a un punto ciego con respecto al contenido que ahora caracteriza la mayor parte de la investigación sobre la enseñanza y, como consecuencia, la mayoría de nuestros programas de nivel estatal de evaluación y certificación de profesores. Al leer la literatura de investigación en enseñanza queda claro que las cuestiones centrales no están respondidas... Lo que perdemos son las cuestiones acerca del contenido de las lecciones enseñadas, las preguntas que hacemos y las explicaciones ofrecidas”.

Diez años más tarde Murray (1996), editor de *The teacher educator's handbook*, nos habla en su prefacio de esa “base de conocimientos” propuesta por Shulman como algo esencial para los educadores de profesores. Sin embargo, para ese entonces se reconocía claramente acerca de la complejidad del análisis del trabajo en el aula, no solamente el CPC tenía importancia, sino también otras variables sociológicas, ambientales, afectivas y personales, como vamos a describir en la siguiente sección.

La investigación y los escritos de Shulman han tenido que ver con el estudio de la enseñanza y la formación de profesores, el crecimiento del conocimiento entre aquellos que aprenden a enseñar, la evaluación de la enseñanza, la educación médica, la psicología de la instrucción en ciencias, matemática y medicina, la lógica de la investigación educativa y la calidad de la enseñanza en la educación superior.

Nos toca hoy retomar algunos de los trabajos de Shulman, en los que reconsidera el conocimiento del profesor, con especial atención al papel que juega el entendimiento y transformación del contenido en el proceso pedagógico. Nos referimos al Conocimiento Pedagógico del Contenido (“Pedagogical Content Knowledge”), que tantas referencias tiene hoy en la literatura del proceso de formación y evaluación de la docencia.

Origen del Conocimiento pedagógico del contenido

Lee S. Shulman, hacia 1983, llega a la conclusión de que en la investigación sobre la enseñanza existe un “paradigma perdido”. Luego (Shulman, 1999: ix) nos cuenta que la historia del concepto dentro de su cabeza se remonta a una conferencia que dio en la Universidad de Texas, en Austin, en el verano de 1983, la cual tituló precisamente “El paradigma perdido en la investigación sobre la enseñanza”.

“Para mi delicia, el título aparentemente había estimulado discusiones serias entre los participantes, en anticipación a mi charla. Ellos se preguntaban: ‘qué se trae Shulman en mente como el paradigma perdido’. Las especulaciones abundaban: muchos predecían que yo identificaría como tal a la ‘cognición del profesor; otros nominaban al ‘contexto’, otros aún especulaban que sería la ‘personalidad del profesor’. Aunque no hice una votación formal, parece que ningún miembro de la audiencia anticipó el aspecto de la enseñanza y de su investigación que yo declarararía como ‘perdido’, y, aún cuando me aproximaba a las notas de conclusión, después de una larga hora de charla (no soy yo quien se caracterice por economía en la expresión), la mayor parte recibió el impacto cuando declaré que ‘el paradigma perdido era el estudio del contenido de la materia y su interacción con la pedagogía’.

En 1985 Shulman, como parte de su discurso presidencial de la AERA (American Educational Research Association), planteó la necesidad de indagar en ese paradigma perdido de la investigación educativa: El desarrollo del conocimiento del docente en la enseñanza. Lo establece como el paradigma perdido por la falta de desarrollo investigativo, es decir, no existen trabajos que se concentren en dilucidar las formas de comprensión cognitiva del contenido de la enseñanza por parte de los profesores. Con esto postuló el estudio, no sólo de las formas de comportamiento del docente, sino también de su pensamiento. Toda actividad educativa tiene como respaldo una serie de creencias y teorías implícitas que forman parte del pensamiento del docente y que orientan sus ideas sobre el conocimiento, su enseñanza y sobre cómo se construye éste o bien cómo se aprende. El desarrollo del pensamiento del docente surge como producto de las condiciones históricas,

sociales, culturales, personales y otras que los actores del proceso educativo han desarrollado.

Alfaro (1996) agrega que los participantes del acto educativo, construyen imágenes y metáforas, con las que les dan sentido a las visiones que guían sus acciones. Esto es particularmente importante, si asumimos que estas creencias y teorías implícitas forman parte del basamento que permite la toma de decisiones pedagógicas que hacen los docentes. De acuerdo con Shulman (1987) un docente puede transformar la comprensión, las habilidades de desempeño y valores o actitudes deseadas, en acciones y representaciones pedagógicas. Por ello indica que la docencia se inicia cuando el docente reflexiona en qué es lo que debe ser aprendido y cómo será aprehendido por los estudiantes. Es en estos procesos reflexivos donde las creencias, teorías implícitas y otras formas de pensamiento interactúan con las condiciones contextuales, para configurar las acciones que se cristalizan en el aula.

El programa de investigación del desarrollo del conocimiento del docente en la enseñanza ha aportado cuatro importantes categorías teóricas que pueden orientar la investigación educativa al respecto. Dentro de este ámbito, se propone el estudio de la categoría del conocimiento pedagógico del contenido. Esta categoría fue propuesta por Lee S. Shulman, a partir de 1986, y con ello, promueve el desarrollo de uno de los programas de investigación educativa más importantes a la fecha. Shulman (1987) propuso que la persona que se dedica a la docencia tiene un conocimiento base que, al menos, incluye siete categorías: el conocimiento del contenido, de lo pedagógico general, de lo curricular, de lo pedagógico del contenido, de los aprendices y sus características, de los contextos educativos y de los fines educativos. Para 1990 estas categorías son redefinidas por Pamela Grossman (1990) en cuatro áreas generales: el conocimiento pedagógico general, el conocimiento del contenido, el conocimiento pedagógico del contenido y el conocimiento del contexto. Esta última clasificación ha sido la que ha orientado mayoritariamente el desarrollo de este programa de investigación.

Cuando Shulman introduce el término «Conocimiento pedagógico del contenido», entre los años 1986 y 1987, presenta los elementos más significativos de este, en al menos tres de sus publicaciones. De acuerdo con Shulman (1986, 1987) el Conocimiento pedagógico del contenido (CPC) como categoría de conocimiento, involucra los saberes que le permiten al docente hacer enseñable el contenido e incluye:

...las más poderosas formas de representación [...], analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones, o sea, las formas de representar y formular la materia para hacerla comprensible a otros [...] además la comprensión de qué hace un aprendizaje de tópico específico fácil o difícil (Shulman, 1986: 9).

El CPC representa “*la amalgama del contenido y la pedagogía dentro de una comprensión de cómo temas particulares, problemas o situaciones son organizadas, representadas,...adaptadas (...) para la enseñanza*” (Shulman, 1987: 8). Esta afirmación supone poner especial atención a la forma de definir y comprender el contenido y la pedagogía y cómo éstos se vinculan.

Esta relación implica que para poder ejercer la docencia, se requiere “*la transformación de lo comprendido*” de determinado cuerpo disciplinar; o sea, la capacidad de enseñar determinado contenido descansa, entre otros, en “[...] *el conocimiento profundo, flexible y cualificado del contenido disciplinar, pero además, en la capacidad para generar representaciones y reflexiones poderosas sobre ese conocimiento*” (Shulman, 1999). El estudio del CPC ofrece la oportunidad de entender cómo los docentes llegan a hacer enseñables los contenidos. Esta categoría de conocimiento le permite al docente tener la habilidad de convertir sus comprensiones acerca de un tema, en distintas estrategias de enseñanza que le faciliten el logro de los aprendizajes en sus estudiantes. Esto supone cómo los docentes “conocedores de la materia” trascienden y se convierten en “maestros de la materia” (Berliner, 1986).

El CPC ha demostrado ser complejo, no sólo como conjunto de conocimientos y habilidades, sino también en las diversas interpretaciones que, de esta categoría, existen (Fernández-Balboa & Stielkl, 1995). Desde su aparición el CPC fue objeto de discusión por la ambigüedad en la cual se citó. Cuando Shulman lo propuso, no hizo alusión a las formas de hacer operativo el conocimiento y, mucho menos, a los elementos que permiten definir el conocimiento pedagógico del contenido. Inicialmente, Shulman distinguió solamente dos componentes fundamentales en el CPC: el reconocimiento y la comprensión que tiene un docente de los aprendices y de la enseñanza para representar temas específicos.

La consideración de los estudiantes como aprendices involucra el estudio de las preconcepciones, los conceptos erróneos en la construcción de los conocimientos y las dificultades que pueden presentar los estudiantes para aprender determinados contenidos. La posibilidad de conocer y comprender a los estudiantes le permite, al docente, interpretar las acciones e ideas de éstos, de modo que puede organizar su enseñanza de una manera más efectiva, puesto que enfoca sus estrategias pedagógicas hacia una mejor representación del contenido (Magnusson, Krajcik y Borko, 1999).

En este sentido, Shulman (1986, 1987) afirma que el manejo profundo de la disciplina le facilita al docente anticipar los componentes y relaciones del contenido, que pueden presentar problemas para su comprensión. Un buen manejo de la disciplina significa saber que algo es así y comprender el por qué de esta naturaleza, pero además saber bajo qué circunstancias se valida este conocimiento: “*Esto será importante en las subsiguientes decisiones pedagógicas que consideren el énfasis curricular*” (Shulman, 1986: 9).

No obstante, el conocimiento profundo de la disciplina se vuelve infructuoso si no se consideran los puntos de vista acerca del contenido que tienen los estudiantes. La generación y uso de actividades significativas de aprendizaje que, por ejemplo, incluyan demostraciones, metáforas y sus variaciones y alternativas para ampliar la comprensión del contenido, dependen, entre otros, de las características del contenido, del dominio de éste por parte del profesor y su conocimiento de los estudiantes. Estas actividades permitirían a los estudiantes ligar el conocimiento previo con la información actual, para la producción de nuevas ideas y reducir las ideas y conceptos erróneos. Estos mismos saberes del docente, le apoyan para tener fluidez en sus discursos y reconocer e identificar las aplicaciones de la disciplina en la vida de sus estudiantes (Gess-Newsome, 1999).

Diversos estudios han demostrado la necesidad de esta relación entre el conocimiento profundo de la disciplina y de las ideas previas de los estudiantes. Estas investigaciones han demostrado que los docentes con bajo dominio de conocimiento disciplinar son menos conscientes de los conocimientos previos de los estudiantes y, por tanto, menos capacitados para identificar los errores de concepto que puedan presentar.

La relación del manejo significativo del contenido con respecto a la selección de las estrategias de enseñanza considera las distinciones entre cada disciplina. De ahí, las expresiones que, con mayor frecuencia escuchamos sobre la no transparencia de los objetos de estudio y, por supuesto, los argumentos de que cada disciplina requiere su propia didáctica. Esto fortalece la idea de que cada disciplina tiene una dimensión pedagógica que no está separada de su desarrollo.

A partir de las relaciones de estos componentes, el CPC asume como base, las conexiones entre el conocimiento sobre pedagogía y el conocimiento de la disciplina que tiene el docente. De acuerdo con Shulman (1987) esta interacción es la que permite la transformación del contenido para su enseñanza. Esto sólo ocurre cuando el docente reflexiona e interpreta críticamente la información pedagógica, disciplinar y del contexto. Shulman denominó a este proceso de reflexión e interpretación: Modelo de Razonamiento y Acción Pedagógica (Ver Figura 1.1). Este modelo se basa en el supuesto del que la docencia inicia desde que se piensa cómo se va actuar en el proceso educativo (planificación). Dicho modelo, de carácter cíclico y dinámico, toma como punto de partida la reflexión del acto docente desde las intenciones educativas, la estructura conceptual y las ideas que circundan desde lo interno y externo de la disciplina que se va a enseñar. Con esto último, llama la atención a la necesaria comprensión de las relaciones de las intenciones educativas y del contenido con el contexto. Estas comprensiones permitirán la transformación de los contenidos disciplinares en formas representativas que permitan su enseñanza, su evaluación, su reflexión y nuevas comprensiones para un futuro, con lo cual se inicia de nuevo el ciclo.

Por su naturaleza procesal, este modelo de razonamiento y acción pedagógica muestra procesos de pensamiento del docente en continua reestructuración, sobre el contenido para la enseñanza. Su dinámica se ve enriquecida por el contexto en el cual ocurre, como resultado de las interacciones sociales que el acto educativo envuelve y los distintos momentos que caracterizan el quehacer docente: planeamiento, enseñanza, evaluación, entre otros.

La investigación desarrollada dentro de este programa, lleva a Grossman (1990) a plantear que los componentes del CPC involucran, además del conocimiento acerca de los estudiantes y de las estrategias didácticas, también el conocimiento del currículo y el contexto de aprendizaje. El valor del CPC está en la posibilidad que tiene el docente de integrar estos componentes, esta categoría sólo es posible entenderla como un todo, puesto que su carácter transformativo y dinámico, la convierte en una forma de comprensión particular de quienes se dedican a la docencia.

Sin embargo, los procesos que favorecen la formación en el docente, hasta qué punto los planes de estudio de las facultades de educación lo han concebido, como un componente

inclusivo de la formación docente, o bien, como elementos fraccionados sin una posibilidad explícita de síntesis, durante el proceso de formación, son áreas poco investigadas.

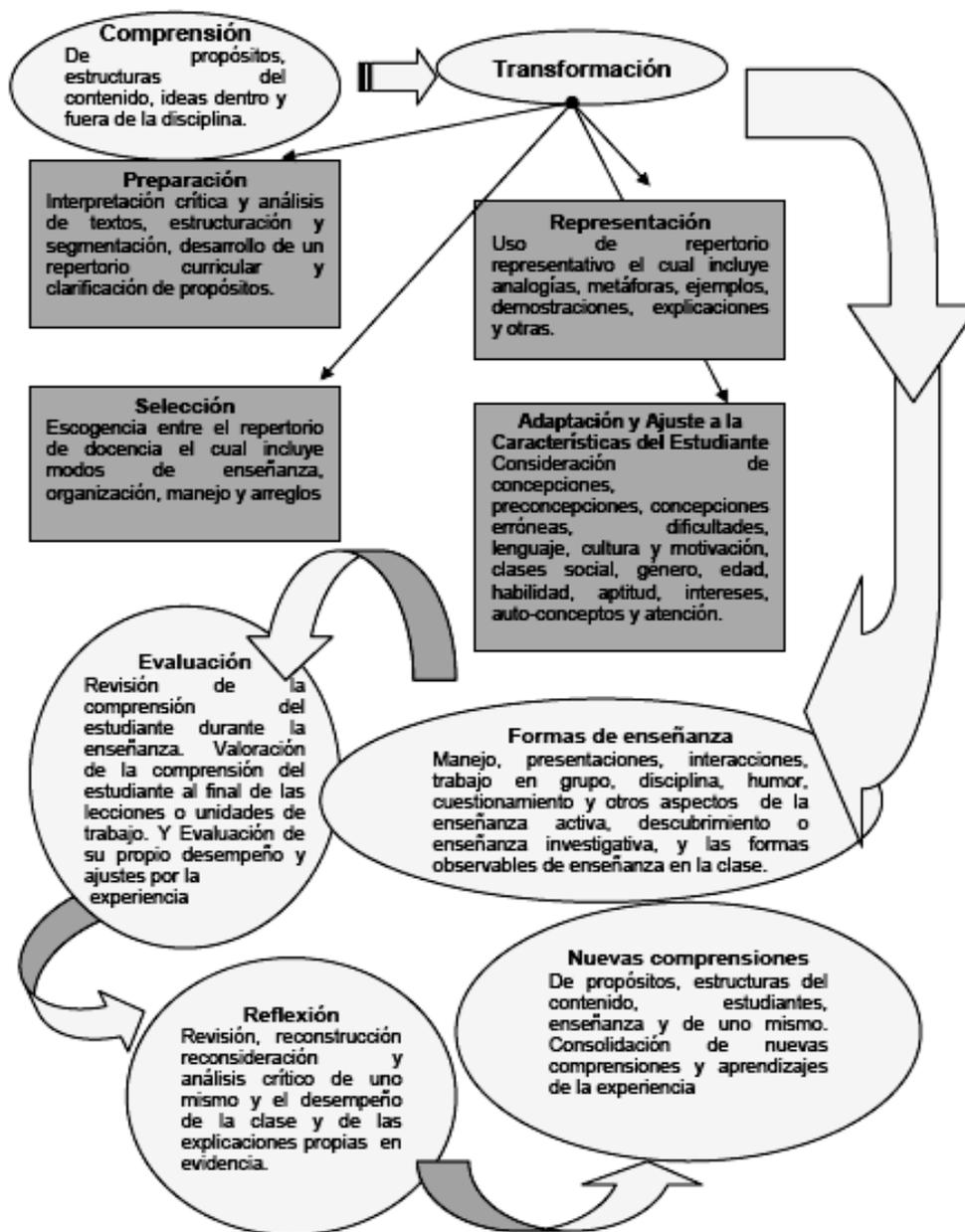


Figura 1.1 Modelo de razonamiento y acción Pedagógica según Lee S. Shulman (1987). Tomado y adaptado de Shulman (1987: 15) por Salazar (2005).

Grossman (1990) señaló que existen cuatro fuentes desde las cuales es posible observar la generación y desarrollo del CPC: la observación de experiencias de aula, desde su posición como estudiante, hasta como docente en formación; la formación disciplinar, los cursos específicos de pedagogía y la experiencia como docente ya en el aula. Por su parte, Gess-Newsome (1999) construyó dos modelos teóricos que explican la formación del CPC: el modelo integrativo y el modelo transformativo. El primero considera el CPC como una categoría producto de la relación de la pedagogía, el contenido y el contexto. El modelo transformativo, por su parte, ve el CPC como el producto de la transformación del conocimiento pedagógico, del contenido y del contexto (Ver Figura 1.2).

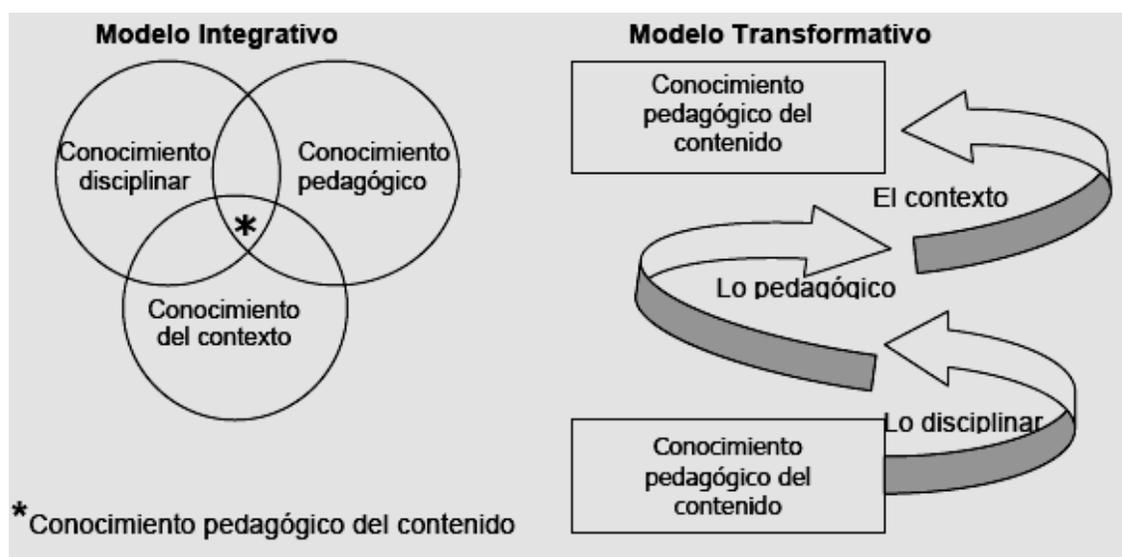


Figura 1.2 Modelos del conocimiento docente: “Modelo Integrativo vs. Modelo Transformativo”. Tomado de Gess-Newsome, J. & Lederman, N. 1999:12

Para este mismo autor, estos modelos representan los extremos de un continuo en el cual el integrativo expresa un marco de conocimiento, donde los saberes disciplinar, pedagógico y del contexto se desarrollan por separado y son integrados en el acto docente. Mientras que el transformativo no se ocupa del desarrollo de estos saberes, sino de cómo son transformados en CPC, como conocimiento base para la docencia. Estos modelos son un importante punto de partida para analizar los planes de formación de docentes.

Actualmente, el desarrollo teórico de esta categoría desarrolla investigación sobre el continuo entre estos dos modelos propuestos por Gess-Newsome. Su impacto se hace evidente en el ámbito de la formación profesional de los docentes, tanto en los que están iniciando su proceso formativo como los que ya están en servicio. El debate que promueve recupera una vieja discusión: cuándo y cómo se forma un docente en la pedagogía: cuando ya tiene el conocimiento profundo disciplinar, antes de lo pedagógico, o bien paralelamente, cómo se construye el conocimiento pedagógico del contenido: por partes o

al ser producto de las distintas transformaciones que la experiencia le aporta a los docentes, cómo puede reconstruirse en los espacios de formación docente.

Nacimiento y devenir del “Conocimiento pedagógico del contenido”

Shulman (1986) publica las primeras ideas que resultan de los estudios sobre la interacción entre el contenido temático de la materia y la pedagogía. Shulman planteó algunas preguntas como las siguientes: “¿Cómo el estudiante universitario exitoso que se convierte en profesor novato transforma su pericia en la materia en una forma que los estudiantes de bachillerato puedan comprender?, ¿Cuáles son las fuentes de las analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones y reformulaciones que el profesor usa en el aula?, ¿Cómo los profesores toman una parte de un texto y transforman su entendimiento en instrucción que sus estudiantes puedan comprender?”.

Él plantea que, para ubicar el conocimiento que se desarrolla en las mentes de los profesores, habría que distinguir tres tipos del mismo:

1. El conocimiento del contenido disciplinario de la asignatura, (CD)
2. El conocimiento pedagógico del contenido (CPC), “el tema de la materia para la enseñanza” (Garriz y Trinidad-Velasco, 2004), y
3. El conocimiento curricular (CC).

El **conocimiento del contenido disciplinario de la asignatura** (CD) se refiere a la cantidad y organización de conocimiento del tema *per se* en la mente del profesor. Para pensar apropiadamente acerca del conocimiento del contenido se requiere ir más allá del conocimiento de los hechos o conceptos de un dominio, se requiere entender las estructuras del tema. Según Schwab (1978), dichas estructuras incluyen la sustantiva y la sintáctica. La primera es la variedad de formas en las cuales los conceptos y principios básicos de la disciplina son organizados para incorporar sus hechos. La estructura sintáctica de una disciplina es el conjunto de formas en las cuales son establecidas la verdad o falsedad, o bien, la validez o invalidez de alguna afirmación sobre un fenómeno dado.

El último, el **conocimiento curricular** (CC), dice Shulman, “está representado por el abanico completo de programas diseñados para la enseñanza de temas particulares que se encuentra disponible en relación con estos programas, al igual que el conjunto de características que sirven tanto como indicaciones como contraindicaciones para el uso de currículos particulares o materiales de programas en circunstancias particulares”.

De estos tres tipos de conocimiento, el **conocimiento pedagógico del contenido** es el que ha recibido más atención, tanto en el campo de la investigación, como en el de la práctica. Sobre el CPC, Shulman nos dice “es el conocimiento que va más allá del tema de la materia *per se* y que llega a la dimensión del conocimiento del tema de la materia para la enseñanza” (Shulman, 1987: 9). Hay que diferenciar el CPC del Conocimiento Pedagógico General para la enseñanza (CPG), el cual es el conocimiento de principios genéricos de

organización y dirección en el salón de clases; el conocimiento de las teorías y métodos de la enseñanza.

En el CPC incluye, para los tópicos más regularmente enseñados en el área temática del profesor, lo que lo habilita para responder a preguntas tales como: “¿Qué analogías, metáforas, ejemplos, símiles, demostraciones, simulaciones, manipulaciones, o similares, son las formas más efectivas para comunicar los entendimientos apropiados o las actitudes de este tópico a estudiantes con antecedentes particulares?” (Shulman y Sykes, 1986: 9). De esta manera, en el CPC se incluyen, para los tópicos más regularmente enseñados en el área temática del profesor, todo el esfuerzo que hace para hacer comprensible su tema ante sus estudiantes.

El CPC también incluye un entendimiento de lo que hace fácil o difícil el aprendizaje de tópicos específicos: “las concepciones y preconcepciones que los estudiantes de diferentes edades y antecedentes traen al aprendizaje de los tópicos y lecciones, más frecuentemente enseñados”. Los profesores necesitan el conocimiento de las estrategias más probables de ser fructíferas en la reorganización del entendimiento de los aprendices.

Menciona Geddis (1993) que un profesor sobresaliente no es considerado simplemente como “un profesor” sino más bien como “un profesor de historia” o “un profesor de química” o “un profesor de lengua”. Mientras que, en cierto sentido, existen habilidades genéricas para enseñar, muchas de las capacidades pedagógicas del profesor sobresaliente versan sobre contenidos específicos, es decir, forman parte del CPC.

Cochran, DeRuiter y King (1993), en un sentido más amplio, definen el CPC como el entendimiento integrado de las cuatro componentes que posee un profesor: pedagogía, conocimiento temático de la materia, características de los estudiantes y el contexto ambiental del aprendizaje. Idealmente, el CPC se genera como una síntesis del desarrollo simultáneo de dichas cuatro componentes. En su artículo se refieren a “Pedagogical content knowing” en lugar de “Pedagogical content knowledge”, para hablar de una acción en lugar de un sustantivo y para hacer compatible la perspectiva filosófica de Shulman con el constructivismo, ya que mencionan que McEwan y Bull (1991) concluyen que ni dentro de una perspectiva constructivista ni en una objetivista se justifica la distinción de Shulman entre CD y CPC.

En este contexto, Chevallard (1991) maneja un concepto similar al del CPC, el de transposición didáctica: “un contenido de saber que ha sido designado como un saber a enseñar, sufre a partir de entonces un conjunto de transformaciones adaptativas que van a hacerlo apto para ocupar un lugar entre los objetos de enseñanza. El «trabajo» que transforma un objeto del saber científico en un objeto de enseñanza es denominado la transposición didáctica”.

En la didáctica de las ciencias, el CPC ha sido usado como un término para describir “cómo los profesores novatos aprenden poco a poco a *interpretar y transformar* su contenido temático del área, en unidades de significados comprensibles para un grupo diverso de estudiantes” (Van Driel, Verloop y de Vos, 1998). Estos autores insisten en que el CPC fue introducido por Shulman argumentando que, la investigación de la enseñanza y la

educación de profesores habían ignorado preguntas de investigación relativas al contenido de las lecciones enseñadas. Describen el CPC como la reunión de los siguientes tres elementos clave:

- Conocimiento de las concepciones estudiantiles con respecto a un tópico o un dominio, entendiendo las dificultades específicas de aprendizaje en esa área.
- Conocimiento de representaciones para la enseñanza del tema en cuestión
- Conocimiento de estrategias instruccionales que, de alguna forma, incorporen tales representaciones.

De manera similar, Veal y MaKinster (1999) definen al CPC como “la habilidad para *traducir* el contenido temático a un grupo diverso de estudiantes usando estrategias y métodos de instrucción, y métodos de evaluación múltiples, tomando en cuenta las limitaciones contextuales, culturales y sociales, en el ambiente de aprendizaje”.

Carlsen (1999) describe en un diagrama (ver figura 1.3) lo que concibe como CPC y lo que lo diferencia del CD y del CPG, y cómo estos dos conocimientos aportan al CPC. Para empezar, incluye tres tópicos tanto en el CD como en el CPG. En el “Esquema del CPC”, éste está constituido por cinco elementos:

- El conocimiento de las concepciones alternativas de los aprendices;
- El currículo científico específico;
- Los mejores métodos instruccionales para abordar el tema;
- Los propósitos de la enseñanza de ese tema, en particular;
- La planeación y administración de la evaluación.

Barnett y Hodson (2001) plantean un nuevo término: “Conocimiento Pedagógico del Contexto” en el camino para entender qué saben los buenos profesores y qué los diferencia de los que no son tan buenos. Incluyen en él cuatro tipos de conocimiento, siendo uno de ellos el CPC:

1. Conocimiento académico y de investigación
2. Conocimiento Pedagógico del Contenido
3. Conocimiento Profesional
4. Conocimiento del salón de clases

Barnett y Hodson incluyen, dentro del Conocimiento Pedagógico del Contenido el uso de:

- Estrategias para enseñar ciencia.
- Estrategias para evaluar el aprendizaje de las ciencias.
- Recursos científicos.
- Recursos de la comunidad.
- Estrategias para integrar la ciencia con otros temas.
- Estrategias para personalizar la educación en ciencias.

Carlsen (1999) y el dominio del conocimiento del profesor

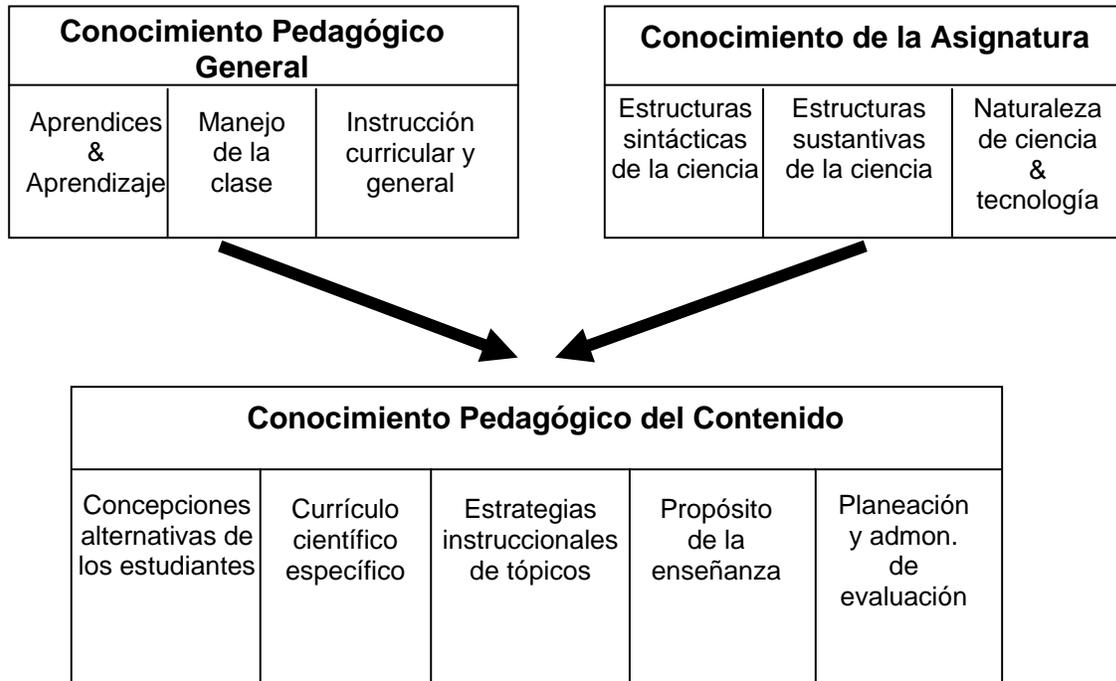


Figura 1.3. El CPC según Carlsen. Este esquema es presentado en el libro editado por Julie Gess-Newsome y Norman Lederman (1999). Carlsen concibe al CPC con unas componentes más amplias que las incluidas hasta ese punto, pues lo considera como la fusión del conocimiento pedagógico general y el disciplinario de la materia en sí, e incluye al mismo currículo científico específico dentro del CPC.

El conocimiento pedagógico del contenido en la enseñanza de la ciencia

El dominio de conocimiento de la naturaleza de la ciencia (NOS)

Aceptar la importancia de enseñar ciencias conlleva necesariamente a pensar en cómo hacerlo. La enseñanza de las ciencias debe aportar en forma decidida a la apropiación crítica del conocimiento científico y a la generación de nuevas condiciones y mecanismos, que promuevan la formación de nuevas actitudes hacia la ciencia y hacia el conocimiento científico. Unido a la importancia del aprendizaje de las ciencias destacamos que su comprensión no es intuitiva, es más, muchos de los hallazgos de la ciencia son contrarios, o simplemente diferentes, de la comprensión y percepción intuitiva que tenemos de ellos. Se requiere, entonces, brindar los escenarios adecuados y pertinentes para que los profesores de ciencias y sus estudiantes comprendan el funcionamiento de la ciencia.

En el diseño de estos nuevos escenarios, juegan papel central las reflexiones desde campos disciplinares diversos como: la historia y filosofía de la ciencia, las ciencias cognitivas y la sociología de la ciencia, entre otras. El concepto de Naturaleza de la Ciencia se propone para describir el trabajo científico en educación en ciencias y cómo la sociedad en sí misma dirige y reacciona frente a los desafíos científicos. En tal sentido, ubicar la reflexión de la naturaleza de la ciencia en el aula de ciencias no pretende llevar la reflexión de orden epistemológico al aula, asimismo, no se interesa por el estudio del mundo natural en la forma en que el mundo es en sí mismo. Para la Educación en Ciencias la expresión Naturaleza de la Ciencia se ubica conceptualmente en la intersección de diversos campos dentro de los que se destacan la historia y filosofía de la ciencia, la sociología de la ciencia, la psicología de la ciencia (Tamayo, 2005).

Diferentes investigaciones recientes (Adúriz-Bravo *et al.* 2001, McComas 1998) han explorado las ideas de los profesores sobre la naturaleza de la ciencia, las cuales pueden influir en su desempeño en el salón de clase. Es posible encontrar correspondencias entre las ideas de los profesores sobre la naturaleza de la ciencia y sus ideas sobre el conocimiento científico, el pedagógico y el curricular.

Dadas las importantes preconcepciones, tanto de estudiantes, como de profesores acerca de la naturaleza de la ciencia y del impacto que éstas tienen sobre su desempeño, en los diferentes contextos en los que se desenvuelven, se justifica la inclusión de los estudios sociales de la ciencia en clases de ciencias. En este sentido, se reconoce que la comprensión de la naturaleza de la ciencia es necesaria para que la gente dé sentido y se relacione con los productos de la ciencia y la tecnología, para que la gente participe en los procesos de toma de decisiones, para que se reconozca la ciencia como un producto de la cultura contemporánea, para comprender las normas de la comunidad científica y para apoyar los aprendizajes significativos en las aulas de ciencias.

Matthews (1994) plantea que las preguntas sobre la naturaleza de la ciencia son inherentes a muchos asuntos educativos, tales como: la ciencia multicultural, la controversia pública en la educación sobre las perspectivas evolutivas y creacionistas, críticas feministas de la ciencia moderna y su sugerencia para la reforma de programas, el medio ambiente y la nueva era de la ciencia y la idea de que el aprendizaje de las ciencias podría llevar a una comprensión de su naturaleza y, al mismo tiempo, llevar a que los estudiantes empleen algunas de las potencialidades de la ciencia y el pensamiento asociado a ella, en la resolución de problemas cotidianos.

El conocimiento de la naturaleza de la ciencia ayuda a los estudiantes en una mejor comprensión de los conocimientos científicos estudiados, en los cuales sea evidente una visión dinámica de la ciencia, más que una visión estática. De igual manera, puede incrementar la sensibilidad de las personas frente a la ciencia y al desarrollo del conocimiento científico. El incorporar la naturaleza de la ciencia en los procesos de enseñanza y aprendizaje humaniza la ciencia, pudiéndola llegar a convertir en una gran aventura el espacio del aula.

Otra temática de interés vincula posibles relaciones establecidas entre el conocimiento de la naturaleza de la ciencia con quienes participan activamente en la planeación, ejecución y

regulación de políticas en ciencia, tecnología y educación. La toma de decisiones políticas y presupuestales, soportadas en un amplio conocimiento sobre la naturaleza de la ciencia, es vital para avanzar sobre los modelos tradicionales de ciencia y de enseñanza, que aun continúan dominando.

En la actualidad, se observa un creciente acuerdo sobre el impacto positivo de la naturaleza de la ciencia sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje. Dentro de los aspectos más destacables, se encuentran la reducción de la ansiedad de los profesores frente a la enseñanza de temáticas como el origen de la vida y del universo, la evolución biológica, el azar y, en general, aquellas que exploran las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y desarrollo (relaciones C-T-S + D). De otra parte, son importantes los vínculos establecidos entre el conocimiento de la naturaleza de la ciencia y la habilidad de los profesores para implementar modelos de evolución y cambio conceptual en el aula.

En la línea de pensamiento anterior, el conocimiento de la naturaleza de la ciencia es útil como agente desequilibrador, bien cognitivo o sociocognitivo, tanto para profesores de ciencias como para sus estudiantes. Esto nos lleva a otra histórica polémica en cuanto a si los procesos de aprendizaje se dan por el reemplazo de las ideas de los estudiantes o, por el contrario, se reconoce que en ellos hay construcción de significados relacionados con el mundo natural.

Dos aspectos finales son reseñados a la importancia del conocimiento de la naturaleza de la ciencia están referidos de manera directa al profesor y a los modos de comunicar el conocimiento científico. En cuanto al primero, parece claro que los modelos de enseñanza empleados por los profesores responden a las creencias y supuestos que ellos tienen y, en consecuencia, las formas de proceder en el aula, los juicios y las valoraciones son congruentes con estos modelos intuitivos de enseñanza. En cuanto al segundo, los diferentes lenguajes empleados para comunicar la ciencia influyen de manera determinante sobre los modelos de ciencia y de trabajo científico construidos por los estudiantes. Las diferentes formas de comunicar la ciencia pueden orientar visiones instrumentalistas, realistas o naturalistas sobre la naturaleza de la ciencia.

La educación en ciencias como integración de los dominios del conocimiento pedagógico del contenido y de la naturaleza de la ciencia

Considerar la Educación en Ciencias como una ciencia en proceso de consolidación nos ha exigido identificar los valiosos aportes de muy diversos campos del saber. La integración de los dominios de la Naturaleza de la Ciencia y del Conocimiento Pedagógico del Contenido (ver figura 1.4) nos orientará de manera adecuada en la búsqueda de respuestas a preguntas como: ¿Cómo ayudar a los estudiantes para que logren mejores comprensiones de los conceptos científicos? ¿Cómo superar las múltiples interferencias que se dan en el aula de ciencias en torno a la enseñanza y aprendizaje de las ciencias? ¿Cómo diseñar ambientes de aprendizaje para la Educación en Ciencias que respondan a las exigencias socioculturales actuales? ¿Qué semejanzas y diferencias se pueden encontrar entre las formas de construcción de conocimiento entre los contextos científico y escolar?

En conclusión, es evidente la alta complejidad y exigencia conceptual que involucra un acercamiento a la Educación en Ciencias desde la perspectiva teórica que aquí proponemos. No obstante lo anterior, consideramos que el profesor de ciencias, de manera independiente del nivel en el cual se desempeñe, es el único capaz y el que tiene el privilegio y la responsabilidad de asumir esta reflexión, y las acciones que de ella se deriven, desde la integralidad antes propuesta (Tamayo, 2005).

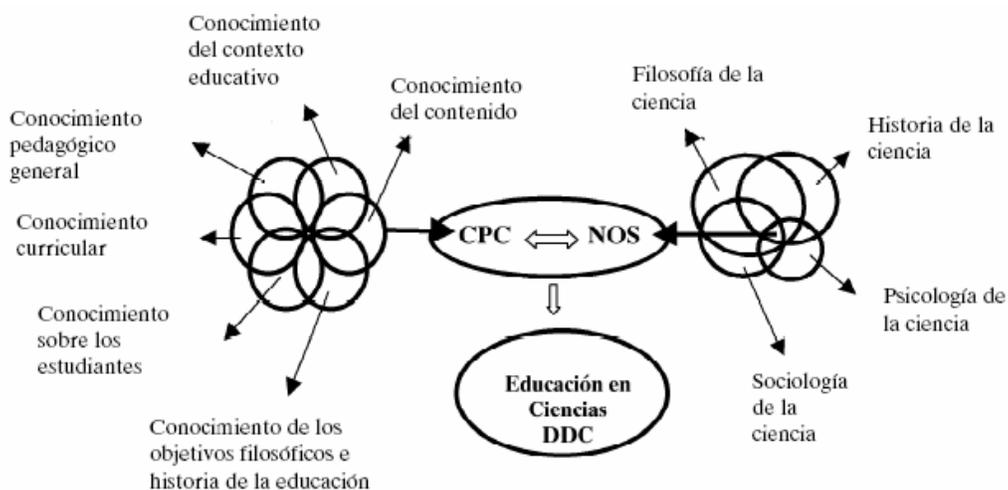


Figura 1.4. Integración de los dominios de la naturaleza de la ciencia y del Conocimiento Pedagógico del Contenido como marco teórico orientador para la educación en Ciencias
Tomado de Tamayo (2005).

El conocimiento pedagógico del contenido en la enseñanza de la química

Respecto al CPC en la enseñanza de la química se han encontrado relativamente pocos estudios, dentro de los que podemos mencionar los siguientes:

- a) El de Clermont, Krajcik y Borko (1993), en el cual realizan una exploración de la naturaleza del crecimiento del CPC que ocurre a profesores de ciencias de nivel medio que participan en un taller intensivo de capacitación sobre enseñanza usando demostraciones para dos conceptos básicos en física y química: la densidad y la presión del aire.

Estos autores encuentran que el CPC de los profesores de ciencias puede crecer a través de talleres intensivos orientados a desarrollar habilidades. Sin embargo, aunque hubo un crecimiento en los repertorios representacional y adaptacional de estos profesores, en otros dos aspectos del CPC parece haber ocurrido mucho menos

avance; esto es: en el conocimiento asociado con la evaluación crítica y del contenido y con la selección instruccional. Estos hallazgos indican que el CPC es un sistema de conocimiento complejo y sugieren que sus diferentes componentes pueden crecer diferencialmente, en una actividad de capacitación.

- b) Estos mismos autores, Clermont, Borko y Krajcik (1994), examinan en otro artículo el CPC de profesores de química, tanto con experiencia como principiantes, que usan como estrategia la enseñanza por demostraciones, ya que ésta se considera una componente importante del repertorio pedagógico de los profesores de ciencias y es un área que no está bien desarrollada.

Los hallazgos sugieren que los profesores con experiencia, comparados con los novatos, poseen un mejor repertorio adaptacional y representacional para la enseñanza de conceptos fundamentales en química. También, parecen ser más conocedores de la complejidad de las demostraciones químicas, de cómo dicha complejidad puede interferir con el aprendizaje y cómo las demostraciones químicas más simples pueden promover mejor el aprendizaje de conceptos.

- c) Veal (1998) realizó un estudio sobre la evolución del CPC de futuros profesores de química de secundaria sobre aspectos de termodinámica y encuentra básicamente lo siguiente:

- i. Los futuros profesores desarrollan diferentes tipos de CPC: general, de dominio específico y de tópico específico, los cuales difieren en sus propósitos, usos y aplicaciones (Veal, 1999); la rapidez y el grado de desarrollo de cada uno de estos tipos de CPC se encuentra en función de su formación y experiencia anterior.
- ii. El desarrollo del CPC de tópico específico ocurrió antes del de dominio específico.
- iii. Las futuras profesoras demostraron y desarrollaron un entendimiento fundamental de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias que servirá como base para el desarrollo de un CPC de dominio específico mayor.

- d) Van Driel, Verloop y de Vos (1998) realizaron un estudio empírico enfocado al CPC de un tópico específico, el equilibrio químico; allí incluyeron, además, una revisión de la literatura sobre el CPC de los profesores con respecto a la enseñanza en general y en el dominio de la educación en ciencias. Encontraron que las estrategias de enseñanza identificadas en el estudio no son útiles en un sentido universal, sino se refieren exclusivamente al tópico involucrado; aún más, dado que los profesores enseñan tópicos específicos, dichas estrategias adicionan un elemento único y valioso al conocimiento básico educacional.

- e) Dawkins y Butler (2001) analizaron el CPC de siete estudiantes del profesorado de ciencias del segundo año universitario respecto al concepto de mol. Encontraron que

las estrategias empleadas por ellos para la enseñanza tienen marcada influencia de los libros de texto de química, en los cuales no siempre se manejan los conceptos como los manejan los científicos (no usan, por ejemplo, el término “cantidad de sustancia”), es decir las estrategias utilizadas no son apropiadas desde el punto de vista conceptual. Asimismo, hallan que un entendimiento claro del concepto no necesariamente implica que se usen las estrategias más adecuadas para la resolución de problemas relativos a la proporción entre masa y moles.**

- f) Recientemente, De Jong, Veal y Van Driel (2002) realizan una recopilación de los estudios llevados a cabo con un enfoque sobre el conocimiento básico de los profesores de química, centrándose sobre el CD y el CPC, esto es, los dos tipos de conocimiento que están determinados por la naturaleza del tópico específico enseñado. Estos autores resumen la variedad de aspectos del CPC de los profesores de química de la siguiente manera:
- i. Los profesores de química con insuficiente CPC de tópicos específicos pueden, en ocasiones, realizar demostraciones de tópicos específicos que pueden reforzar las concepciones alternativas de los estudiantes.
 - ii. Un excelente CD, el conocimiento de cómo aprenden los estudiantes y el conocimiento de representaciones alternativas, son requisitos para la selección y uso de explicaciones analógicas apropiadas y efectivas.
 - iii. La selección de una estrategia para la enseñanza de cálculos estequiométricos, por parte de los profesores de química, con frecuencia no es muy adecuada desde la perspectiva del aprendizaje del estudiante.
- g) De Jong, Van Driel y Verloop (2002) analizaron el crecimiento del CPC, relativo a la relación macro-micro en la enseñanza de la química, de 12 profesores en formación durante el primer semestre de su año formativo como posgraduados. Evaluaron su conocimiento de la materia, su experiencia docente con respecto a tópicos específicos, el conocimiento de las concepciones y de las dificultades de los aprendizajes estudiantiles y su participación en talleres de trabajo específicos.
- h) Un trabajo reciente sobre este tema en el bachillerato es el de Treagust y Mamiala (2003), en el que analizan, con ejemplos, los cinco tipos de explicaciones que emplean los profesores durante sus clases introductorias de fisicoquímica y de química orgánica, acerca de los tres niveles de representación usados en la química: el macroscópico, el submicroscópico y el simbólico:
- i. Analógicas (un fenómeno o experiencia familiar se emplea para explicar algo poco familiar)
 - ii. Antropomórficas (a un fenómeno se le dan características humanas para hacerlo más familiar)

- iii. Relacionales (una explicación que es relevante dada las experiencias personales de los aprendices)
 - iv. Basadas en problemas (una explicación demostrada a través de la resolución de algún problema)
 - v. Basadas en modelos (utilizar un modelo científico para explicar un fenómeno)
- i) Vicente Talanquer (2003) ha trabajado vigorosamente con sus colaboradores en la Universidad de Arizona para poner al punto los cursos de formación de profesores para la educación en ciencias. Han incorporado un curso de tres créditos con el nombre de
- i. “Métodos de Enseñanza del contenido” que versa precisamente sobre el CPC específico del área de concentración del futuro profesor (biología, química, física o ciencias de la tierra).
- j) Hofstein *et al* (2003, 2004) nos presentan el desarrollo de liderazgo entre los profesores de química en Israel a consecuencia de la implantación de nuevos contenidos y de estándares pedagógicos en la educación científica en ese país. Las características de liderazgo que asumen en su trabajo tienen que ver con motivación, autoconfianza, creatividad, integridad, responsabilidad y carisma, logradas por el desarrollo *personal*, el desarrollo *profesional* y la dimensión *social* de los profesores. En los aspectos profesionales describen tanto el desarrollo del CD como del CPC, a lo cual se dedican durante todo el primer año del programa de liderazgo.
- k) Una propuesta interesante es la de Bucat (2004), quien convoca a profesores, químicos e investigadores en educación química a trabajar juntos para integrar los hallazgos pedagógicos, químicos y de investigación educativa y crear una colección de CPC sistematizado y documentado. Nos da una serie de ejemplos de CPC en la enseñanza de la química para la enseñanza de ley de acción de masas, de los símbolos y el lenguaje químicos, de la sustitución nucleofílica y las reacciones de eliminación, de la simetría molecular, la enantiomería, y otros temas. Sostiene que existen miles de discusiones y consejos sobre la enseñanza de los distintos temas, pero no hay una colección sistemática basada en la investigación y análisis de aspectos particulares de una temática, acompañada por la evaluación en el aula.
- l) Después de los trabajos de Clermont, Borko y Krajcik (1993) sobre el CPC obtenido con talleres de trabajo sobre demostraciones, hay tres trabajos recientes que exploran estos aspectos para la enseñanza práctica (Hofstein y Lunetta, 2004; Hofstein, 2004; Bond-Robinson, 2005), con lo cual ha vuelto a ponerse en el candelero este tema. Por ejemplo, este último trabajo habla de conocimiento pedagógico químico (CPQ) ya que el contenido explorado es de química experimental. Mediante el análisis, los autores llegan a concluir que existen en las respuestas de los estudiantes de licenciatura, dos factores con relación a la labor prestada por sus asistentes de enseñanza (que son estudiantes de grado), uno de ellos tiene que ver con el CPQ y el otro con su labor general como profesores.

m) Reyes y Garritz (2005) documentaron el CPC de cinco profesores universitarios para el tema de “reacción química”, de donde destacan los siguientes puntos:

- ✦ Un problema que presenta la enseñanza de este tema es que en ocasiones, para muchos alumnos, la aparición de sustancias no es visible; así mismo, se les dificulta comprender que aparezcan nuevas sustancias y que se conserve la materia
- ✦ Solamente llegan a aceptar lo anterior cuando abordan la reacción química a nivel microscópico y verifican que lo que se conserva es el número de átomos de cada elemento.
- ✦ El alumno debe llevar a cabo reacciones reales, inclusive en la balanza, y debe intentar escribirlas con lenguaje simbólico, aunque falle al principio.
- ✦ Se recomienda que el estudiante observe y analice varias RQ hasta que saque sus propias conclusiones acerca de lo que una RQ representa. Resulta importante que el profesor presente algunos ejemplos como demostraciones de cátedra.
- ✦ En cuanto a las concepciones alternativas de los alumnos, el CPC de los profesores entrevistados contiene gran cantidad de información, particularmente en cuanto a los conceptos centrales ‘sustancia’ y RQ.
- ✦ Al profesor le conviene al empezar el tema hablar de lo vano que resulta diferenciar los cambios químicos de los físicos.

n) De Jong, Van Driel y Verloop (2005) describen los resultados de un estudio del CPC de profesores de química en pre-servicio, en el contexto de un programa graduado de la educación del profesor. El grupo de profesores en pre servicio (n=12) participó en un módulo experimental del curso preliminar sobre el uso de los modelos de la partícula para ayudar a estudiantes de la escuela secundaria a entender la relación entre los fenómenos (ej., características de los procesos de las sustancias, físicos y químicos) y las entidades corpusculares (ej., átomos, moléculas, iones). El módulo acentuó el aprendizaje en la conexión de experiencias de enseñanza auténticas con los talleres institucionales. Los datos de la investigación fueron obtenidos de las respuestas escritas, de las transcripciones de las discusiones del taller, e informes reflexivos de la lección, escritos por los participantes. Los resultados del estudio revelaron que, inicialmente, todos los participantes podían describir dificultades específicas, tales como problemas que los estudiantes de secundaria tienen para relacionar las características de sustancias con las características de las partículas constitutivas. También, en esta etapa, todos los profesores del preservicio reconocieron la importancia potencial de usar modelos de moléculas y de átomos para promover el entendimiento de los estudiantes de secundaria en la relación entre los fenómenos y las entidades corpusculares. Después del curso, todos los profesores demostraron una comprensión más profunda sobre los problemas de sus estudiantes en el uso de los modelos de la partícula. Además, más de la mitad de los participantes estaban enterados de las posibilidades y de las limitaciones de usar modelos de partículas en situaciones de enseñanza específicas.

- o) Garritz y Trinidad (2007) escribieron un artículo que versa sobre el concepto Conocimiento pedagógico de la naturaleza corpuscular de la materia; su impacto en el proceso formativo de profesores; las aplicaciones más importantes que se han mencionado en el campo de la química; las formas que existen de documentarlo; sus expresiones implícitas en cinco proyectos renovadores sobre la estructura corpuscular de la materia; y su captura en diez profesores mexicanos del bachillerato sobre este mismo tema, comparando los datos de esta captura con los datos de profesores australianos previamente obtenidos.

Una conclusión general de todos estos artículos es que para contribuir a su comprensión cabal es necesario realizar estudios sobre el CPC en tópicos específicos. Como De Jong, Veal y Van Driel (2002) han apuntado, “no se conoce mucho acerca de la base de conocimientos de los profesores de química con respecto a temas como los de la bioquímica, la tecnología química y la cinética”. Este trabajo pretende ir llenando estas lagunas, al menos en el terreno de la bioquímica y, en particular, de la biotecnología.

Hacen falta más estudios sobre el conocimiento básico con que cuentan los profesores de química de nuestros países y es muy importante conocer este aspecto para mejorar el proceso educativo de la química.

CAPÍTULO 2

Del cambio conceptual al cambio del perfil conceptual

Introducción

Según Pozo (2006), “si la década de los setenta fue para la enseñanza de la ciencia la “edad de Piaget”, la década de los ochenta puede calificarse muy bien como “la época de las concepciones alternativas”. Hasta los años noventa, se hicieron estudios que son simple relevo de las concepciones alternativas. Pero en términos de evolución de la investigación en concepciones alternativas, los estudios netamente del relevo de tales concepciones parecen ser más característicos de los años setenta hasta, quizás, los primeros años ochenta. Esos estudios (que fueron extremadamente importantes para el desarrollo de la investigación en didáctica de las ciencias) han confirmado con abundantes datos que los alumnos tienen sus teorías personales implícitas (Pozo, 1992; Rodrigo, Rodríguez y Marrero, 1993) y que tal conocimiento previo es un factor muy relevante para el aprendizaje de las teorías científicas. Quizás se pueda decir, sin mucho riesgo, que la investigación sobre las concepciones alternativas ha confirmado lo que decía Ausubel (1968) unos años antes: el conocimiento previo es el factor aislado que más influye en el aprendizaje.

El impacto de los primeros estudios sobre concepciones alternativas no solamente resultó en una cantidad enorme de investigaciones de la misma naturaleza sino que también en investigaciones con otros objetivos. ¿Cómo es la interacción entre el conocimiento previo y un nuevo conocimiento aparentemente incompatible?; ¿por qué persiste el conocimiento previo?; ¿a través de qué proceso(s) las personas cambian sus concepciones alternativas por concepciones aceptadas en el contexto científico?; ¿cómo ocurre el cambio conceptual?

Tantos fueron los intentos de contestar cuestiones de ese tipo, es decir, respecto al cambio conceptual que no sería una exageración clasificar la década de los ochenta, en lo que se refiere a la investigación en didáctica de las ciencias, como la “década del cambio conceptual”.

La década del cambio conceptual

A pesar de que, como bien señala Pozo (1992: 5), según Piaget el progreso en el conocimiento científico es esencialmente estructural y no conceptual como sugieren los estudios sobre cambio conceptual, es exactamente en una construcción de este autor que se puede encontrar un primer modelo explicativo para este tipo de cambio. En particular, la concepción piagetiana de acomodación provee una posible explicación: “Por mucho tiempo

se ha aceptado que la acomodación cognitiva requiere alguna experiencia que provocaría un estado de desequilibrio, disonancia o conflicto cognitivo en el alumno. Implícitamente se admitía que tal conflicto conduciría a una acomodación cognitiva que aparecería como un inmediato cambio conceptual” (Nussbaum, 1989: 537).

En una situación de enseñanza formal, la estrategia de conflicto implicaría que el profesor generase una disonancia cognitiva en el alumno suficientemente grande para llevar a una acomodación pero no tan grande que condujera al abandono de la tarea. El resultado de la acomodación sería un cambio conceptual.

Silveira (1991), por ejemplo, ha propuesto una estrategia en la cual el profesor empezaría la clase como si las concepciones alternativas de los alumnos fueran científicamente correctas, usándolas para explicar algunos fenómenos físicos con total acuerdo de los alumnos. Pero, a continuación, el uso de tales concepciones debería llevar a conclusiones erróneas, además de no ser capaz de explicar unas cuantas situaciones físicas.

Para Nussbaum la estrategia de conflicto recuerda la visión de Karl Popper (1987) que mantiene que las teorías son falseadas y entonces rechazadas en base a un experimento crucial. Sin embargo, otros filósofos de la ciencia argumentan que hay otros mecanismos para rechazar teorías. El conflicto entre la teoría vigente y la contra-evidencia generada por el experimento crucial no es suficiente para rechazar la teoría.

Análogamente, el conflicto cognitivo, por más crucial que sea, no parece ser suficiente para rechazar definitivamente una concepción alternativa. Los alumnos pueden siempre proponer hipótesis auxiliares para salvar sus teorías implícitas. (Según Pozo, las concepciones alternativas resultan de, o son, teorías personales implícitas con las cuales los no expertos en un área interpretan lo que sucede a su alrededor; 1992: 7)

Antes de pasar a otro modelo de cambio conceptual cabe reiterar que las estrategias de conflicto cognitivo, a pesar de aparentemente basadas en un constructo clave de la teoría de Piaget (la acomodación), no representan la visión piagetiana de cambio, pues el cambio piagetiano es estructural, relativo a operaciones cognitivas cualitativamente distintas, no conceptual, referente a conceptos específicos.

Más cerca de las visiones filosóficas de ciencia de Thomas Kuhn (1978) e Imre Lakatos (1989) que de la de Karl Popper, Posner *et al.* (1982) han propuesto un modelo de cambio conceptual que se popularizó en la década de los años ochenta.

Según dicho modelo, a pesar de que existan varias condiciones para el cambio conceptual, hay cuatro que parecen ser comunes en la mayoría de los casos:

1. Debe existir una insatisfacción con las concepciones existentes. Es improbable que científicos y alumnos hagan cambios radicales en sus conceptos a menos que perciban que pequeñas mudanzas no funcionan más.
2. Una nueva concepción debe ser inteligible. El individuo debe ser capaz de entender el nuevo concepto lo suficiente para explorar sus posibilidades.

3. Una nueva concepción debe parecer inicialmente plausible. Cualquier nuevo concepto adoptado debe por lo menos parecer tener la capacidad de resolver los problemas generados por sus predecesores.
4. Una nueva concepción debe sugerir la posibilidad de un programa de investigación fructífero. El nuevo concepto debe tener el potencial de ser extendido a otras áreas, de abrir nuevas posibilidades.

Resumiendo, según el modelo de Posner (1982) *et al* hay condiciones para el cambio conceptual cuando existe insatisfacción con la concepción que uno tiene y cuando el individuo se encuentra con una nueva concepción (científicamente aceptada) que es inteligible y le parece plausible y fructífera. Este modelo a pesar de tener otra base epistemológica (Kuhn) respecto a la estrategia de conflicto (Piaget/Popper) no es incompatible con ella. En realidad, Posner y sus colaboradores (1982) lo han propuesto como condiciones para la acomodación de una concepción científica, aunque no se comprometan con la teoría piagetiana.

Otra investigadora que toma como base el modelo kuhniano de cambio de paradigma para explicar el cambio conceptual desde el ámbito de la Psicología Cognitiva es Susan Carey (1985, 1991). Según Carey, los seres humanos nacemos con sistemas de conocimientos en algunos dominios, como el del lenguaje, el de los objetos físicos y el de los números, que nos permiten organizar los estímulos del mundo exterior. Cada uno de estos sistemas es aplicado a diferentes conjuntos de entidades y fenómenos, y están organizados alrededor de ciertos principios centrales, diferentes para cada cuerpo de conocimientos. Este conjunto de conocimientos se constituyen en teorías a partir de las cuales los conceptos son explicados. Estas teorías, al organizar los estímulos del mundo exterior, permiten que podamos percibir ciertas cosas como cayendo dentro de su dominio y, por lo tanto, razonemos sobre ellas a partir de los principios que regulan el dominio en cuestión. Estas teorías de dominio pueden sufrir modificaciones estructurales a lo largo de la vida por ejemplo, cuando los conceptos que de ellas emergen resultan inadecuados para la comprensión del mundo, lo que le permite a Carey postular que los conceptos pueden evolucionar o aprenderse a partir de lo que llama cambio conceptual. Planteándose en una posición diferente del innatismo y del empirismo que, aunque partiendo de presupuestos opuestos consideran que la adquisición de nuevos conceptos ocurre solamente por un proceso de "enriquecimiento".

La investigación realizada en los últimos años en diferentes áreas ha mostrado que las personas tenemos conocimientos intuitivos, relativamente estables y profundamente arraigados en muy diferentes dominios. Así, tanto los estudios evolutivos como instruccionales o socioculturales han identificado este tipo de representaciones sobre la naturaleza, el mundo social, las matemáticas o el mundo psicológico (Pozo *et al.*, 1999). Los objetivos y marcos teóricos de estas investigaciones han sido muy diversos, pero todas ellas acreditan la existencia de representaciones intuitivas o espontáneas, en muchos casos no conscientes, fuertemente arraigadas en el sistema cognitivo y la cultura, relativamente generalizadas, incluso entre personas pertenecientes a contextos culturales diferentes y, sobre todo, fuertemente resistentes al cambio incluso cuando se someten a un intenso esfuerzo instruccional. De hecho, los estudios sobre el cambio conceptual muestran que, en general, las estrategias instruccionales son poco eficaces para modificar en lo esencial esas

concepciones intuitivas profundamente arraigadas (por ejemplo, Schnotz, Vosniadou y Carretero, 1999).

Estas dificultades para lograr ese cambio conceptual son relevantes no sólo para mejorar el diseño de la instrucción, sino también para un mejor conocimiento de los procesos y sistemas cognitivos que están en el origen de esos conocimientos intuitivos tan difíciles de cambiar. ¿Son todos ellos igualmente resistentes al cambio? ¿Cuál es el origen y naturaleza de esos conocimientos intuitivos? Y en suma, ¿puede la educación científica modificar realmente esos conocimientos previos?

El cambio conceptual como evolución conceptual

Uno de los dominios en los que más se han investigado el cambio conceptual es el de la ciencia intuitiva. Las personas formamos representaciones relativamente estables, consistentes y resistentes al cambio sobre el funcionamiento de la naturaleza y los cambios que en ella tienen lugar. Según defienden algunos (Pozo y Rodrigo, 2001), esas representaciones constituirían verdaderas teorías de carácter implícito, que tendrían su origen en las restricciones que tanto el funcionamiento del sistema cognitivo como la propia cultura imponen a la representación del mundo.

Asumir que nuestras representaciones intuitivas del mundo natural se organizan como teorías implícitas (Pozo, 2001; Pozo y Gómez Crespo, 1999) supone aceptar que esas representaciones tienen su origen en procesos cognitivos implícitos, es decir no conscientes, y por tanto difícilmente controlables y modificables, que subyacen a buena parte de nuestras interacciones cognitivas con el mundo, pero también que esas representaciones se organizan en forma de teorías, lo que implica que se trata de representaciones abstractas, coherentes, causalmente eficaces y basadas en un compromiso ontológico.

Las ideas implícitas tienen un alto grado de éxito para la vida cotidiana, sirven para hacer muchas cosas. Un ejemplo que puede esclarecer: para educar a los hijos no hace falta estudiar psicología, todas las personas que tienen que interactuar con niños desarrollan una psicología intuitiva o la adquieren por la cultura, aunque esa psicología intuitiva del aprendizaje, como sucede con las concepciones de los alumnos sobre la química y la física, no se corresponda precisamente con las teorías científicas al respecto (Pozo *et al.*, 1999). Evidentemente, hay momentos en que sí va a hacer falta la psicología y es cuando esa relación va mal, cuando falla la educación, cuando hay problemas serios. Esto sería lo mismo que decir que alguien tiene que estudiar física o química para poder predecir los acontecimientos más cotidianos del mundo natural que lo rodea.

El funcionamiento del sistema cognitivo es un funcionamiento muy automático, muy inmediato, es decir, el individuo no hace un esfuerzo consciente para mantenerlo activo. Por lo tanto, si comparamos los problemas que hay para que un programa o modelo científico se conozca, se aplique adecuadamente, todos los supuestos y condiciones que hay que

respetar, con la facilidad con que el conocimiento cotidiano corre y funciona en la vida diaria, sin tanto rigor, sin tanto cuidado, convendremos en que no es tan fácil desechar el conocimiento cotidiano, y no existe un por qué o para qué desecharlo. El conocimiento cotidiano se basa en reglas asociativas simples, intuitivas, de pensamiento causal; es un conocimiento que va a tener un fuerte uso y una fuerte relación con la vida cotidiana y además viene perpetuado, mantenido por la cultura, por las formas de hablar en nuestra sociedad (Pozo y Gómez Crespo, 1998, analizan este conocimiento intuitivo sobre los fenómenos científicos).

Cualquiera que se tome la molestia de irse a un diccionario de la Academia para ver la definición de algunos de los términos científicos que más preocupan a los profesores de ciencias (los alumnos no diferencian entre peso y masa, entre movimiento y energía) encontraría en el diccionario que en las definiciones de energía, movimiento, fuerza, la primera acepción no es la definición científica, es decir hay en la cultura otras formas de hablar que nos resultan muy útiles y son muy importantes; por lo tanto la empresa de sustituir un conocimiento por otro es una empresa prácticamente inútil, imposible (Duit, 1999; Pozo, 1999).

Entonces ¿qué hacer? En la literatura en los años 90 (Pozo y Rodrigo, 2001) en relación con las nuevas orientaciones en la cultura, en la epistemología, en la psicología, ha surgido una alternativa distinta: la idea de que lo que tenemos que hacer es fomentar la independencia, la separación entre los contextos. Tenemos que partir de que en realidad existen diversas formas de representarse el mundo, que sirven para fines distintos y, por lo tanto, acostumbrar a los alumnos a usarlas en contextos distintos. Esto tiene mucho que ver, con la fragmentación de la cultura posmoderna que nos ha hecho perder todas nuestras certidumbres y, hoy en día, aparecen puntos de vista distintos sobre cualquier planteamiento. Hay una fuerza creciente de las posiciones relativistas, de la idea de que no existe un saber absoluto que sirva para todo, lo que sirve en un contexto puede no servir en otro.

Según Pozo (Pozo, 2003) antes teníamos un ser humano y una cultura claramente estructurados, organizados, cerrados, pero a finales del siglo pasado las producciones científicas de las ciencias sociales, de la educación y de la psicología, nos presentan más bien a sujetos modulares, fragmentados; la vieja idea de Piaget del sujeto global, único, estructurado, pasó a la historia, tenemos ahora un sujeto lleno de inteligencias múltiples, de capacidades, recursos, módulos diferenciados. Acá aparece la idea del relativismo, completamente alejada y opuesta a aquella vieja posición realista, positivista, de la que partía el conocimiento científico.

Aparece primero en la Filosofía de la Ciencia (Pozo, 2003), muy claramente, en términos de un pensamiento posmoderno, relativista, que nos hace dudar de todos los saberes. Se ha pasado, en un efecto péndulo, desde una posición en la que había un único saber verdadero a otra posición en la que nada es verdadero. Esto se ve sobre todo en el auge del constructivismo social y las psicologías discursivas, en términos de cognición situada, que acentúa la idea de que toda representación, todo modelo, responde a un contexto, se aprende en un contexto y para un contexto y que las posibilidades de transferir el conocimiento de uno a otro contexto son bastante más limitadas de lo que suponíamos.

No se trata, entonces, de enseñar al alumno principios y leyes generales, sino de enseñarle para contextos concretos y el alumno aprenderá a responder en esos contextos. Hay muchos ejemplos y muy interesantes de cómo esto es así, que la cognición situada realmente es un modelo que explica muy bien cómo funciona el sistema cognitivo humano. Lo que quizás no está tan claro son las metas de la educación. La meta de la educación es, precisamente, desituar, desubicar el conocimiento, en buena medida descontextualizarlo o transcontextualizarlo, que no sirva para aquí y ahora, sino que me sirva para regular, entender y dar sentido a las situaciones nuevas, porque el gran problema de la transferencia es que el alumno aprende este contenido para este contexto y ¿qué hace en una situación nueva, en un contexto nuevo? Eso nos plantea un problema muy serio desde el punto de vista cognitivo: la gestión de esos conocimientos múltiples (Pozo, 2003).

En definitiva una de las funciones más importantes de la educación científica es ayudar a los alumnos a compartir unas formas simbólicas extraordinariamente complejas de representar y comprender el mundo, que son los productos de las elaboraciones de la ciencia. En la sociedad posmoderna en la que vivimos los bienes materiales tienen cada vez menos importancia en la producción y cada vez van a cobrar más importancia los bienes simbólicos, la capacidad ya no de intervenir directamente sobre la realidad sino de diseñar instrumentos simbólicos que puedan modificar la realidad, podríamos decir que en cierto sentido el mundo hacia el que vamos y en el que estamos es un paraíso vygotskiano (Pozo y Rodrigo, 2001). Vygotski nos decía que había dos formas de mediar con el mundo: las herramientas, que cambian directamente el mundo, y los sistemas de signos y de mediación simbólica, que cambian a la gente que interpreta el mundo. Vivimos en una sociedad cargada de símbolos, los símbolos son riqueza material, riqueza cultural, y de privar a un alumno de esa riqueza cultural es privarle de una buena parte de sus posibilidades de desarrollo personal.

Solamente algunos autores han reconocido explícitamente la imposibilidad de efectuar esta clase de cambio, que da lugar al reemplazo de las ideas iniciales del estudiante. Solomon ha precisado “que no se han encontrado los medios para extinguirlas (las nociones diarias)” (Solomon 1983: 49-50). Chi (1991) demostró más recientemente la posibilidad de la coexistencia de dos significados para el mismo concepto, que están vinculados al contexto apropiado. Algunos autores discuten que esta coexistencia sea posible, incluso dentro de conceptos científicos e ilustra esta tesis con ejemplos de mecánica, de la óptica y de la electricidad, donde no están de acuerdo las visiones clásicas y modernas de los mismos fenómenos. Por consiguiente, “la pintura de los educadores de la ciencia de aprender debe ser extendida para poner menos énfasis en los repertorios existentes de conceptos en los estudiantes y más esfuerzo en las capacidades de los estudiantes que realizan en distinguir entre las conceptualizaciones de una forma apropiada a algún contexto específico” (Bello, 2004).

Por otra parte, algunos autores han intentado precisar las dificultades de los alumnos en abandonar las nociones diarias. El trabajo de Galili y de Bar (1992), muestra que la “regresión” de los alumnos a las visiones ingenuas, en temas que supuestamente ya habían sido comprendidos desde el ámbito científico, es evidencia adicional del proceso complicado y, a veces, contrario de la substitución de la creencia ingenua con el nuevo conocimiento adquirido en una clase de la física (Galili y de Bar 1992: 78).

Recientemente, Pozo (2006) nos expone que, tal vez algunas de las confusiones y perplejidades teóricas con las que nos encontramos cuando intentamos deslindar las diferentes formas de entender el cambio conceptual en la literatura psicológica y didáctica se deban a que unos y otros no estamos estudiando el mismo cambio conceptual sino *diferentes* tipos de cambio conceptual, que no necesariamente tienen la misma naturaleza. ¿Qué relaciones y qué diferencias hay entre el cambio conceptual epistemológico, tal como se analiza en la historia de la ciencia, y el cambio que se pretende promover a través de la enseñanza? ¿Implican todos los procesos de cambio conceptual una reestructuración radical de los conocimientos en un dominio dado o podemos identificar diversos grados o niveles de cambio conceptual? ¿Es por tanto, el cambio conceptual un proceso continuo o discontinuo? ¿Es el cambio conceptual similar en todos los dominios de conocimiento, en biología como en química, en física como en matemáticas? Este autor nos habla de al menos tres dimensiones desde las que podemos comparar los diferentes tipos de cambio conceptual: la naturaleza del cambio (epistemológica, evolutiva, instruccional), los procesos del cambio (fuerte o débil, discontinuo o continuo) y el dominio en que se estudia el cambio. Para poner orden en ese calidoscopio de posibles sentidos y tipos de cambio conceptual, podemos imaginar una especie de “cubo mágico” *tridimensional*, en el que diferentes definiciones o combinaciones de elementos en cada una de sus tres dimensiones componen figuras distintas, heterogéneas y no necesariamente coherentes.

En este sentido, Mortimer (1995) intenta profundizar y dibujar una descripción de un nuevo modelo para analizar la evolución conceptual en el salón de clase, basada en la noción de un perfil conceptual. Este modelo se diferencia de los modelos del cambio conceptual, en sugerir que es posible utilizar diversas maneras del pensamiento en diversos dominios. También sugiere que, incluso en dominios científicos, haya diferencias epistemológicas y ontológicas entre las teorías sucesivas. Podemos ver esto cuando analizamos el desarrollo de ideas importantes en ciencia, tal como el desarrollo de la teoría de la materia. Así, es necesario preparar a los estudiantes para una empresa constantemente variable si nos referimos a introducirlas a diversos dominios científicos. El nuevo modelo también se diferencia de algunos de los modelos del constructivismo, de aprender demostrando que, el proceso de la construcción del significado no sucede siempre a través de una comodidad de armazones conceptuales anteriores frente a nuevos acontecimientos u objetos, pero puede suceder a veces independientemente de conceptos anteriores.

Acordemos que “todo cambio, de hecho es cambio de alguna cosa: el cambio presupone que algo cambia”. Sin embargo, presupone todavía que, durante el cambio, esa cosa debe permanecer la misma. Podemos decir que una hoja verde cambia cuando se vuelve amarilla, pero no podemos afirmar que hubo cambio si la reemplazamos por una hoja amarilla. El principio de que lo que cambia retiene su identidad es esencial a la idea de cambio. No obstante, lo que cambia debe tornarse algo distinto: era verde, se ha tornado amarillo; era húmedo, se ha tornado seco; era caliente, se ha tornado frío. Por lo tanto, cualquier cambio es la transición de una cosa para otra que tiene, de cierta forma, cualidades opuestas. Sin embargo, al cambiar, la cosa debe permanecer idéntica a si misma (Popper, 1982: 169). Este es el problema del cambio que ha llevado a Heráclito a decir que todo está en flujo, nada queda en reposo. Es también lo que nos ha llevado a decir que el cambio conceptual en el sentido de reemplazo de una concepción (alternativa) por otra (científica) no tiene sentido.

Posiblemente, hay mucha más gente pensando según las mismas líneas y, probablemente, eso es una señal de que es tiempo, en definitiva, de abandonar el término "cambio conceptual" y modelos que lo sugieren como "reemplazo conceptual". Es tiempo de darse cuenta que evolución, desarrollo, enriquecimiento conceptual y discriminación de significados son ideas más promisorias porque no implican cambio de conceptos o de significados o puede resultar de estrategias de aprendizaje significativo.

En el presente trabajo intentamos imaginar el desarrollo conceptual en términos de construcción y discriminación de significados y nos hemos olvidado de reemplazar concepciones, una visión que nos recuerda el enfoque conductista de instalar y extinguir conductas en el repertorio del aprendiz. Aunque bien sabemos que en el proceso de enseñanza-aprendizaje el actor principal es el alumno, nuestro discurso está más dirigido hacia el profesor, por ser éste nuestro objeto de estudio. Pensamos que la noción de perfil conceptual de Mortimer nos puede arrojar datos interesantes en el estudio del desarrollo conceptual que el profesor construye en el aula.

La noción de perfil conceptual

En el III Seminario Internacional sobre Concepciones Alternativas y Estrategias Educativas en Ciencias y Matemática, realizado en la Universidad Cornell, en 1993, Eduardo Mortimer (1993) presentó un modelo de evolución conceptual en el aula que según sus palabras difiere de los modelos usuales en el sentido de que admite que es posible utilizar distintos modos de pensar en distintos dominios y que una nueva concepción no necesariamente reemplaza ideas previas y alternativas. Difiere también por sugerir que la construcción del significado no siempre ocurre por acomodación de significados previos sino que a veces puede ocurrir de modo independiente. En otro trabajo, Mortimer (1995), a partir de las ideas de Bachelard, propone la idea del perfil conceptual, según la cual las personas, incluidos los científicos, utilizan distintos modos de pensar en distintos dominios. En este caso, la enseñanza debería permitirle al estudiante tomar conciencia de las concepciones alternativas y científicas en las diferentes zonas del perfil, sin que sea necesario reemplazar o sustituir la inicial con la científica.

Mortimer (1995), utiliza la noción del "perfil conceptual" en vez de "perfil epistemológico" para introducir las características, en el perfil que, diferencian de la noción filosófica de Bachelard, pues la intención es encontrar un modelo para describir cambios en pensamientos individuales, como resultado del proceso de enseñanza.

En la filosofía de Bachelard (1968), hay una explicación detallada de diversas maneras de conceptualizar la realidad en términos de conceptos científicos. Bachelard demostró que una sola doctrina filosófica no es bastante, para describir todas las diversas maneras de pensar, cuando intentamos explicar un solo concepto. Según Bachelard, "un solo concepto era bastante para dispersar las filosofías y demostrar el estado incompleto de algunas filosofías era atribuible al hecho de que se inclinaron sobre un aspecto, iluminaron exclusivamente una faceta del concepto." (Bachelard 1968: 34). Según Bachelard, debe ser posible dibujar

para cada uno, en forma individual, su perfil epistemológico relacionado con cada concepto científico. A pesar de las características individuales del perfil, como resultado de un psicoanálisis individual de cierto concepto, las categorías que constituyen las diversas divisiones del perfil son formas de las formas individuales de pensamiento, pues pertenecen a un intelecto colectivo.

Bachelard (Bachelard 1968) ilustró su noción con el concepto de la masa. La siguiente tabla ilustra las categorías que éste utilizó para analizar este concepto.

Tabla 2.1. Categorías utilizadas por Bachelard para analizar el concepto de masa.

Categoría	Descripción
Realista	Corresponde a nuestras nociones diarias, arraigadas fuertemente en común - detecta el razonamiento. La masa se atribuye solamente a las cosas pesadas y grandes, y “corresponde a un aprecio cuantitativo áspero - codicioso, como era, para la realidad. La masa se aprecia con los ojos”. Estas características actúan como obstáculos epistemológicos al desarrollo del concepto, puesto que bloquean conocimiento en vez de resumirlo. También explican la dificultad para niños más jóvenes en la atribución de la masa a los materiales sutiles, como el aire y otros gases
Empirista	Corresponde a una determinación exacta y objetiva dada por el uso empírico de escalas. Este uso claro, simple e infalible de un instrumento, substituye la experiencia primaria y da al concepto empírico una claridad positiva, aun cuando la teoría del instrumento es desconocida.
Clásica racional	Se relaciona con su uso dentro de un cuerpo de nociones y no simplemente como elemento primitivo de la experiencia directa e inmediata. Con Newton, la masa se define como relación entre la fuerza y la aceleración. “Fuerza, aceleración, la masa se establece correlativo en una relación que sea claramente racional puesto que es analizada perfectamente por las leyes racionales de la aritmética”
Racional moderna	Con el advenimiento de la relatividad, el concepto de la masa da vuelta en una noción compleja, depende de un cuerpo más complicado de nociones. La noción anterior de la masa independiente de la velocidad, del tiempo absoluto y del espacio, y de una base para un sistema de unidades absolutas lleva a una función complicada de la velocidad. La noción de la masa absoluta nunca ha tenido cualquier significado. Además de esto, en la física del relativismo, la masa no es muy diferente a la energía. “En fin, la noción simple hace la manera para una noción compleja, por otra parte, abrogando su papel como elemento. La masa sigue siendo una noción básica y esta noción básica es compleja”

El perfil epistemológico, en cada concepto, es diferente de un individuo a otro. Es influenciado fuertemente por las diversas experiencias que cada persona tiene, por sus diversas raíces culturales. Las figuras 2.1 y 2.2 ilustran dos perfiles epistemológicos diferentes, relacionados con el concepto de masa. La altura de cada sector en un perfil corresponde a la extensión en la cual esta “manera de considerar” está presente en el pensamiento del individuo, que es definido por su fondo cultural y por las oportunidades que el individuo ha tenido que utilizar cada división del perfil en su vida. La altura de un sector es más alta, el más fuerte esta característica del concepto está en el perfil en su totalidad. Tenemos que tener cuidados en interpretar esta clase de representación, pues la altura de cada sector es una valoración áspera cualitativa. El perfil del concepto de la masa en la figura 2.1, tiene el sector empírico como el más fuerte, se relaciona con una persona de profesión químico y con varios años de trabajo en laboratorios químicos, usando escalas como parte de actividades diarias. Un perfil hipotético de un físico (figura 2.2) pudo ser totalmente diferente. El sector empírico de su perfil es más débil que el primero, probablemente porque él utiliza apenas escalas en rutinas del trabajo. En la remuneración, el físico tiene un sector racional más fuerte, relacionado con la experiencia de las leyes del Newton. El sector moderno del perfil del físico es también más fuerte que el primero porque él está más al corriente de la teoría de la relatividad y de sus implicaciones.

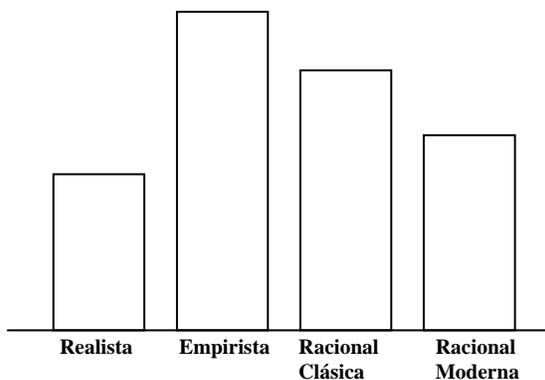


Figura 2.1. Perfil epistemológico de un químico para el concepto de masa

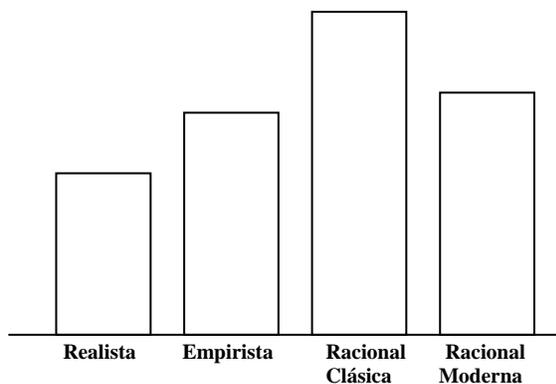


Figura 2.2. Perfil epistemológico de un físico para el concepto de masa

Uno podría creer que es difícil que un químico o un físico tengan un concepto realista de la masa, atribuyendo la masa solamente a las cosas pesadas y grandes, valorando la masa con los ojos. Convendría, puesto que alguien podría probar que un químico o un físico nunca ha utilizado la masa en un sentido metafórico en su lengua diaria, él nunca hablaría sobre una “masa de papeles en la cartera” o una “masa de los detalles que se resolverán”. En estos sentidos, la masa es claramente realista y sería absurdo hablar sobre una masa pequeña de los detalles que se resolverán. Una característica importante que puede distinguir al químico y el perfil del físico, al de un estudiante que, los anteriores son conscientes de su perfil y pueden utilizar cada noción en el contexto apropiado, mientras que el último no logra este sentido.

El perfil conceptual debe tener algunas semejanzas con el perfil epistemológico, tal como jerarquías entre las diversas zonas, por las cuales cada zona sucesiva es caracterizada por tener categorías con un poder explicativo mayor que sus antecedentes. Sin embargo, algunos elementos importantes tienen que ser diferentes a la noción de Bachelard. El primero es la distinción entre las características epistemológicas y ontológicas de cada concepto. A pesar de trabajar con un mismo concepto, cada zona puede no sólo ser epistemológicamente diferente a otra, sino también ontológicamente, puesto que las características conceptuales cambian a medida que usted se mueva por los perfiles.

Otra característica importante del “perfil conceptual” es que sus niveles no científicos no son obligados por las escuelas filosóficas de pensamientos, pero sí por las convicciones epistemológicas y ontológicas del individuo. Mientras que estas características individuales son influenciadas fuertemente por la cultura, se puede intentar definir un perfil conceptual como “sistema superindividual de las formas de pensamiento” que se pueden asignar al individuo dentro de la misma cultura. A pesar de las diferencias entre los perfiles individuales, las categorías por las cuales cada perfil conceptual resulta exhausto son iguales. El perfil conceptual es, por lo tanto, dependiente del contexto, puesto que se arraiga fuertemente en el fondo distinto del individuo y del contenido, puesto que refiere a un concepto particular. Pero al mismo tiempo, sus categorías son independientes del contexto, como dentro de una cultura tenemos las mismas categorías por las cuales las zonas del perfil son determinadas. En la civilización occidental industrial, las divisiones científicas del perfil son bien definidas por la historia de ideas científicas, como parte del popperianismo “tercer mundo” (Popper, 1972). Las zonas precientíficas para muchos conceptos son también bien definidas como consecuencia de las dos décadas pasadas de la investigación intensiva, sobre los “conceptos alternativos de los estudiantes”, de que han identificado la misma clase de conceptos relacionados con el mismo concepto científico en diversas partes del mundo.

Tomando en consideración, la noción del perfil conceptual (PC), el problema de aprender y de enseñar ciencia se puede considerar de una nueva manera. Es posible enseñar un concepto en cierto nivel del perfil sin referencia a un nivel menos complejo puesto que es epistemológicamente y ontológicamente diferente. En este sentido, el proceso de aprendizaje puede ser pensado como la construcción de un cuerpo de las nociones basadas en nuevos hechos y experimentos presentado a los estudiantes en el proceso de enseñanza. El nuevo concepto no depende de los anteriores y se podría aplicar a uno nuevo, de diverso dominio. Solamente, cuando la concepción alternativa forma un obstáculo epistemológico u ontológico al desarrollo del concepto, en un nivel más complejo, es necesario ocuparse de esta contradicción, que podría suceder en cualquier momento durante el proceso de enseñanza y no sólo al principio. La superación de esta contradicción significa encontrar una manera de explicarla, que es posible en el nivel más complejo del concepto que se ha enseñado, pero no significa abandonar la vieja manera de verla, que continúa formando la parte del perfil individual.

Para planear la enseñanza acordando el PC tenemos que determinar las diversas divisiones del perfil para cada concepto e identificar los obstáculos epistemológicos y ontológicos. Hay una fuente de información amplia, referente a conceptos alternativos en la literatura, que se puede utilizar para identificar las características del concepto en su nivel elemental,

y para establecer cuáles de estas características son obstáculos al desarrollo de una nueva zona del perfil. La historia de la ciencia es otra fuente importante de la información, no sólo para esta clase de nivel elemental pero también para los niveles desarrollados del perfil.

En virtud de que cada concepto puede tener diversas características y diversas divisiones del perfil, no hay regla o secuencia general de los pasos que se pueden aplicar a cualquier concepto, según lo sugerido por algunos acercamientos del constructivismo. En vez de pasos universales (por ejemplo, licitación de ideas anteriores, su clarificación e intercambio dentro del grupo de la clase, exposición a las situaciones del conflicto y construcción de las nuevas ideas, seguida por la revisión del progreso en entender) la noción conceptual del perfil sugiere que el proceso de enseñanza y sus pasos dependan de las características epistemológicas y ontológicas específicas de cada zona del perfil del concepto que se enseñará.

Sin embargo, podemos considerar dos momentos distintos en el proceso de aprendizaje. El primero corresponde a la adquisición del concepto en un nivel específico del perfil y dependiendo de la naturaleza de los obstáculos epistemológicos y ontológicos identificados están las zonas anteriores del perfil conceptual. El papel del profesor no sólo es supervisar un proceso adaptativo, precisando nueva evidencia y demostrando relaciones entre la teoría y el experimento. El profesor también tiene el papel fundamental de identificar los obstáculos así como de intentar reducirlos al mínimo y bajarlos, para ayudar a superarlos. De esta manera, él realiza un sistema de diversas funciones que no se puedan arreglar en una secuencia de pasos: para hacer la agenda explícita; para tratar los obstáculos y las características epistemológicas del conocimiento científico de ser aprendido; para reducir los grados de libertad que los alumnos tienen que manejar en la tarea de reconocer y de superar estas barreras que se interpongan entre sus nociones y el nuevo; para generalizar las nuevas ideas y dar a los estudiantes la oportunidad de generalizarlas, y para llamar a los estudiantes a reflexionar en sus propias ideas, a comparar estas ideas con las ideas científicas y a estar enterado del desarrollo de sus ideas.

El segundo momento importante en el proceso de aprendizaje es el del alumno que alcanza el sentido de su propio perfil, que permite la comparación entre diversas áreas del perfil así como una evaluación de su energía relativa. En este proceso, los estudiantes serán conscientes de las limitaciones de sus conceptos alternativos pero sin sobreestimarlos. El mismo proceso sucederá en un nivel más avanzado, cuando los estudiantes tienen que restringir el dominio de un viejo concepto científico, como aprenden y son enterados de un nuevo nivel de su perfil. Esto es qué sucede, por ejemplo, cuando él aprende una opinión mecánica del quantum de la materia y puede ver las limitaciones de una visión atómica clásica.

El proceso de alcanzar el sentido de su perfil conceptual no es una tarea fácil en el proceso de aprendizaje. Implica una cierta clase de abstracción en la cual la mente refleje en sí mismo. En opinión de Piaget (Piaget 1977), depende de la capacidad del individuo de funcionar en el segundo nivel, funcionando sobre una operación, que significa que el individuo tiene que adquirir la capacidad de analizar sus pensamientos y nunca más siguen sumergida en sus funciones mentales. El individuo adquiere una vez esta capacidad, él puede realizar este análisis y utilizar criterios como coherencia, consistencia lógica y

acuerdo con experiencia. Además de esto, él está más flexible y abierto a otras ideas, y puede compararlas con sus propias ideas, criticar y superar sus propias ideas cuando es necesario.

Vygotsky se expresa de la misma forma, y utiliza el “sentido para denotar el conocimiento de la actividad de la mente -el sentido de ser consciente” (Vygotsky 1962: 91). Según él, el “sentido y el control aparecen solamente en una última etapa en el desarrollo de una función, después de ella se ha utilizado y se ha practicado incondicionalmente y espontáneamente. Para sujetar una función al control intelectual, debemos primero poseerlo” (Vygotsky 1962: 90).

Para lograr este nivel del sentido, los estudiantes tienen que experimentar un proceso de generalizar los nuevos conceptos en una gran cantidad de situaciones diversas. En este proceso el nuevo concepto puede adquirir la estabilidad que se empleará en una nueva situación, incluso potencialmente disturbar uno. Los disturbios (en un significado de Piaget, Piaget 1977) y las situaciones problemáticas desempeñan un papel fundamental en curso de realización del sentido. Es decir para adquirir el sentido de un concepto debemos utilizarlo en las situaciones nuevas y problemáticas, esa demanda su uso consciente. En estas nuevas situaciones hay una tendencia fuerte para que un estudiante utilice los conceptos anteriores, de que pertenece al nivel no-científico del perfil conceptual. Esto sucede porque los conceptos anteriores son más familiares a él y es, generalmente, más fácil relacionar algo nuevo con una estructura conceptual más familiar que a uno nuevo, que acaba de construirse. La adquisición de estabilidad para el nuevo concepto tiende a ser baja, sobre todo cuando se le somete a una gama de disturbios y de situaciones problemáticas, en este proceso los estudiantes deben adquirir el sentido no sólo del nuevo concepto científico, sino también el de las relaciones entre los diversos niveles de su perfil conceptual, y saber cuándo es más conveniente el uso de un nivel que de otro de los niveles.

El proceso de enseñanza incluye, por lo tanto, el uso explícito de ideas alternativas, de su crítica y de la evaluación de su dominio. Sin embargo, no incluye la supresión de ideas alternativas, ni levantar o bajar el estatus del concepto de una persona, entendido como “el grado a el cual el concepto resuelve las tres condiciones (ser inteligible, plausible y fructífero)”. Según el PC, no podemos bajar o levantar la plausibilidad o la productividad de un cierto concepto, sino demostramos solamente en qué dominio puede ser considerado como plausible y fructífero. Nadie puede sobrevivir sin sentido común. Incluso las frases profesionales de las aplicaciones de un científico por ejemplo “cierren la puerta para que no entre el frío”. Esta manera de ver el mundo se incorpora en gran parte como característica cultural de la vida diaria. Una persona puede adquirir la capacidad de criticar su significado teniendo en cuenta maneras más sofisticadas del pensamiento. Sin embargo, suprimir los conceptos alternativos significa a veces suprimir pensamiento del sentido común y su modo de la expresión, la lengua diaria, que es la manera más comprensiva de compartir el significado en una cultura y permite la comunicación entre todos los varios grupos especializados que compartan la misma lengua materna. Suprimirlo significa suprimir la posibilidad de diversos grupos de compartir el significado dentro de la misma cultura.

Para ejemplificar lo anterior, Mortimer (1995) aplica la noción de cambio conceptual en la enseñanza de la “teoría de la materia”; del análisis de las categorías que constituyen las diversas zonas de los perfiles conceptuales del átomo y de los estados físicos de la materia determina algunas conclusiones, sobre la relación entre diversas nociones en un perfil conceptual. Referente a los estados físicos de la materia, el nuevo concepto de átomo puede explicar algunas características de los conceptos sensibles y empíricos anteriores, sin negarlos. En este sentido, un proceso de enseñanza no conduce a un cambio conceptual, sino a un cambio en el perfil conceptual del estudiante, aumentando una zona racional del perfil y restringiendo los dominios de otros (el sensible-realista y el empírico). Los estudiantes que emergen del proceso de enseñanza conservarían todas las ideas que tenían antes. Sin embargo, cuenta con que los que han cambiado su perfil y sentido alcanzado de este proceso podrían reconocer diversos dominios de cada idea así como su marco jerárquico, donde algunas ideas explican otras.

Lo que propone para la enseñanza el modelo del cambio conceptual es conocer las concepciones alternativas de los estudiantes y acercarlas a los conceptos científicos, pero sobre todo que los estudiantes sean conscientes de su perfil para que puedan utilizar cada noción en el momento apropiado.

CAPÍTULO 3

Biología

En este capítulo vamos a hablar de la biotecnología, que es el contenido sobre el cual versa esta tesis del conocimiento pedagógico **del contenido**. Para analizar el contenido de la biotecnología fue necesario profundizar en sus aspectos históricos, científicos, en sí, y, finalmente, educativos. Como resultado de dicha profundización se da este capítulo.

Introducción

El término “biotecnología” es relativamente nuevo para el gran público. Pero, la biotecnología está presente en la vida cotidiana más de lo que la gente se imagina. De hecho, la biotecnología es una actividad antigua, que comenzó hace al menos 4000 años de años, cuando el hombre descubrió que el almacenamiento de diversos alimentos bajo condiciones adecuadas daba como resultado "fermentaciones" que añadían valor pala dable y/o nutrimental a los mismos. Tal es el caso del pan, el vino, la leche agria y los quesos madurados, por mencionar a los más destacados. En estos procesos intervienen microorganismos que transforman componentes del jugo de frutas o de cereales en alcoholes, ácidos orgánicos, ésteres y/o algunos otros compuestos con características aromáticas que son los responsables del sabor, pero además se producen vitaminas y se produce una digestión parcial de los componentes nutritivos, lo que incide directamente en sus propiedades nutrimentales.

Aunque en ese entonces los hombres no entendían cómo ocurrían estos procesos, ni conocían la existencia de microorganismos, podían utilizarlos para su beneficio. Estas aplicaciones constituyen lo que se conoce como biotecnología tradicional y se basa en la obtención y utilización de los productos del metabolismo de ciertos microorganismos. Se puede definir la **biotecnología tradicional** como “la utilización de organismos vivos para la obtención de un bien o servicio útil para el hombre”. En este sentido, podrían considerarse a la agricultura y a la ganadería tradicionales como disciplinas de la biotecnología, sin embargo, estas disciplinas poseen un carácter propio y sólo se les considera dentro de la biotecnología moderna, cuando se emplean métodos modernos, derivados de la ingeniería genética, para diversificar y fortalecer los productos agrícolas y pecuarios mediante el uso de organismo genéticamente modificados (ver más adelante).

Actualmente, los científicos comprenden mucho más cómo ocurren los procesos biológicos que permiten la fabricación de productos biotecnológicos. Esto les ha permitido desarrollar nuevas técnicas a fin de modificar o imitar algunos de esos procesos y lograr una variedad mucho más amplia de productos. Los científicos hoy saben, además, que los microorganismos sintetizan compuestos químicos y enzimas que pueden emplearse

eficientemente en procesos industriales. Estos conocimientos dieron lugar al desarrollo de la **biotecnología moderna**.

A diferencia de la biotecnología tradicional, la biotecnología moderna surge en la década de 1970, y utiliza técnicas, denominadas en su conjunto **ingeniería genética**, para modificar genes de un organismo y/o transferirlos a otro. El esquema de la figura 1 resume la definición actual del término biotecnología:

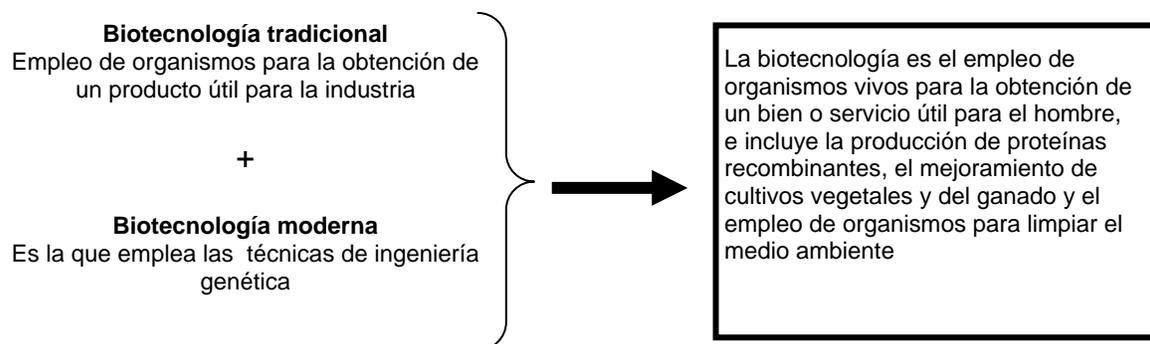


Figura 3.1. Algunas definiciones de las biotecnologías.

Aunque la propuesta de Watson y Crick sobre la estructura del DNA, así como los estudios de Arthur Kornberg y otros científicos sobre los mecanismos de duplicación y expresión de la información contenida en el material genético fueron fundamentales para la aparición de la biotecnología moderna, ésta nació en 1970, cuando Arber y Smith descubren las llamadas “enzimas de restricción” que son proteínas que cortan el DNA en sitios específicos y como tijeras moleculares, permiten el aislamiento de fragmentos de DNA que portan información para características definidas. Smith confirma las teorías de Werner Arber al descubrir una enzima de restricción producida por la bacteria *Haemophilus influenzae*. En 1978 obtienen ambos, acompañados por Daniel Nathans, el Premio Nobel de Fisiología o Medicina. Por supuesto, también fue de gran relevancia el conocimiento de otras enzimas capaces de unir los fragmentos cortados para así formar nuevos arreglos de material genético, además de proteínas capaces de copiar la información, etc., que como ya se mencionó, habían sido descubiertas y estudiadas anteriormente.

El escenario estaba preparado para que Cohen, Chang, Boyer y Helling (1973) realizaran su experimento histórico en el que, por primera vez en un tubo de ensayo demostraron que es posible insertar el DNA de una rana en el DNA de la bacteria *Escherichia coli*. Cuatro años más tarde, un mexicano, Francisco Bolívar y colaboradores (1977) presentaron a la comunidad científica un plásmido (doble cadena de DNA circular) utilizado por ellos como vector de clonación. Dos años después el mismo Bolívar participó en el grupo (Goeddel *et al.*, 1979) en el que, gracias a la biotecnología moderna, fue posible producir insulina humana en bacterias y, consecuentemente, mejorar el tratamiento de la diabetes (ver figura 3.2).

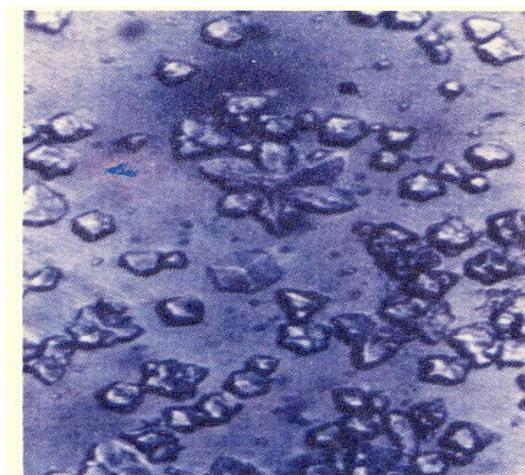


Figura 3.2. Cristales de insulina humana producida en bacterias vía la ingeniería genética, en el Instituto de Biotecnología de la UNAM. Fuente: Bolívar (2000).

Por ingeniería genética también se fabrica la quimosina, enzima clave para la fabricación del queso y que evita el empleo del cuajo en este proceso. En la tabla 3.1 se presentan algunas de las proteínas recombinantes producidas industrialmente hoy.

Gracias a las investigaciones de otro mexicano Luís Herrera-Estrella, fue posible transferir a organismos vegetales, genes provenientes de animales, hongos, bacterias, o de otras plantas. Así, la ingeniería genética también es hoy una herramienta fundamental para el mejoramiento de los cultivos vegetales. Por ejemplo, la transferencia de un gen proveniente de una bacteria a una planta se presenta en el maíz Bt. Dicha proteína, normalmente presente en ciertos bacilos del suelo produce la muerte de las larvas de un grupo particular de insectos del tipo de las mariposas, que normalmente destruyen los cultivos de maíz. Al transferirle el gen correspondiente, ahora el maíz fabrica esta proteína y, por lo tanto, resulta refractaria al ataque del insecto. Esto es lo que se conoce como «organismos genéticamente modificados», que son definidos en el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología como “cualquier **organismo vivo** que posea una **combinación nueva de material genético** que se haya obtenido mediante la aplicación de la **biotecnología moderna**”.

La biotecnología moderna avanza y, en la actualidad, son muchos los países que utilizan las técnicas de ingeniería genética para la obtención de diferentes productos que tienen aplicación en la producción de alimentos, de medicamentos, y de productos industriales. La actual biotecnología es una empresa intensamente interdisciplinaria, caracterizada por la reunión de conceptos y metodologías procedentes de numerosas ciencias para aplicarlas tanto a la investigación básica como a la resolución de problemas prácticos y la obtención de bienes y servicios. El avance de la biotecnología dependerá cada vez más de esta colaboración entre disciplinas, y en el uso de lenguajes y paradigmas comunes, así como en que cada tipo de especialista comprenda los logros y limitaciones de las otras ramas biotecnológicas.

Tabla 3.1. Listado en el que se muestran algunas de las proteínas obtenidas en las industrias farmacéutica y alimentaria.

Producto recombinante	Utilización
Insulina humana	Diabetes
Interferón-	Leucemia
Interferón-	Infecciones bacterianas, cáncer
Interleucina-2	Inmunoterapia contra el cáncer
Hormona de crecimiento humana	Enanismo
Hormona de crecimiento bovina	Producción de leche y cRNAe en ganado
Activador de plasminógeno celular	Infarto agudo del miocardio
Factor de necrosis tumoral	Cáncer
Factor VIII-C	Hemofilia
Enteropoyetina	Anemia y falla renal crónica
-amilasa	Tratamiento de textiles
Superóxido dismutasa	Transplante de riñón
Reninas	Producción de quesos
Vacuna hepatitis B	Infección por virus de la hepatitis
Vacuna polio	Infección por virus de la polio

Del DNA a la biotecnología moderna. Un breve análisis histórico

Las leyes de la herencia fueron descubiertas por el monje Gregor Mendel en 1865, bajo las siguientes premisas:

1. Las características de un organismo son determinadas por sólo un par de factores, uno que viene del padre y otro de la madre.
2. Los factores no se mezclan sino que se transmiten intactos y al azar.

En 1900, son redescubiertas las leyes de Mendel por Correns, De Vries y Tschermarck. El término «genética» fue propuesto en 1903 por William Bateson. El término «gene» fue adoptado hasta 1909, como una respuesta a la «variabilidad» de la transmisión de caracteres. Al principio no era claro que los genes fueran objetos materiales. Morgan (1910) fue primero un crítico de la genética, ya que decía que tenía explicar los hechos mediante la existencia de factores causales «escondidos», pero luego fue uno de sus más leales defensores.

La naturaleza del material genético fue objeto de polémicas durante mucho tiempo, hasta que cerca de la mitad del siglo pasado una serie de autores (los más importantes Avery, McLeod y MacCarthy, 1944) establecen firmemente que el material de la herencia reside en el ácido desoxirribonucleico (DNA). El conocimiento del DNA, su estructura y función fue determinante para el desarrollo de la biotecnología moderna.

La estructura de doble hélice del DNA, que obtuvieron los investigadores Watson y Crick (1953a, 1953b), proporcionó respuestas a muchas de las preguntas que se tenían sobre la herencia. Predijo la autorreplicación del material genético y la idea de que la información genética estaba contenida en la secuencia de las bases que conforman el DNA. Más aún, con el correr de los años y de las investigaciones, se pudo determinar que todos los seres vivos contienen un DNA similar, formado a partir de las mismas unidades: los nucleótidos. Este código genético mediante el cual se “escriben” las instrucciones celulares es común a todos los organismos. Es decir que el DNA de un ser humano puede ser “leído” dentro de una bacteria, y una planta puede interpretar la información genética de otra planta diferente. A esta propiedad de la información genética se la conoce como “universalidad del código genético”. Aunque la universalidad del código tiene algunas excepciones, estas son pocas y circunscritas a situaciones muy particulares.

El código genético universal es uno de los conceptos básicos para comprender los procesos de la biotecnología moderna. Por ejemplo, la posibilidad de generar organismos genéticamente modificados, con características hereditarias alteradas de manera más o menos dirigida y/o transgénicos, que asimilen en forma funcional los "genes" portadores de las características de un organismo y las manifiesten como propias.

La síntesis de proteínas de los organismos conocidos emplea el mismo código genético y en general el mismo proceso. La universalidad de este proceso básico demuestra la interrelación de la vida de este planeta. Las células de los organismos sintetizan RNAm, y los codones de todos los RNAm tienen el mismo significado, por lo que los ribosomas de las bacterias más simples son capaces de leer el código genético y sintetizar las proteínas de una célula del cerebro humano.

Todas las formas de vida terrestre son el resultado de la variación genética seguida por una selección natural. La mutación y la recombinación pueden originar la formación o adición de nuevos genes, destrucción o delección de genes antiguos, cambios menores o mayores en la estructura de las proteínas, y cambios en la regulación génica.

Hoy que los científicos entienden casi en detalle la herencia y la variación genética, han comenzado a experimentar con estos procesos. Las personas han empezado a aprovechar

los mecanismos naturales de variación genética y síntesis de proteínas para manipular el contenido genético de los organismos y dirigir la expresión de sus genes. Estos experimentos no son diferentes a la evolución natural, excepto por el hecho de que los humanos son los que los controlan. Están actuando en una escala de tiempo que es inmensurablemente más rápida que la escala natural.

Estructura y función del DNA

En la biología, el DNA tiene la función de “guardar información”. Es decir, contiene las instrucciones que determinan la forma y características de un organismo y sus funciones, ya sea de forma directa o indirecta. Además, a través del DNA se transmiten esas características a los descendientes durante la reproducción, tanto sexuada como asexuada. Todas las células, procariotas y eucariotas, contienen DNA en sus células. En las células eucariotas el DNA está contenido dentro del compartimento intracelular conocido como núcleo celular, mientras que en las células procariotas, que no tienen un núcleo delimitado, el material genético está localizado en el único compartimento interno que poseen y que se denomina citoplasma celular.

Para que dicha información pueda ser manejada, el DNA debe guardar una organización funcional. Un primer nivel de organización es el empaquetamiento de este DNA en estructuras formadas por DNA y proteínas que denominamos cromosomas. En las células eucariotas los cromosomas poseen moléculas de DNA lineales, mientras que los organismos procariotas, como las bacterias, presentan cromosomas circulares, lo que quiere decir que el DNA se cierra sobre si mismo de manera que no presenta extremos. Para cada especie, el número de cromosomas y el contenido de material genético es fijo. Por ejemplo, los seres humanos tienen 46 cromosomas en cada célula somática (es decir, todas las células menos los gametos sexuales). Los cromosomas están duplicados y podemos reconocer 23 pares, de los cuales 22 son llamados autosomas y un par es sexual, debido a que permite la determinación del sexo de un individuo (una mujer tendrá un par de cromosomas sexuales XX y un varón tendrá un par XY). Para mantener su organización y que la célula pueda manipular estas estructuras, cada cromosoma debe tener sitios reconocibles que identifiquen sus extremos y su parte central. La parte central, llamada centrómero sirve de sitio de anclaje durante los procesos de duplicación del material genético, evento que precede a la división de las células. Por ello, cuando el material genético se ha duplicado es posible observar a un cromosoma con dos brazos, ubicados por arriba y por debajo del centrómero (ver la figura 3.3). Cuando los cromosomas se duplican, previo a la división celular, cada cromosoma está formado por dos copias completas de las moléculas de DNA que partan la información genética correspondiente a dicho cromosoma y que están sujetas por el centrómero, a lo que se designa como *cromátidas hermanas*.

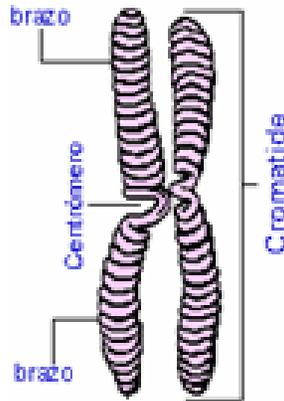


Figura 3.3. Esquema de un cromosoma duplicado

En realidad, el DNA ya posee cierta duplicidad en la información, ya que se compone de dos cadenas complementarias, cada una formada por polímeros de nucleótidos. Un nucleótido consiste en una unidad mínima (o monómero) que está compuesto por un azúcar (desoxirribosa), un grupo fosfato y una base nitrogenada. Se dice que las bases nitrogenadas son cuatro: adenina (A), timina (T), citosina (C), y guanina (G). Aunque estrictamente hablando, esto no es completamente cierto, ya que estas bases fundamentales pueden sufrir diversas modificaciones químicas que permiten marcar sitios en el DNA y regular el uso de la información genética en las células. Sin embargo, tales modificaciones no alteran el código informacional del DNA. Los nucleótidos se encuentran unidos uno a otro mediante enlaces covalentes de tipo doble fosfoéster, formando uniones cola con cabeza para dar lugar a largas cadenas de nucleótidos. Basados en su numeración química decimos que la cabeza del DNA (el primer nucleótido) es el extremo 5' y la cola es el extremo 3' (figura 3.4).

Como se dijo antes, una característica notable del DNA es su habilidad para asociarse, mediante un tipo de interacciones físicas denominadas puentes de hidrógeno (figura 3.4), con otra molécula de DNA, con un acomodo en el que la cola de una cadena queda enfrentada con la cabeza de la hebra opuesta y viceversa. Lo interesante de dicha asociación es que si frente a cada A ponemos siempre una T, frente a cada G una C y viceversa, la estabilidad de la asociación es muy elevada y las dos cadenas permanecen juntas a temperatura ambiente, aún si se les aísla de la célula y se les somete a diversas manipulaciones. Decimos entonces que dichas cadenas son complementarias. Por sus características químicas y su geometría tridimensional, dos hebras de DNA complementarias adoptarán una forma de doble hélice, semejante a una escalera de caracol donde los barandales son cadenas de azúcares cementadas por uniones fosfodiéster y los escalones son las bases nitrogenadas apareadas mediante sus puentes de hidrógeno (ver la figura 3.5).

En la células eucariontes la molécula de DNA se asocia a proteínas, llamadas *histonas*, así como a otras proteínas no isotónicas permitiendo una cuidadosa y exquisita dinámica entre estados compactos y relajados que se presenta en el cromosoma (véase la figura 3.6). Esta asociación de DNA y proteínas se conoce como cromatina. La cromatina puede estar

enrollada en mayor o menor grado, dependiendo de la etapa en que se encuentra la célula; por ejemplo, cuando el DNA se ha duplicado antes de que la célula se divida, la cromatina se compacta en su mayor grado, y como resultado se pueden visualizar los cromosomas duplicados al microscopio como corpúsculos con forma de X (como ya se mencionó, ver figura 3.3).

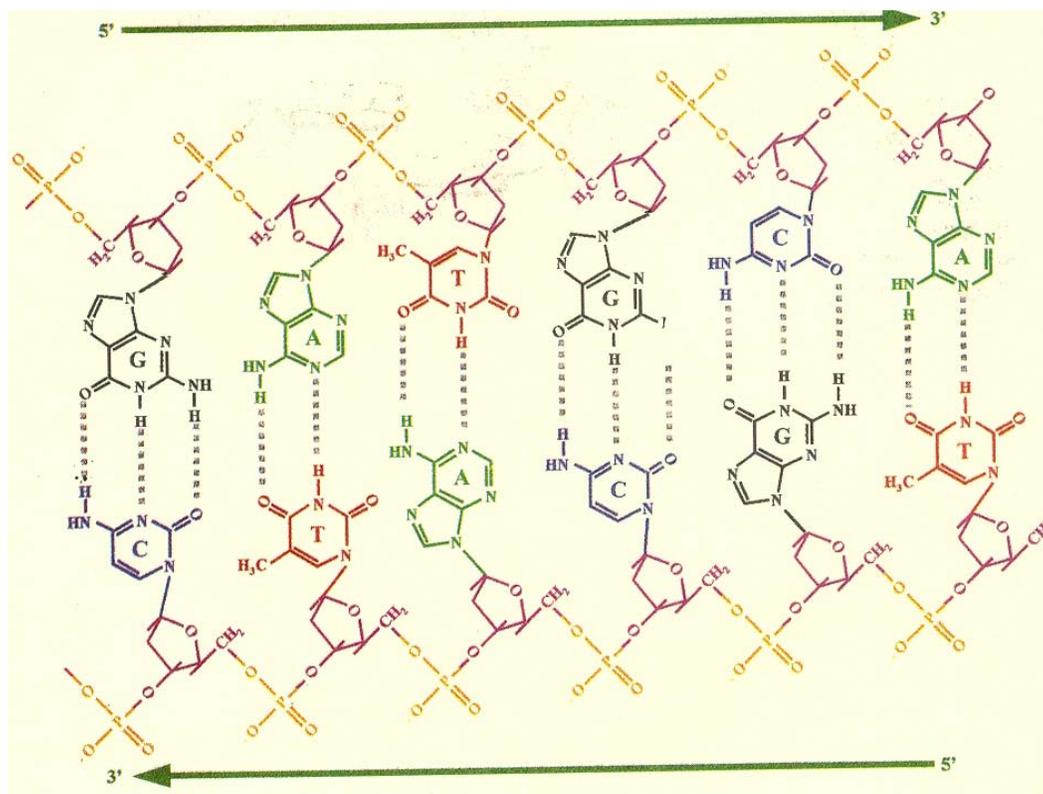


Figura 3.4. Estructura de las dos cadenas complementarias. En esta figura se muestra una representación en dos dimensiones de las dos hélices de una molécula de DNA. Cada una de las dos hélices es un polímero donde los monómeros son los nucleótidos. En el nucleótido, cada una de las bases nitrogenadas (A, G, C o T) se encuentra unida a una molécula de azúcar, la desoxirribosa, y ésta a su vez se encuentra unida a un grupo fosfato. Cada hélice es una larga cadena de nucleótidos químicamente unidos a través del grupo fosfato de un nucleótido y la desoxirribosa del nucleótido adyacente. El esquema muestra, adicionalmente, que las dos hélices de una molécula de DNA son antiparalelas, es decir, que en una de ellas los azúcares están orientados en una posición de 180° con relación a los azúcares de la segunda hélice. Fuente: Bolívar (2000).

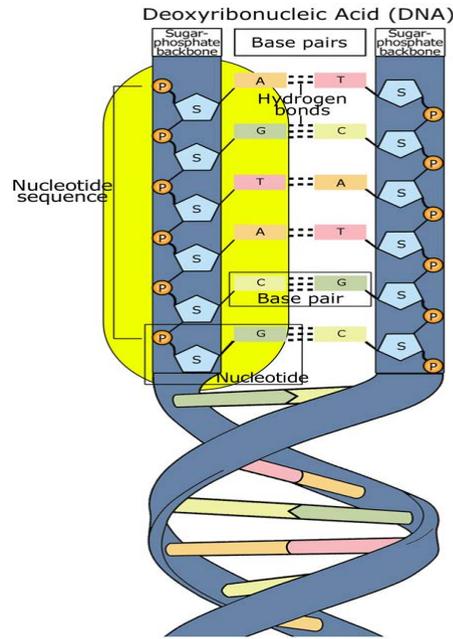


Image adapted from: National Human Genome Research Institute.

Figura 3.5. Esquema que muestra diagramáticamente la estructura del DNA. El DNA se forma a partir de la unión de nucleótidos, que pueden tener cuatro bases nitrogenadas diferentes: A, T, C, G. La doble hélice de DNA con las bases nitrogenadas complementarias que se ubican hacia dentro y establecen uniones de puente de hidrógeno (o fuerzas de atracción) entre sí que mantienen la estructura de doble hélice de la molécula. Las desoxirribosas (azúcares) y los grupos fosfato constituyen las columnas de la molécula (ver la figura 3.5). Puede observarse que existe un triple puente de hidrógeno entre una citosina y una guanina, y un doble puente entre una timina y una adenina. La exacta correspondencia de dichos puentes en el arreglo espacial de los pares GC y los pares AT es la razón por la cual la complementariadad del DNA se hace posible sólo con dichas combinaciones.

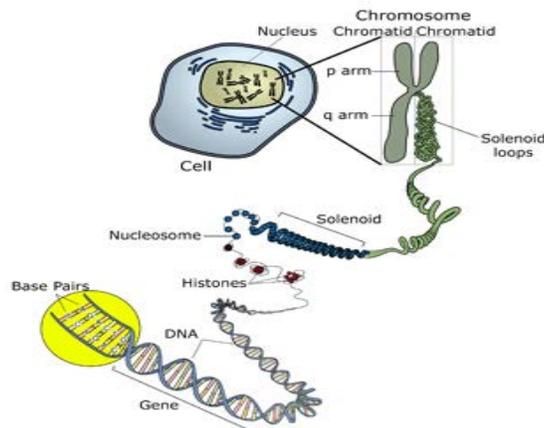


Image adapted from: National Human Genome Research Institute.

Figura 3.6. La imagen representa una célula eucariota en la cual se amplía un cromosoma, y se muestra la estructura del DNA que lo constituye. Un fragmento particular del DNA forma un gen que determina una característica particular.

Cuando la célula se divide, cada nueva célula que se forma debe portar toda la información genética, que determine sus características y funciones. Para eso, antes de dividirse, el DNA debe replicarse, es decir generar una copia de sí mismo. Durante la replicación, las hebras complementarias de DNA se disocian (se debilitan los puentes de hidrógeno entre ellas), exponiendo las bases que antes se mantenían protegidas en el interior de la doble hélice. Cada cadena complementaria original servirá como molde para la síntesis de otra cadena complementaria nueva. Para eso, la enzima DNA-polimerasa coloca nucleótidos siguiendo la regla de apareamiento A-T y C-G. El proceso de replicación del DNA es semiconservativo, ya que al finalizar la duplicación, cada nueva doble hélice de DNA estará conformada por una hebra “vieja” (original) y una nueva (ver la figura 3.7).

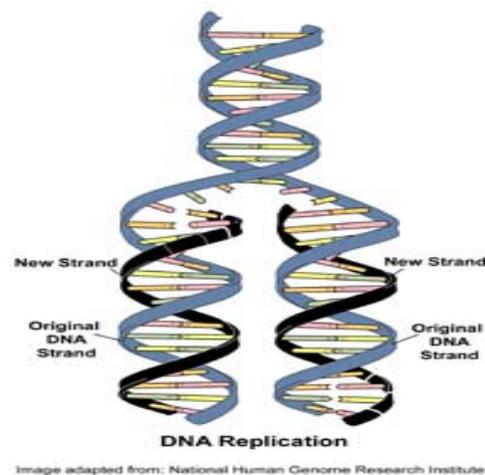


Figura 3.7. Replicación del DNA.
Replicación semiconservativa del DNA de una célula eucariota.

¿Cómo se interpretan las instrucciones escritas en el DNA?

La información está guardada en el DNA en el código de las bases A, T, C y G que se combinan de manera aperiódica para generar una secuencia de letras que contiene información. Como en cualquier pieza de información, la interpretación de los mensajes "codificados" en el DNA requiere de señales que indiquen en donde comienza y termina un capítulo, como separar un párrafo de otro, en donde termina y comienza una nueva palabra, etc. Así, los genes son segmentos del DNA cuya secuencia nucleotídica codifica para una pieza de información.

Una analogía útil para comprender estos conceptos es comparar la información genética con un libro. En un libro, hay conjuntos de información agrupados por ideas organizadas coherentemente para formar capítulos. Dentro de cada capítulo, algunos conjuntos de ideas se pueden separar de otros para facilitar su lectura ordenada en apartados debidamente identificados por encabezados. Cada idea básica estaría contenida en un párrafo cuyo inicio y final se identifican por signos de puntuación y, de cuando en cuando, puede aparecer

dentro de los párrafos o entre ellos información complementaria para aclarar las ideas, tales como comentarios aclaratorios y notan al calce, etc. Las páginas del libro están empastadas y numeradas para facilitar su consulta. Finalmente, el elemento fundamental de información sería pues una palabra, que consiste en una agrupación de letras con un significado propio (que se verá más adelante). En el DNA los apartados que contienen secuencias palabras en párrafos para expresar ideas concretas serían los genes y que son piezas de información por si mismas. El inicio de los genes está identificado por encabezados que llamamos promotores y cuyo fin posee signos de puntuación que llamamos terminadores. Los capítulos serían conjuntos de genes que se encuentran agrupados para facilitar su expresión ordenada y coordinada según las necesidades celulares. El libro sería en si todo el DNA contenido en un cromosoma y el genoma sería una colección de libros que forman parte de una serie o de una enciclopedia dividida en volúmenes.

Un gen no es una estructura que se vea sino que se define a nivel funcional. Es una secuencia que va a empezar en algún lugar del DNA y va a terminar en otro. Para conocer un gen se determina experimentalmente la secuencia de bases en el DNA de un organismo, alrededor de la región en la que sospecha (por otro tipo de evidencias) que se encuentra el gen. Se analiza dicha secuencia para identificar los puntos de inicio y final del gene y luego puede interpretarse la información contenida en dicho gen. Aunque nuestro conocimiento de los secretos que subyacen a la interpretación de la información genética dista de ser completo. Gran parte del proceso aquí descrito es ya rutinario en los laboratorios de biotecnología modernos.

Salvo muy particulares excepciones, que resultan minoritarias, las células de un organismo pluricelular, tales como nosotros o una planta superior, tienen el mismo genoma, o conjunto de genes. Pero, en cada célula se expresan solamente los genes que se necesitan. Por ejemplo, aunque una célula de la piel tiene la misma información genética que una célula del hígado, en la piel se expresarán aquellos genes que den características de piel, mientras que los genes que dan características de hígado, estarán allí "apagados". Por el contrario, los genes que dan rasgos de "hígado" estarán activos en el hígado e inactivos en la piel. Lo que no se usa se encuentra mayormente compactado y silenciado Este empaquetamiento puede ser temporal o definitivo, lo que explica la dificultad de que una célula de piel pueda usarse para reponen neuronas perdidas o tejido cardiaco dañado. Dicha regulación de los genes que se expresan o se reprimen en una célula está gobernada por la interacción entre diversas proteínas y las señales que se encuentran en el DNA señalando los sitios en los que residen los genes.

La transcripción

A fin de que la información genética necesaria se exprese, la información contenida en el DNA es primero copiada en una molécula con un contenido de información equivalente al del DNA, pero que es de tamaño menor y que, generalmente, no posee doble hebra. Dicha molécula se conoce como RNA y posee una estructura semejante a la del DNA, excepto

que la azúcar empleada en los nucleótidos es ligeramente distinta y una de las cuatro bases, la timina, es substituida por otra funcionalmente equivalente, desde el punto de vista informacional, que es el uracilo (ver figura 3.8).

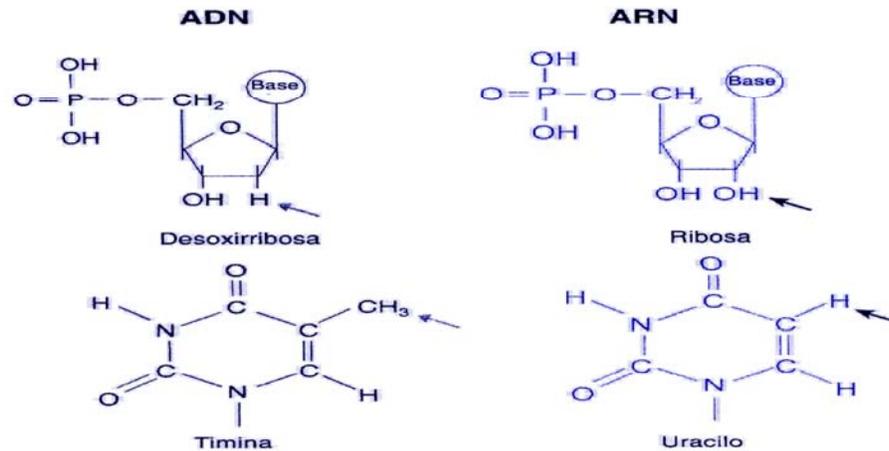


Figura 3.8. Diferencias químicas entre DNA y RNA.

Como en este copiado la información no es interpretada, decimos que la información genética está siendo transcrita y el proceso se denomina transcripción.

Durante la transcripción la enzima *RNA polimerasa*, copia la secuencia de una hebra del DNA y fabrica una molécula de RNA complementaria al fragmento de DNA transcrito. El proceso es similar a la replicación del DNA, pero la molécula nueva que se forma es de cadena simple, como ya se indicó (figura 3.9).

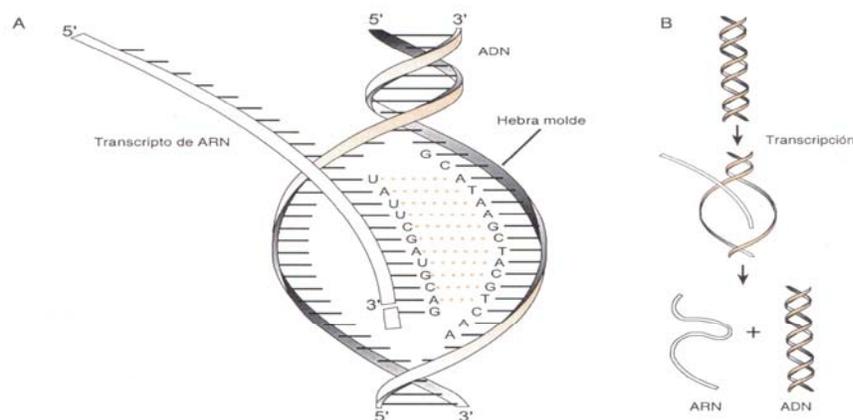


Figura 3.9. Transcripción. (A) El apareamiento de bases entre un ribonucleótido entrante y el molde de DNA dirige la formación de una molécula de RNAm complementaria. El DNA molde se cierra detrás del sitio de síntesis del RNA. Liberando la nueva molécula de RNA. (B) En la transcripción, una hebra de DNA individual se utiliza como molde. El transcripto de RNA es liberado dejando intacta la molécula de DNA.

Algunas moléculas de RNA son funcionales por si mismas y cumplen papeles centrales en la célula. Sin embargo, la mayoría de ellas son sólo intermediarios portadores de la información del DNA que deben ser interpretados. A este conjunto de moléculas de DNA portadoras de un mensaje se les denomina RNA mensajeros (RNAm).

La transcripción es un proceso que se encuentra muy bien regulado en la célula y, aunque la RNA polimerasa es una proteína de complejidad intermedia, el reconocimiento de los sitios de inicio de la lectura (los promotores) y los tiempos en que dicha lectura debe realizarse, así como la intensidad de la misma son sujetos de un control preciso que involucra asociaciones gigantescas de proteínas cuya dinámica y control está aún lejos de ser comprendida en suficiente detalle.

Las moléculas de RNA pueden también formar parte de estructuras celulares, tales como los ribosomas. Los ribosomas con corpúsculos de RNAr (es decir ribosomal), que interactúan con el RNAm y un conjunto de "diccionarios" llamados RNAt (de transferencia) para permitir la interpretación de los mensajes. Dado que esta conversión implica la síntesis de moléculas con una estructura química y un código informacional diferente, tal proceso se conoce como traducción.

La síntesis de proteínas

Para que el DNA dirija el desarrollo de los organismos, la información debe ser convertida en proteínas, la materia prima de los organismos.

Una proteína es una cadena de aminoácidos. Los aminoácidos son moléculas orgánicas formadas principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Las proteínas se forman a partir de 20 tipos diferentes de aminoácidos los cuales se unen entre sí en orden variable para formar cadenas lineales de unas pocas o miles de unidades. Así como el DNA está compuesto a partir de nucleótidos, las proteínas están compuestas a partir de aminoácidos. La función proteica de una proteína es posible por su estructura tridimensional exclusiva. Las proteínas cumplen funciones variadas. Hay proteínas estructurales, otras son enzimas, otras transportan oxígeno como la hemoglobina, hay proteínas involucradas en la defensa autoinmune, como los anticuerpos, otras cumplen funciones de hormonas como la insulina, etcétera.

Entonces, el DNA determina las características de un organismo porque determina la secuencia de aminoácidos de todas sus proteínas, pero ¿cómo determina el DNA la secuencia de aminoácidos de la proteína?

La molécula del RNA mensajero se traslada a los ribosomas donde ocurre la etapa de traducción. Durante esta etapa el ribosoma lee la secuencia de nucleótidos del RNA mensajero por tripletes o tríos de nucleótidos, denominados codones (equivalentes a las palabras de nuestro libro hipotético). A medida que el ribosoma recorre la secuencia de codones va reclutando las entradas de diccionario (RNAt) que corresponden a los codones

del mensaje y que le indican el aminoácido en el que debe traducir cada codón. Entonces, va uniendo covalentemente dichos aminoácidos, para así formar a la proteína.

El DNA contiene un **código genético** para los aminoácidos en el cual cada aminoácido esta representado por una secuencia de tres bases de DNA (tabla 3.2). En el código genético, las palabras no van separadas por espacios (porque tal significado sólo se usa para indicar el final del mensaje). Por ello, las palabras se identifican porque todas tienen siempre la misma longitud. Si se considera la combinación de cuatro bases en grupos, habrá que tomar grupos de tres para contener más de 20 significados (correspondientes a los 20 posibles aminoácidos de las proteínas). En el código genético se generan un total de $4 \times 4 \times 4 = 64$ codones posibles. Cada codón tiene un significado, que puede ser un aminoácido, o un codón de paro (o codón sin sentido). La tabla 3.2 muestra el código genético o “diccionario” que permite traducir la información escrita en el lenguaje de los ácidos nucleicos (nucleótidos) al lenguaje de las proteínas (aminoácidos) y que es casi universal, o sea, es válido para todos los seres vivos, en la mayoría de las situaciones.

El segmento completo de DNA necesario para determinar la secuencia de aminoácidos de una proteína individual es un **gene**.

Primera base en el triplete	A				G				C				T													
Segunda base en el triplete	A	G	C	T	A	G	C	T	A	G	C	T	A	G	C	T										
Posibilidad para la tercera base del triplete	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C										
Aminoácido codificado	Lisina	Asparagina	Arginina	Serina	Treonina	Isoleucina	Metionina	Isoleucina	Ac. glutámico	Ac. aspártico	Glicina	Alanina	Valina	Glutamina	Histidina	Arginina	Prolina	Leucina	Terminación	Tirosina	Terminación	Triptófano	Cisteína	Serina	Leucina	Fenilalanina

Tabla 3.2. El código genético. Esta tabla relaciona los conjuntos de tres bases llamados codones, con su interpretación durante la síntesis de las proteínas. Así, la secuencia ATG (AUG en el RNAm) codifica para el aminoácido metionina, y el codón TTT (UUU en el RNAm) codifica para el aminoácido fenilalanina en todos los organismos vivos. Como este código sólo contiene significados para 20 aminoácidos, pero hay 64 codones, varios codones pueden ser sinónimos, es decir codificar para el mismo aminoácido (por ejemplo, al aminoácido glicina le corresponden los codones GGU, GGC, GGA y GGG). Adicionalmente, hay tres codones que no codifican para aminoácido alguno y que se interpretan como fin del mensaje, en tanto que el inicio del mensaje corresponde siempre al aminoácido metionina.

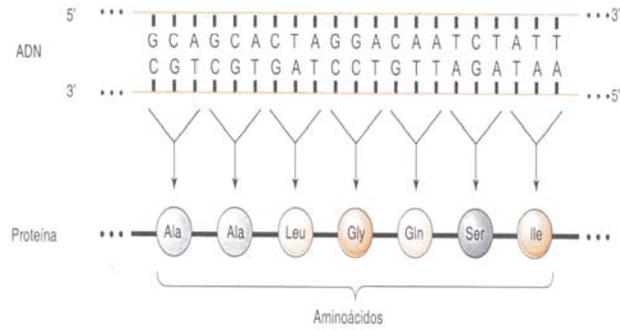


Figura 3.10. La secuencia de bases del DNA determina la secuencia de aminoácidos de las proteínas.

En los ribosomas, que sirven como plataforma de ensamblado y control para las interacciones entre el mensaje y las entradas de "diccionario". Cada codón del RNAm es leído por el RNA, llamado *RNA de transferencia (RNAt)*, que actúa como un "adaptador" entre la información que lleva el RNAm y los aminoácidos que deben ir colocándose para formar la proteína correspondiente. El RNAt es muy pequeño comparado con los RNAm y tiene una secuencia, denominada *anticodón* que aparea (es decir, es complementaria) con el codón. Cada RNA de transferencia tiene un anticodón y "carga" un aminoácido en particular. Por ejemplo, el RNAt que tiene el anticodón UCA, se aparea al codón AGU, y carga el aminoácido serina (Ser). De la misma manera, el RNAt que carga tirosina (Tyr) se aparea, a través de su anticodón, con el codón UAC. Así se va formando una cadena polipeptídica (proteína) a medida que los anticodones de los RNAt reconocen sus respectivos codones en el RNAm (ver la figura 3.11).

El proceso de expresión de la información genética consta, pues, de tres eventos entrelazados coordinados. La duplicación del material genético para la transmisión de la herencia (llamado replicación). La transcripción de fragmentos de información, o gene, controlada según la necesidad celular y la síntesis de las proteínas codificadas en mensajes de los RNA transcritos. Este flujo de información se conoce como el "dogma central de la biología", se puede resumir con el siguiente esquema:



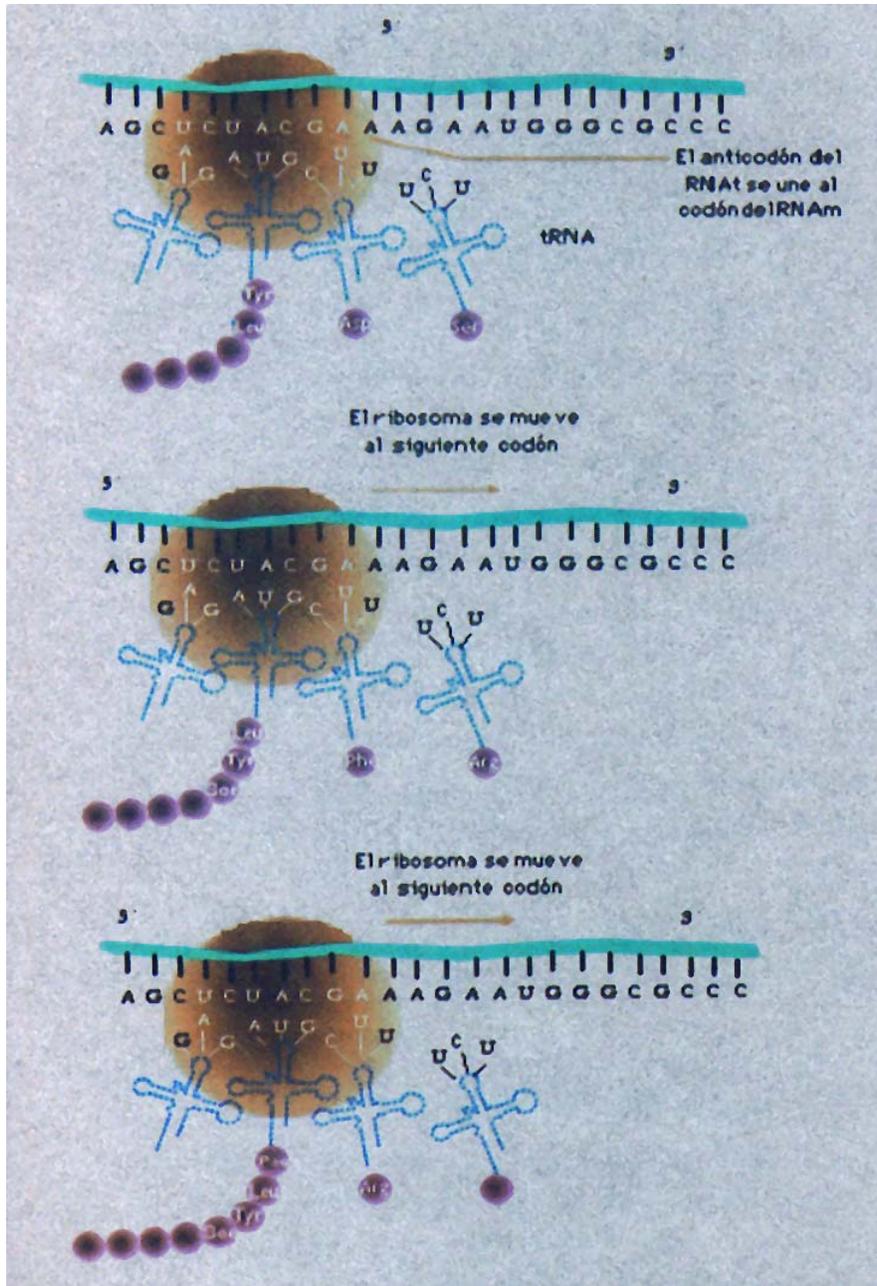


Figura 3.11. Traducción del RNA mensajero. En el ribosoma, durante el proceso de lectura del RNA mensajero, ocurre un proceso similar al que acontece en las cabezas de una grabadora cuando la cinta musical se lee y se traduce en música. Los codones (las ternas de bases nitrogenadas) del RNAm se aparean con los anticodones de los RNA de transferencia, que se encuentran “cargados” de los aminoácidos respectivos y así ocurre el proceso de transferencia de un nuevo aminoácido a la cadena de aminoácidos naciente. Fuente: Bolívar (2000).

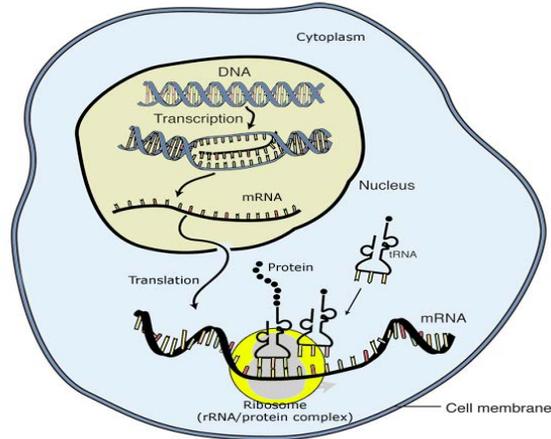


Image adapted from: National Human Genome Research Institute.

Figura 3.8. Durante la primera fase se construye el RNA mensajero a partir de un gen del DNA. En la segunda fase los codones del RNA de transferencia, con una dada terna de bases nitrogenadas traen un cierto aminoácido a la proteína que se está construyendo en el citoplasma.

¿Qué son las mutaciones?

Aunque la maquinaria molecular que conduce el proceso de duplicación del DNA es sorprendentemente precisa y está sujeta a numerosos controles de verificación de la fidelidad en el copiado. Diversos factores externos, ya sea de naturaleza química, como agentes oxidantes, física como radiaciones ionizantes, o biológica, como los virus y otros agentes infecciosos, pueden dañar al DNA y alterar la información contenida en su secuencia nucleotídica. La evolución de los organismos vivos ha conducido así a la aparición de complejos mecanismos de reparación, que corrigen las alteraciones y reducen la pérdida de información a niveles realmente mínimos. Sin embargo, aproximadamente una de cada mil millones de veces un nucleótido es colocado en lugar de otro, algún segmento de la secuencia se pierde, o segmentos de información son insertados en donde antes no estaban. Dado que el DNA de una célula es muy grande (por ejemplo el genoma humano tiene aproximadamente unos 5 mil millones de pares de bases), cada vez que una célula se divide existe la posibilidad de que algún pequeño cambio ocurra. Entonces tendremos una mutación. Aún así, dado que se trata de cambios pequeños, en muchas ocasiones, las consecuencias son perceptibles sólo si se analiza el genoma del individuo que porta la mutación. Decimos entonces que el cambio ha ocurrido en el genotipo. En otras ocasiones, el cambio puede ocurrir en sitio que posee gran importancia en el funcionamiento celular y el resultado puede traer cambios manifiestos a las características observables del individuo que porta dicho cambio. Por ejemplo, podría tratarse de un cambio en el aminoácido que ocupa una cierta posición en una proteína y que era necesario para que dicha proteína cumpliera su papel celular, o bien, podría cambiar un promotor y el gene no ser ya reconocido como tal por la maquinaria molecular responsable de su transcripción. Decimos entonces que se ha producido un cambio en el genotipo que se traduce en cambios fenotípicos (es decir observables). Algunos de estos cambios pueden no

ser de consecuencias graves, como es el caso del carácter color de ojos, donde el color claro se produce por pérdida de la función de ciertas enzimas involucradas en la fabricación de los pigmentos del iris. Otros, en cambio, pueden ser de gravedad, como el caso de la hemofilia en donde la cascada de eventos que conducen a la coagulación de la sangre en una herida no sea completa a causa de una proteína que perdió su actividad enzimática y que es parte central de este proceso.

Las mutaciones son causa de variación hereditaria y, por ende, también en buena medida de la evolución. En realidad, las mutaciones son la base de la biodiversidad. Es decir que las pequeñas diferencias en el DNA es lo que determina que los seres vivos sean diferentes entre sí. Esta diversidad en las características sumada a la existencia de un código genético común entre los seres vivos, son dos hechos determinantes en el desarrollo de la biotecnología moderna.

De los genes a la ingeniería genética

Cuando los científicos comprendieron la estructura de los genes y cómo la información que portaban se traducía en funciones o características, comenzaron a buscar la forma de aislarlos, analizarlos, modificarlos y hasta de transferirlos de un organismo a otro para conferirle una nueva característica. Justamente, de eso se trata la ingeniería genética, que se podría definir como un *conjunto de metodologías que permite modificar de manera dirigida los genes de un organismo, o bien transferir genes de un organismo a otro diferente al de origen en un contexto que permita su expresión (producir las proteínas o los RNAs para las cuales estos genes codifican)*. El DNA que combina fragmentos de organismos diferentes se denomina DNA recombinante. En consecuencia, las técnicas que emplea la ingeniería genética se denominan técnicas de DNA recombinante. Así, es posible no sólo obtener proteínas recombinantes de interés sino también mejorar cultivos y animales. Los organismos que sufren alguna modificación en su genoma por métodos dirigidos o que reciben un gen que les aporta una nueva característica se denominan *organismos genéticamente modificados (OGM)*, el nombre *transgénicos* designa concretamente a aquellos organismo que fueron modificados de manera deliberada para expresar un gene proveniente de una fuente externa. A su vez, la ingeniería genética es la que caracteriza a la biotecnología moderna, que implementa estas técnicas en la producción de bienes y servicios útiles para el ser humano, el ambiente y la industria (vease tabla 3.3).

Tabla 3.3. Pasos básicos de ingeniería genética empleados para transformar una planta de maíz y obtener un maíz transgénico

Metodología	Ejemplo: Obtención de maíz Bt que produce una proteína recombinante
1. Identificar un carácter deseable en el organismo de origen.	1. Identificar el carácter “patogenia específica para ciertos insectos dañinos al cultivo de maíz” en el organismo de origen, la bacteria del suelo <i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt).
2. Determinar el mecanismo de dicha función	2. Identificar a las proteínas y/o moléculas responsables de conferir dicha característica.
3. Encontrar el gen responsable del carácter deseado (gen de interés), aislarlo y caracterizarlo.	3. Encontrar al gen que lleva las instrucciones para la síntesis de las proteínas que confieren la característica, aislarlo y, secuenciarlo y caracterizarlo.
4. Combinar dicho gen con otros elementos necesarios (vector) para que éste sea funcional en el organismo receptor.	4. Combinar este gen con otros elementos genéticos para que sea funcional en una planta: especialmente una secuencia promotora (y ligarlo dentro de un vector adecuado para transformar plantas)
5. Transferir el gen de interés, previamente introducido en el vector adecuado, al organismo receptor.	5. Transferir este gen a células de maíz (organismo receptor).
6. Crecer y reproducir el organismo receptor, ahora modificado genéticamente.	6. Identificar las células de maíz que recibieron el gen (células transformadas) y regenerar, a partir de estas células, una planta adulta resistente a insectos.

Herramientas de la tecnología basada en el DNA

El DNA es manipulado constantemente en la naturaleza. Es copiado, cortado, y vuelto a unir una y otra vez en las células vivas. Los agentes naturales para la manipulación del DNA son las enzimas y proteínas que componen la maquinaria de la duplicación del DNA y, otra serie de complejos capaces de mediar fenómenos de "recombinación" del material genético, muchas veces, responsables de la reparación del genoma, o de la redistribución de material genético hacia las células hijas durante la división celular, pero que en ocasiones introducen mutaciones al momento de realizar estos procesos. Las tecnologías basadas en el DNA emplean estas enzimas, las cuales han sido identificadas, purificadas y estudiadas por los científicos para entender mejor su funcionamiento y, también, para utilizarlas en el laboratorio. A continuación, se presentan algunas de las enzimas celulares empleadas en la biotecnología para manipular el DNA y la expresión de proteínas.

Endonucleasas de restricción

Las endonucleasas de restricción reconocen secuencias específicas de bases en una molécula de DNA y cortan en esa secuencia o en un sitio cercano a ella (figura 5.1). Las enzimas de restricción más comúnmente utilizadas reconocen secuencias palindrómicas (secuencias que se leen igual en ambos sentidos). Las endonucleasas de restricción son fabricadas por las bacterias y han sido diseñadas para proteger sus productos bacterianos frente a DNA invasor, como puede ser el genoma de un virus infeccioso para la bacteria (llamado bacteriófago). Sus nombres indican el organismo del cual han sido purificadas (EcoRI, de *Escherichia coli*, sistema de restricción I) y el término restricción proviene del hecho de que sirven para restringir el crecimiento de otras bacterias competidoras y/o bacteriófagos).

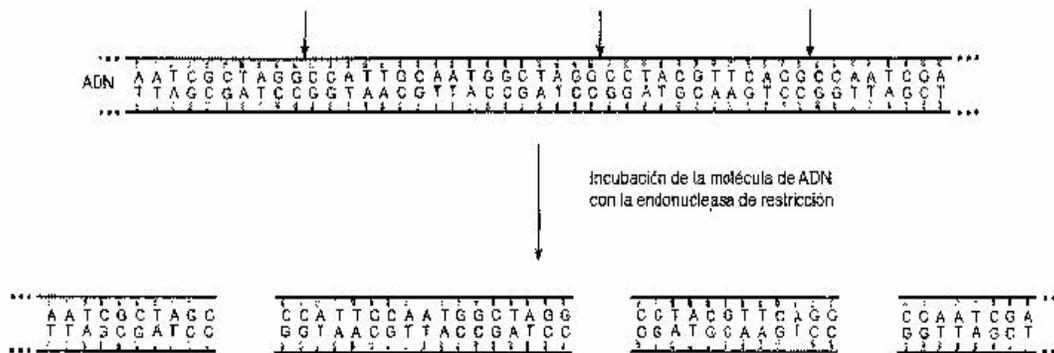


Figura 3.16. Las endonucleasas de restricción reconocen y cortan sitios específicos de la molécula de DNA. Las flechas indican los sitios de corte de una endonucleasa

Una de las tareas que más tiempo les ha consumido a los pioneros de la biotecnología ha sido la purificación de las enzimas para su empleo en el laboratorio. Los genes para la mayoría de esas enzimas han sido clonados y modificados para su producción a gran escala. Muchas compañías producen y comercializan estas valiosas proteínas tanto para uso comercial como de investigación. Las enzimas más utilizadas en los métodos de la ingeniería genética son:

DNA polimerasas

Como ya se indicó, las DNA polimerasas son enzimas que copian DNA. Sintetizan una cadena nueva individual que es complementaria a la cadena molde de la molécula parental, por adición de nuevos nucleótidos al extremo 3' de la cadena naciente. Para sintetizar nuevo DNA, las DNA polimerasas requieren obligatoriamente una hebra molde y una secuencia iniciadora (cebador o *primer*). Un cebador es cualquier trozo de DNA que pueda hibridar de manera complementaria con la cadena molde, de manera que su extremo 3' queda disponible para ser el punto de inicio de la nueva cadena de DNA. La primera base

del DNA naciente se une por medio de una unión fosfodiéster al extremo 3' del cebador, y es complementaria a la base de la cadena molde. La síntesis avanza a medida que se añaden más bases a la nueva cadena. Un tipo muy importante de DNA polimerasas son aquellas que provienen de organismos termofilos (que crecen a muy altas temperaturas), ya que estas se pueden calentar y enfriar repetidamente para permitir que el copiado de un molde se inicie, se complete y se reinicie repetidas veces, lo que es la base del proceso de amplificación del DNA por reacción en cadena conocido como PCR ("polymerase chain reaction").

RNA polimerasas

Las RNA polimerasas son las enzimas que leen una secuencia de DNA y sintetizan una molécula de RNA complementaria. La RNA polimerasa requiere de una secuencia de bases especiales en el molde de DNA, denominada promotor, como señal del sitio de inicio de la transcripción, pero no necesita un cebador.

DNA ligasas

Las ligasas unen trozos de DNA (o RNA) formando nuevas uniones fosfodiéster entre los segmentos.

Transcriptasas inversas

Como sugiere su nombre las transcriptasas inversas leen una secuencia de RNA y sintetizan una secuencia de DNA complementario (a menudo abreviado DNAc o cDNA). Las transcriptasas inversas han permitido a los científicos sintetizar un gen, como DNA, a partir de un RNAm. Esta habilidad es útil para tratar con genes eucariotas, dado que los genes originales a menudo están divididos en el cromosoma, en pequeñas piezas separadas por secuencias que no codifican para la proteína y que se llaman intrones. Los RNAm de estos genes han sido sometidos a *splicing* o procesado en la célula eucariota, los intrones han sido eliminados y queda solamente la secuencia codificada. La transcriptasa inversa puede convertir este RNAm en un gen "preprocesado" porque estará formado únicamente por la secuencia codificante para la proteína, de esta manera, en cualquier manipulación posterior o en la introducción a otros organismos, sólo se transfiere la información relevante para la síntesis de esa proteína y se omite la información adicional contenida en los intrones, cuya utilidad en el organismo receptor puede ser nula, o incluso resultar inconveniente. Por ejemplo, en las bacterias no existe la maquinaria para realizar el proceso de transcripción de los intrones y empalme, por lo que deben recibir una versión del gen eucariota sin intrones para poder expresar el producto proteico correcto. Así, el proceso de fabricación del DNA complementario a partir de un RNAm es importante para expresar genes eucariotas en procariotas.

Vectores naturales

Adicionalmente a la manipulación de DNA fuera de la célula, los biotecnólogos deben ser capaces de introducir el DNA modificado en la célula hospedadora de elección y mantenerlo de manera estable en ella. Otra vez, la naturaleza proporciona las herramientas. El término vector se emplea para describir cualquier vehículo que transporte el DNA dentro de una célula hospedadora. Los plásmidos y los virus son vectores naturales muy útiles tanto para la introducción de DNA en una nueva célula hospedadora como para mantener ese DNA después de que haya sido introducido.

Los plásmidos comunes en la naturaleza se emplean para la transferencia de DNA por transformación. Además de ser pequeño (y por lo tanto fáciles de manipular) son replicados por la célula hospedadora y transmitidos a la células hijas durante la división celular. Por lo tanto, un gene nuevo que haya sido introducido en un vector plasmídico se mantendrá de manera estable en las células de la progenie. La forma más común de clonar genes es insertar el gen en un plásmido y luego introducir el plásmido en la célula hospedadora.

Los biotecnólogos también emplean virus como agentes de transferencia de DNA. Muchos virus normalmente combinan su DNA con el de su hospedador. Los biotecnólogos pueden introducir genes de interés en los genomas de estos virus y luego permitirles introducir el nuevo DNA a la célula hospedadora y realizar la recombinación entre ambas moléculas de DNA. Una ventaja de los virus como vectores es su extrema especificidad. Genes extraños pueden ser introducidos en tipos celulares específicos mediante un virus apropiado. Esta característica de los virus puede transformarlo en herramientas muy valiosas para los procedimientos de terapia génica.

Como siempre, la naturaleza seleccionó los plásmidos a los virus para los fines propios de los organismos que los portan, por lo mismo, la mayoría de ellos no presentan los sitios apropiados para facilitar la clonación molecular de fragmentos de DNA, ni para la inserción de cDNA que pueda luego ser expresado, porque, entre otras cosas, las enzimas de restricción pueden no cortarlos o reducirlos a pedazos de un tamaño inútil para su uso en laboratorio, además de que cuando se inserta un cDNA, no necesariamente este quedará "alineado" con un promotor que permita que a su reintroducción en la bacteria, el gene se exprese. Por ello, mediante complejas técnicas de manipulación los científicos y compañías biotecnológicas han desarrollado plásmidos y virus modificados que poseen los sitios necesarios para la clonación molecular, con o sin expresión del fragmento de DNA introducido y que además se pueden mantener de manera estable en cepas bacterianas, levadura o cultivos de células humanas o vegetales que son de fácil manejo en el laboratorio.

Técnicas de Ingeniería Genética o del DNA Recombinante

La obtención de un organismo transgénico mediante técnicas de ingeniería genética implica la participación de un organismo que dona el gen de interés y un organismo receptor del gen que expresará la nueva característica deseada. Por ejemplo, para el caso particular de la producción de una variedad de maíz que resista el ataque de insectos, el organismo dador es la bacteria del suelo denominada *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) de la cual se extrae el gen que determina la síntesis de la proteína insecticida y el organismo receptor del gen es la planta de maíz. Las etapas y técnicas involucradas en este proceso serían:

1. Corroborar que existe un gen que codifica para la característica de interés.

Cuando se encuentra una característica en un organismo, que resulta interesante para transferir a otro organismo, debe investigarse si es producto de un gen. Se identifica el gen de interés por medio de cruzamientos a partir de una característica que se expresa, y se verifican las proporciones mendelianas. Si la característica se atribuye a una proteína, que es producto directo de un gen, será más sencillo transferir esa característica a un organismo que no la tiene. Además, se puede investigar con detalle el mecanismo bioquímico y molecular que conduce a la característica, para determinar si es viable que otros organismos puedan llevar a cabo esa misma función al recibir un transgene, ya que si además del gene de interés, se requiere de la presencia de estructuras anatómicas particulares o de adaptaciones fisiológicas que sólo se presentan en el organismo original, no bastaría con transferir un gene y, en consecuencia, el problema puede ser muy difícil, o incluso imposible de resolver con los recursos actuales.

2. Clonar el gen de interés.

El término clonación significa producción de copias idénticas de algo por medio de reproducción asexual. Cuando se aplica al DNA, la clonación es comúnmente entendida como la inserción de un segmento de DNA en una célula de manera que puede ser replicada (copiada) y mantenida. La simple introducción de un segmento de DNA en una célula, comúnmente no da como resultado la replicación y el mantenimiento del segmento. Las células tanto procariotas como eucariotas contienen una variedad de enzimas que degradan DNA y destruyen segmentos de DNA no protegidos. Para clonar un segmento de DNA (por ejemplo un gen), el DNA debe ser introducido en una molécula transportadora (un vector) cuya estructura es inmune a las enzimas que degradan DNA extraño. El vector protege el segmento clonado y favorece la replicación y el mantenimiento del DNA en su nueva célula.

El método más básico de clonación de DNA comienza con el corte de DNA en segmentos con una enzima de restricción (o combinación de enzimas). El vector seleccionado es cortado con la misma enzima, y los fragmentos de restricción y el vector se mezclan junto a la DNA ligasa, la cual une los fragmentos con el vector. Los plásmidos que contienen un segmento de DNA originalmente de otra fuente se denominan plásmidos recombinantes (figura 3.17).

Cuando se produce la ligación entre el vector y las moléculas del inserto que se desea, también los otros fragmentos diferentes se podrían religar o ligar al vector, pues

después de todo la ligasa simplemente une un extremo de DNA a otro. Una parte del proceso de clonación es la identificación de las moléculas recombinantes que contienen la reunión de los fragmentos de DNA de interés en el orden y orientación deseados, de entre la variedad de moléculas que pueden producirse.

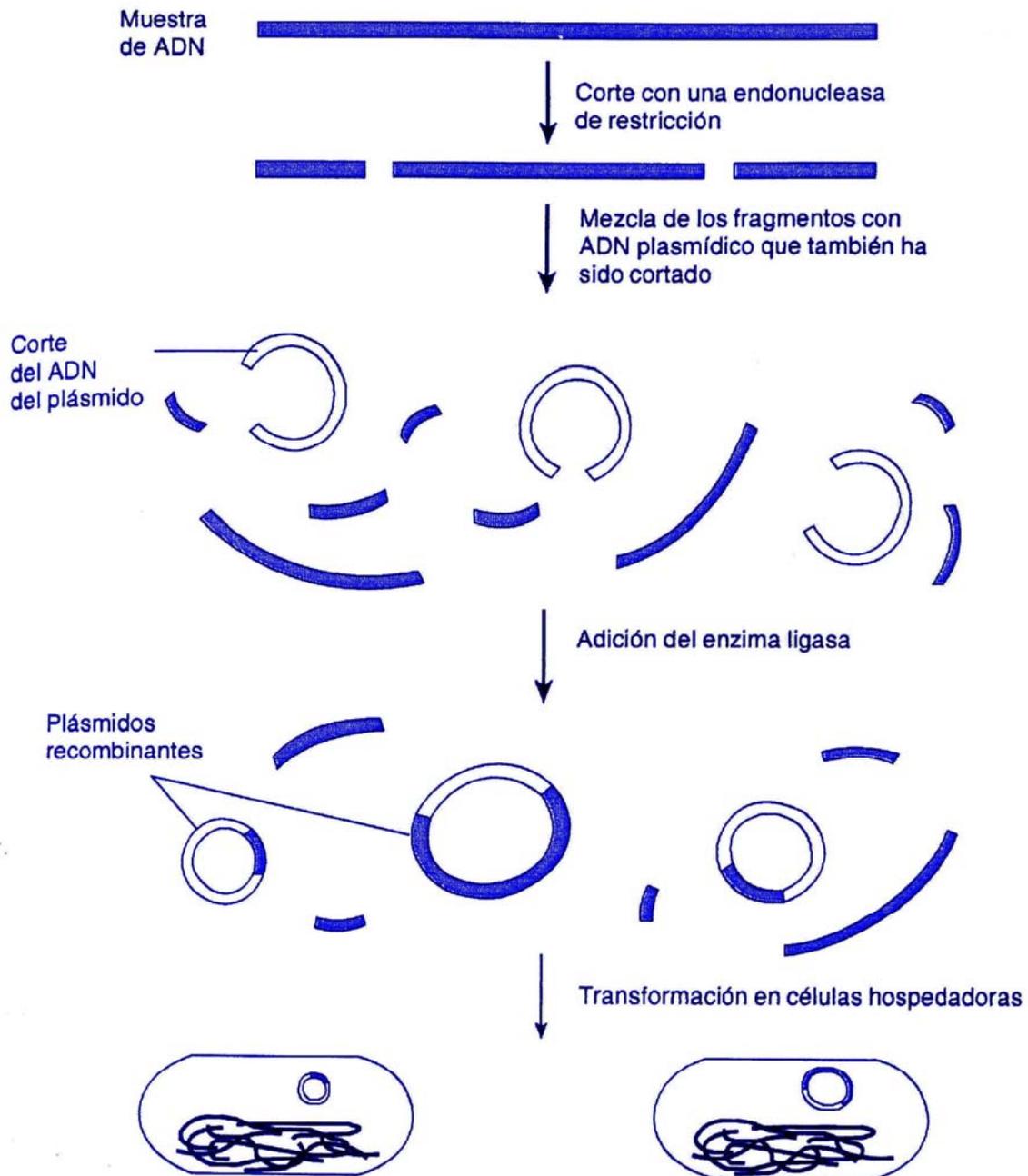


Figura 3.17. Clonación de un segmento de DNA en un plásmido

Hasta el momento se ha utilizado la ingeniería genética para producir, entre otras aplicaciones:

1. Vacunas, por ejemplo contra la hepatitis B.
2. Fármacos, como la insulina y la hormona del crecimiento humano, tanto en células transformadas y crecidas *in vitro* como en bacterias recombinantes y animales transgénicos.
3. Enzimas para degradar grasas, proteínas, fibras celulósicas y otros materiales, como las que se usan en los detergentes en polvo, las que se emplean para decolorar químicamente los pantalones de mezclilla, para la limpieza de los sitios contaminados con aceites industriales, etc. Mayormente, estas enzimas se han producido por medio de microorganismos recombinantes (transgénicos) que crecen en biorreactores.
4. Enzimas para la industria alimenticia, como las empleadas en la elaboración del queso, para acidificar la crema, para hacer el pan más suave y en la obtención de jugos de fruta, entre otras.
5. Plantas resistentes a enfermedades, a herbicidas y a plagas; así como plantas que producen aceites de una calidad especial para usos particulares, como podría ser para ensaladas, para freír, para usar como lubricantes, para emplear como combustible, etc. Esto, entre otras características.

La biotecnología en la educación

Introducción

El término de biotecnología no es de reciente uso entre la comunidad científica no especializada, pero su implantación en la literatura referente al campo de la educación en ciencias tiene mayor auge a partir del nacimiento de la oveja Dolly en el año 1997, en el Roslin Institute de Edimburgo. Otros acontecimientos más recientes, como la secuenciación del genoma humano, siguen poniendo de manifiesto la importancia del desarrollo de la biotecnología en el ámbito científico y de la sociedad en general. Estos hechos claves en la historia de la ciencia han supuesto, además, la socialización, a través de los medios de comunicación, de toda una serie de términos que, aunque no estaban restringidos a la comunidad científica, no eran de uso común como el de la clonación, la ingeniería genética, etcétera (Aznar Cuadrado, 2000).

En estos últimos años queda patente la fuerte relación que existe entre ciencia, tecnología y sociedad. Las sociedades desarrolladas se encuentran con una gran cantidad de productos de consumo tales como alimentos modificados genéticamente y fármacos derivados de tecnologías genéticas; a esto cabría añadir todos los avances en detección y tratamiento de enfermedades con nuevos métodos que van más allá de la medicina habitual (OMS, 2005).

Los avances en biotecnología aportan indudables contribuciones a la mejora de la calidad de vida de la sociedad moderna; pero con las ventajas de cada nuevo descubrimiento surgen del mismo modo nuevos interrogantes éticos. Todos estos avances implican, un gran número de términos científicos con los que el público se familiariza; es necesaria una atenta alfabetización científica para que sean asimilados y comprendidos de manera correcta. Es inevitable, así la formación de ciudadanos (Vázquez y Manassero, 1995) tanto a nivel conceptual como a nivel actitudinal ya que los medios de comunicación ofrecen una gran cantidad de información con distintos niveles de dificultad y rigurosidad, y sólo a través de una correcta formación se puede optar y discernir entre lo que es científicamente fiable y lo que es mera opinión más o menos fundamentada (Sturgis, 2005).

Diferentes autores se han preocupado de intentar analizar hasta qué punto estas innovaciones en la investigación científica han afectado a los conocimientos que el público en general y los adolescentes en particular poseen sobre esta materia. Se han llevado a cabo estudios en los que se analizan los preconceptos, actitudes, conocimientos y creencias de varias muestras de población que incluían tanto a adultos de diferentes ocupaciones (incluidos profesores) como adolescentes, tratando de manera extensa todos los términos e implicaciones de la biotecnología (Simonneaux, 2000b).

De estos estudios se deduce que un alto porcentaje tanto de adultos como de estudiantes conocen la terminología relacionada con la biotecnología, aunque esto no es indicativo del nivel de comprensión de los conceptos que hay detrás. El concepto de biotecnología resulta familiar, pero no así sus aplicaciones y procesos concretos, sobre todo los más modernos, entre los que destacan la modificación genética de alimentos y la clonación (Mysliwiec, 2003).

La ingeniería genética es uno de los procesos que definen los estudiantes de manera muy ambigua, y sólo unos pocos son capaces de dar ejemplos concretos, relacionados con la agricultura o la medicina. Asimismo, la clonación es definida con imprecisión como copiar o fotocopiar los mejores individuos. La mayor parte de los encuestados se da cuenta de que su conocimiento acerca de la clonación es limitado e inadecuado para formular decisiones informadas sobre el tema, e incluso no saben con certeza si alguno de los productos que utiliza cotidianamente está desarrollados o hechos a partir de la tecnología de la clonación (Lock, 1996).

Toda esta preocupación acerca de la biotecnología ha tenido a los medios de comunicación como agentes transmisores de manera casi exclusiva, lo cual repercute en el nivel de conocimientos de la población y en las actitudes desarrolladas. Cabe señalar que un alto porcentaje de encuestados menciona como fuente de información principal las noticias y los reportajes y documentales de televisión y la prensa escrita, antes que la formación académica. En este punto es necesario mencionar que, para los adolescentes, es la ciencia-ficción y no la enseñanza formal, la fuente principal reconocida de información acerca de estas tecnologías (Venville y Treagust, 2002).

En estos últimos años, se ha tomado conciencia de la prioridad que se debe conceder a la educación en ciencias dentro del marco de la educación formal, y así, uno de los objetivos

del currículum de estas áreas es la formación científica, ya que los escolares de hoy serán los adultos de mañana y formarán parte de una sociedad donde las biotecnologías serán algo cotidiano, siendo necesarios unos conocimientos científicos que les capaciten para poder formar opiniones y desarrollar actitudes, o tomar decisiones personales fundamentadas .

Aún y cuando los contenidos referidos a la genética han estado siempre presentes en el currículum de las ciencias experimentales, tradicionalmente ligados al conocimiento de las leyes de transmisión genética y a la resolución de problemas, debido a los rápidos avances de la ciencia, hablamos ahora de un nuevo término que se ha ido implantando en el ámbito de la educación en ciencias: “biotecnología”, en el que no sólo se incluyen los conceptos tradicionalmente ligados a la genética. Esta nueva disciplina aporta un alto grado de contextualización a toda la terminología científica y a sus aplicaciones, lo que debería contribuir a un mayor conocimiento sobre la materia, a una mayor significatividad de los aprendizajes y a los procesos de formación de actitudes (Steele, 2004).

La didáctica de las ciencias no puede permanecer ajena a estas polémicas; hace tiempo que se viene definiendo la alfabetización científica como, por una parte, desarrollar en nuestros alumnos la capacidad de manejar los conceptos implicados en las noticias de carácter científico y, por la otra, favorecer el desarrollo del pensamiento crítico, de la capacidad de formar sus propias opiniones sobre las cuestiones científicas. Sin embargo, esta tarea no resulta fácil cuando nos enfrentamos a cuestiones tan complejas como la biotecnología, en la que es necesario disponer de información actualizada sobre los conocimientos científicos implicados, por una parte y, por la otra, contar con una serie de datos sobre los beneficios que se pueden derivar de ella así como los riesgos que entraña su utilización.

Limitaciones en la enseñanza de la biotecnología

Aznar Cuadrado (2000), Jonson y Stewart (2001) y Steele y Aubosson (2004) hacen referencia a las limitaciones y confusiones que los estudiantes de bachillerato presentan en el aprendizaje del tema de la biotecnología, de alguna forma estos autores convergen en lo siguiente:

Muchos estudiantes no son conscientes de que todos los seres vivos contienen información genética. Según los alumnos, la información genética en los humanos, reside en los gametos o en las células del cerebro; el resto de las células del organismo, no tiene éste tipo de información.

También se plantean dificultades para distinguir la localización de la información genética dentro de las células. Algunos opinan que está en los cromosomas, otros en los genes y la mayoría no tiene clara la relación entre estos dos conceptos.

La mayoría de los estudiantes no diferencian entre células somáticas y células sexuales, por lo que los procesos de mitosis y meiosis también presentan

dificultades de comprensión, sobre todo en términos de número de cromosomas y de transmisión de información genética.

Los estudiantes presentan un desconocimiento generalizado sobre los principios básicos de transmisión hereditaria, ya que tienen una pobre comprensión de las relaciones entre genes, cromosomas, división celular y herencia.

Uno de los posibles elementos que causan o refuerzan los errores de los alumnos son los libros de texto, pues éstos tienen carencias en cuanto a una serie de factores como puede ser la secuenciación de los contenidos en genética, la estrecha relación entre determinados procesos celulares (mitosis/meiosis) y la herencia, así como la interpretación o la significación que los alumnos dan a determinados términos, diferente a la del profesor y la resolución mecánica de problemas ajenos a su propio contexto.

Venville y Treagust (2002) también hacen referencia a las dificultades que se presentan en la enseñanza del concepto de gene, así como a las limitaciones que esta enseñanza deficiente impone al conocimiento de genética y a la biología molecular.

Recomendaciones para la enseñanza de la biotecnología

Este último par de autores aseguran que es indispensable que los alumnos conozcan el concepto de gene para así poder tratar con mayor soltura el tema de biotecnología, por lo que, nos proponen cuatro estrategias de enseñanza que favorecen la comprensión apropiada de este concepto en los estudiantes:

Modelos y analogías. Se organiza a los estudiantes para construir modelos de la estructura del DNA en recortes de papel, después utilizan esos modelos para determinar el orden de aminoácidos en una proteína. Un segundo modelo, se utilizó para demostrar cómo el código genético es transferido del núcleo a los ribosomas para la síntesis de proteínas. El resultado de los dos modelos, muestra que los alumnos lograron relacionar mejor los conceptos de núcleo, genes, DNA y la producción de proteínas en el citoplasma de la célula.

Con respecto a analogías, el artículo menciona tres: una que vincula al núcleo de la célula con un cerebro o una computadora, porque controla las funciones de la célula, otra es, la asociación que existe entre el DNA y el puesto de observación que existe en una torre, con una escalera de caracol para llegar a ese puesto y una más que relaciona el código genético con los planos de un arquitecto, los cuales no se mirarán en la construcción final. Estas analogías no dan ninguna idea de cómo la información se almacena en genes y cómo los genes se expresan en características.

Acercamiento a la herencia mendeliana. Cuando se trata de explicar los conceptos científicos que intervienen en la herencia, de una forma simplista, resulta poco provechoso. Ya que estas ideas simplistas no les permiten a los estudiantes avanzar (en cuanto a profundidad) en el estudio del tema y en ocasiones fomenta muchas preconcepciones. Por

ello recomienda, prepararlos conceptualmente (desde el inicio), para la complejidad del tema, yendo más allá del modelo mendeliano de la herencia.

Relacionar los conceptos. Para que un estudiante pueda incorporar y enlazar un nuevo concepto, es necesario que éste se relacione con otros. El aprender significa incorporar y ligar conceptos a nuestra red conceptual y la buena enseñanza lo promueve. Incluso cuando los estudiantes comprenden por qué los acoplamientos son importantes, los buscan activamente. Existen investigaciones que demuestran que, muchos estudiantes de genética memorizan hechos aislados y no formulan relaciones entre ellos. También, los libros de texto tienden a dispersar los conceptos de genética a través de varios capítulos e incluso sin interconectarlos. Se sugiere que los profesores utilicen algunos ejemplos que ilustren claramente la interrelación que existe entre los genes, las proteínas y los rasgos fisiológicos como albinismo y fenilcetonuria. Planear actividades que conecten pedazos de información favorecerá el aprendizaje de la genética.

Acentuar niveles de representación. Quizá para la mayoría de los profesores, no represente ningún problema cambiar de lo macro (los fenómenos observables tales como la expresión fenotípica de genes) y las entidades microscópicas (tales como el núcleo y los cromosomas, los fenómenos microscópicos tales como DNA y representaciones simbólicas como las letras A, G, C y T para representar las bases del código genético). A los estudiantes, el cambio en estos niveles a menudo les causan problemas tales como inconsistencia. Por citar un ejemplo, cuando se le preguntó a una estudiante de 15 años sobre el código genético, ella explicó que era el DNA y que el código son los pequeños números que tiene debajo. Otro problema es que muchos alumnos no dominan la manera científica aceptada para representar estos conceptos, de tal manera que aunque entiendan el proceso en general, les cuesta trabajo explicarse. Se recomienda a los profesores, realizar explicaciones detalladas y explícitas de los diversos niveles de representación.

Modelos en la enseñanza de la biotecnología

Gilbert (1998) identificó cuatro tipos de modelos: mental, expresado, consenso y modelos de la enseñanza. Un modelo mental es una interpretación personal del “blanco”; un modelo expresado es uno al cual se le da espacio en la arena pública por acción verbal o escrita, mientras que un modelo consenso es un modelo expresado que tiene aceptación por un cuerpo profesional. El interés se centra en el cuarto tipo, los modelos de la enseñanza, que son modelos especialmente contruidos por los profesores, para ayudar a la comprensión de un modelo surgido del consenso y de las explicaciones que encajan.

Gilbert (1998), Baker (2001) y Jonson (2001) afirman que los modelos de la ciencia-enseñanza toman una posición intermedia entre la realidad observada de los fenómenos y la teoría que explican. El papel de un profesor en este proceso es tratar de acercar el modelo mental que tiene un estudiante de un fenómeno, hacia el modelo mental de un científico. También asumen que los modelos científicos de la enseñanza proporcionan un puente a la comprensión de la tecnología. Según Sparkes (1992), el modelar en tecnología, es la

creación de versiones simplificadas de la realidad para un propósito en particular. Archer (1992), opina que los modelos tienen el propósito de representar cualquier cosa y así poder establecer una comunicación.

Los modelos son utilizados para desarrollar la comprensión conceptual y para proporcionar armazones de organización, así como conductos de comunicación; en ciencia los modelos se utilizan como herramienta para desarrollar entendimiento.

Grosslight *et al* (1991) identificaron tres niveles de pensamiento en los modelos:

1. Nivel 1, los modelos fueron pensados como copias de la realidad
2. Nivel 2, los modelos fueron concebidos para un propósito específico y hay el reconocimiento que algunos aspectos de la realidad se pueden alterar para realzar su función
3. Nivel 3, los modelos fueron desarrollados con la finalidad de analizar ideas y transformarlas

Bev France (2000) desarrolló los siguientes modelos para la enseñanza de la biotecnología: 1) Factores que afectan las soluciones biotecnológicas; 2) Modelo de tecnología de la fermentación; 3) Recubrimiento de microbios y 4) Ejercicio sintético epidémico. De éstos logró destacar lo siguiente:

Todos los modelos tiene un papel comunicativo y el nivel del diálogo que cada uno produce depende de su nivel de especificidad.

Es importante que el modelo provea de una representación visual de las dimensiones del proceso, así como de un aprecio de la interconexión de los factores que influyen el resultado.

Es deseable que el modelo anime a que el grupo discuta diversas situaciones del problema y fije el marco para el análisis de soluciones.

Si es posible el modelo debe proporcionar a los profesores, la oportunidad de demostrar la necesidad de un acercamiento holístico a la tecnología.

El modelo debe proporcionar los medios por los cuales los estudiantes puedan practicar y supervisar su habilidad en las técnicas utilizadas

La educación de la biotecnología requiere que tanto profesores como alumnos desarrollen un alto nivel de habilidad en la manipulación de los agentes que utiliza, por lo que se requiere un alto grado de planeamiento y destreza.

El modelo debe permitir a los profesores y alumnos, participar en ejercicios que simulen la resolución de un problema real de biotecnología.

Implicaciones de los modelos en la enseñanza.

Es evidente que los modelos satisfacen una variedad de papeles en la educación de la biotecnología. Sin embargo, debe atenderse con cuidado la manipulación de los agentes microscópicos, ya que es un problema utilizar organismos que son “invisibles”. La manipulación de microorganismos se ha convertido en una preocupación para la enseñanza, los modelos muestran que hay una necesidad de practicar con algo, por lo que se debe desarrollar las habilidades técnicas, pero también hay que estar atentos a que el modelo desarrolle la comprensión conceptual de la naturaleza y forma de los microorganismos (Jonson, 2001).

Los procesos de la biotecnología son complejos, por lo que se recomienda el uso de modelos que identifiquen etapas, y que posteriormente estas se puedan coordinar e integrar.

En los programas de biotecnología, la variedad de modelos puede ser la llave para introducir a los estudiantes a los conceptos científicos, pero siempre conscientes de que el modelo debe identificar una necesidad y función, así como una planeación. Los modelos no son una representación exacta de la realidad pero si son medios para acercarse a problemas intelectuales (Baker, (2001).

Sugerencias para promover la comprensión de la biotecnología en el público europeo

En (Moses, 2003) la biotecnología se mira como la posibilidad de crear un impacto significativo en la economía de naciones ricas y pobres así como en la vida de sus ciudadanos. También se mira como un progreso industrial que asusta a muchos, sobre todo aquellos que tienen un entendimiento pobre de la ciencia. Se hace esencial que los ciudadanos estén informados sobre las bases científicas de la biotecnología. No obstante la percepción sobre este tópico no resulta adecuada, para lo cual basta mostrar los resultados a

la pregunta: ¿Te sientes adecuadamente informado acerca de la biotecnología? (ver la tabla 3.2).

Tabla 3.4. Eurobarómetro sobre la biotecnología. Porcentaje de respuestas a la pregunta ¿Te sientes adecuadamente informado acerca de la biotecnología?

País	Tiende a estar de acuerdo	Tiende a estar en desacuerdo	No contestó
Alemania	11.7	79.2	9.1
Austria	19.2	69.8	11.0
Bélgica	9.2	83.3	7.5
Dinamarca	14.8	81.3	3.9
España	6.2	85.2	8.7
Finlandia	7.8	88.4	3-8
Francia	8.9	87.6	3.5
Grecia	9.4	87.1	3.6
Holanda	20.1	71.7	8.2
Irlanda	7.9	82.5	9.6
Italia	11.5	71.8	16.7
Luxemburgo	13.8	80.5	5.8
Portugal	8.3	78.7	13.0
Reino Unido	12.2	81.4	6.4
Suecia	2.8	95.5	1.7
Suiza	17.4	74.8	7.7

Las discusiones públicas sobre la biotecnología, particularmente sobre plantas y alimentos transgénicos, así como las investigaciones sobre el embrión, han sido conducidas en gran parte por la prensa en radio y en televisión, tomando generalmente la forma de noticias. Los

niveles de la discusión a menudo muestran claramente que muchos periodistas y locutores, así como sus lectores, espectadores y oyentes, tienen una idea pobre de las bases científicas de la biotecnología. Los artículos de biotecnología se presentan con frecuencia en una forma que posibilita una discusión desequilibrada, particularmente cuando se plantea una visión de oposición. El público queda atónito con la terminología mal entendida, con todo esto la gente no se siente segura del uso de la biotecnología, por ello se resiste a ella (Sturgis, 2005).

Tomando como marco lo anterior, y de acuerdo a lo que estiman Moses (2003) y Cabo (2006) se proporciona las siguientes recomendaciones para promover en el público de Europa la comprensión de la biotecnología:

- ❖ **Publicidad de la investigación.** Las instituciones de investigación científica deben dar 5 % de sus presupuestos a la comunicación pública, disponiendo claramente para la información pública qué están haciendo y cómo la sociedad se puede beneficiar.
- ❖ **Entrenamiento en comunicación para los científicos.** Los científicos de la universidad y otros científicos investigadores necesitan ser recompensados por comunicarse con el público, por ejemplo, para sus promociones se les deben dar puntos a todos aquellos que, forman redes con los periodistas, los redactores y los fabricantes de política. También necesitan ser entrenados para la comunicación con el público y con los medios y deben desarrollar alianzas con los grupos que se perciben como de confianza: grupos de pacientes, organizaciones no gubernamentales ambientales (ONG), etcétera.
- ❖ **Experiencia y habilidad en las relaciones públicas.** Los científicos deben trabajar junto con especialistas profesionales de las comunicaciones. La presentación del material potencialmente técnico a una audiencia requiere habilidad y experiencia, algo ya disponible en la industria de las comunicaciones.
- ❖ **Ferias de la ciencia y días abiertos.** Han habido muchos acontecimientos acertados en donde se invita al público a los laboratorios de investigación de universidades y de industrias, al mismo tiempo se montan exposiciones en las calles, en centros comerciales, en los parques de atracciones y otros lugares en donde la gente asiste normalmente. Por supuesto, solamente un número pequeño de la gente puede entrar a cualquiera de estos lugares. Sin embargo, si su organización se repite sobre una base regular, por ejemplo cada año, o hecho por múltiples instituciones, su visibilidad obviamente aumenta. Además, cuando está bien hecha, los acontecimientos atraerán la atención de los medios; son más probables de ser divulgados como noticia en el nivel nacional o por lo menos en la televisión local. Este encuentro y su divulgación ha promovido la transparencia, la confianza sobre la estructura científica y han contribuido al diálogo público.
- ❖ **Laboratorios móviles y virtuales.** Los laboratorios móviles de la biotecnología para trabajar “con las manos” (*hands-on*, en inglés) han estado viajando con éxito alrededor Alemania y Suiza por de varios años. En general, estos laboratorios están

montados en un chasis de una camioneta. Son provistos de personal por los científicos e incluyen los experimentos tales como el aislamiento del DNA, la separación electroforética de ácidos nucleicos o la reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Los cursos están previstos para los estudiantes o también para los profesores de ciencia y la camioneta puede acudir a las escuelas o a las ferias de la ciencia.

- ❖ **Enseñanza para adultos.** Los cursos de tarde en la biotecnología dirigidos a las audiencias de adultos se pueden proporcionar a través de las universidades y otras instituciones; la universidad de la tercera edad se pudo animar en esta dirección. El contenido se debe dirigir a personas sin antecedente científico, y deben incluir la importancia económica en las prácticas industriales y agrícolas existentes, ventajas potenciales, riesgos posibles, la colocación de etiquetas, las patentes, preocupaciones éticas, problemas morales, etcétera.
- ❖ **Conferencias del consenso.** Páneles de legos (también llamados las conferencias de consenso), grupos de debate, foros públicos, etc., han demostrado ser una manera eficaz de entrar en diálogo con el público en general. La sincronización de los paneles es crucial: los mejores resultados fueron obtenidos cuando el tema era adecuado al momento político, particularmente si estaba en la agenda parlamentaria. Estos paneles son costosos y toman muchos meses para prepararse. En general, no proporcionan soluciones políticas sino que muestran la opinión pública sobre materias de la preocupación actual. Al arreglar conferencias de consenso sobre tópicos relacionados con la ciencia, se invita al público y periodistas que cubran el acontecimiento.
- ❖ **Información para los periodistas.** Existen muchos servidores de cómputo en los E.E.U.U. que son utilizados por la prensa para encontrar expertos en campos particulares. Las organizaciones profesionales a las cuales los científicos pertenecen, así como las universidades, tienen personas de contacto con la prensa que son responsables de identificar a individuos dentro de su organización que puedan contestar a preguntas de periodistas y de otros.
- ❖ **Centros de los medios.** Los centros de los medios, tales como el que está establecido en el Instituto Real en Londres, proporcionan un punto de acceso de la ciencia para los periodistas y otros, donde la información sobre ciencia, está fácilmente disponible a través de introducciones con la opinión científica experta para los periodistas. Uno de los objetivos será intentar anticipar importantes acontecimientos científicos y tecnológicos, para preparar al centro para responder sin retraso las preguntas de los periodistas y resolver sus necesidades de información sobre los antecedentes. La información utilizable de la ciencia para la prensa y los medios masivos de comunicación es especialmente importante para los países con lenguas poco distribuidas, tales como Finlandia, Grecia y Portugal; ya que no hay mucha literatura traducida en sus idiomas. La difusión y la prensa son los canales principales para informar al público y alertar a periodistas sobre las nuevas actividades y resultados, resulta ser de importancia primaria.

CAPÍTULO 4

Metodología

En este capítulo se trata de detallar la forma cómo a través de la metodología de Loughran et al. (2004) se puede capturar el CPC de algunos profesores para el tema de biotecnología; para ello se usará particularmente la CoRe. También se explica cómo por medio de cuatro categorías de análisis que corresponden a las zonas del perfil conceptual propuestas por Mortimer (1995), las frases que aparezcan en las CoRe de los profesores serán clasificadas.

Introducción

Aunque existe el CPC de un profesor en particular, por numerosas razones es un proceso muy difícil de poder documentar, reconocer y articular (Loughran *et al.*, 2000). El CPC no está asociado con la impartición de una determinada lección puede no ser evidente a un investigador dentro de los límites de una sola lección o experiencia de la enseñanza; es decir, puede ser necesario emplear un período de tiempo extenso. Además, como Baxter y Lederman (1999) apuntaron, las observaciones pueden proporcionar solamente la penetración limitada en el CPC de un profesor, porque es en parte una construcción interna tácita. El CPC es una noción compleja, sin embargo, los profesores de ciencia no utilizan un lenguaje que incluya (ni se asemeja necesariamente) a la construcción del CPC y mucho de su conocimiento de la práctica es tácito (Korthagen y Kessels, 1999). Por otra parte, muchos de los profesores de ciencia tienen poca oportunidad y tiempo, de sentarse a discutir y reflexionar sobre las cosas que les ayudan a desarrollar su experiencia profesional; entre sus expectativas no se encuentra poder explicitar y articular su conocimiento tácito, para compartirlo a través de la profesión (Hollon, Roth, y Anderson, 1991). Las actividades de la buena docencia pueden contribuir al CPC, pero, por lo general, no son ejemplos explícitos del CPC por sí mismos. Por ejemplo, al intentar estudiar el conocimiento del profesor sobre sus “mejores ejemplos” no podemos limitarnos exclusivamente a datos de la observación de su clase, ya que el profesor seguramente usará en un cierto episodio sólo algunos pocos de su acumulado conjunto de ejemplos (Garritz *et al.*, 2005).

La necesidad de hacer explícita la naturaleza tácita de la práctica no es una expectativa normal de ser profesor, hay una carencia de un vocabulario común entre profesores sobre la enseñanza y el aprendizaje (Kagan, 1990). En cambio, los profesores comparten comúnmente las actividades, procedimientos de enseñanza, y las ideas ingeniosas dentro de la enseñanza y el aprendizaje, de eso tienen propósitos implícitos en la práctica, pero raramente articulan las razones detrás de ellas.

Loughran y colaboradores (2004) presentan un proyecto de investigación, donde muestran su experiencia al pedir a los profesores que hablen de su CPC sobre un tema específico (es decir, alrededor de por qué enseñan un contenido particular de una manera particular) esto a

menudo **nos lleva a las descripciones de la práctica que son conducidas por razones pedagógicas con excepción de éstas conectadas lo más cerca posible a una comprensión del contenido.** Por lo tanto, el CPC continúa siendo una construcción teórica seductiva pero no es un aspecto fácilmente identificable de la práctica; pues, hay una carencia de contenidos concretos fácilmente disponibles del CPC en la literatura.

En esta investigación Loughran (2004) ofrece una nueva manera de descubrir, articular y documentar el CPC de los profesores de ciencia que, crea oportunidades genuinas para compartir este conocimiento dentro de la comunidad profesional de las maneras que son significativas, útiles y de valor para los profesores, los educadores del profesor y los investigadores de la educación de la ciencia. Sin embargo, desarrollar un método para hacer esto ha sido difícil. Ello es debido a la falta de contenidos de CPC de los profesores sobre un tema en particular que sean precisos, concretos, que puedan ser analizados minuciosamente o ser utilizados como un modelo para la práctica por otros (según lo referido anteriormente). El problema entonces es cómo identificar y capturar el CPC y representarlo apropiadamente a otros. El método que desarrollaron para descubrir, documentar, y retratar el CPC de los profesores de ciencia abarca dos herramientas: Representación del contenido (CoRe) y repertorios de la experiencia pedagógica y profesional (PaP-eRs). La manera como estas herramientas se han desarrollado se explica a continuación.

CoRe y PaP-eRs acercamientos para capturar el CPC

El CoRe es una matriz en cuyas columnas aparecen las ideas centrales para impartir el tema que han sido declaradas por el profesor y en las filas cada una de las ocho preguntas que vienen en el cuadro 4.1. Toma un buen tiempo a los profesores entrevistados llenar esta matriz y, si existe la confianza para responder, se logran documentar las ideas centrales; los objetivos de la enseñanza declarados por el profesor; el conocimiento de las concepciones alternativas de los alumnos y sus dificultades de aprendizaje; la secuenciación apropiada de los tópicos; el empleo correcto de analogías y ejemplos; formas de abordar el entramado de ideas centrales; los experimentos, problemas y proyectos que el profesor emplea durante su clase; formas ingeniosas de evaluar el entendimiento, entre otras.

La CoRe precisa y discute la comprensión de los profesores de ciencia de aspectos particulares del CPC los cuales se agrupan en el cuadro 4.1 (columna 1).

Es crucial acentuar que la CoRe es una herramienta de investigación para tener acceso a la comprensión del contenido de los profesores de ciencia así como una manera de representar este conocimiento. Por lo tanto, utilizamos las CoRes como una herramienta de la entrevista con un grupo de profesores de ciencia, integrado por dos profesores expertos en el tema y dos profesores de bachillerato, para obtener sus entendimientos de los aspectos importantes del contenido de la biotecnología, entonces, así usar los resultados de estas entrevistas como la representación de él mismo. Como los puntos de la columna 1 (cuadro 4.1) se exploran detalladamente con los profesores de ciencia, su comprensión de la

naturaleza del contenido y los factores que forman ese conocimiento se levantan y se convierten en una fuente de datos importante. Sin embargo, una CoRe derivada a partir de un grupo de profesores de ciencia no se debe ver como estática o como la representación única/mejor/correcta de ese contenido. Es una generalización necesaria pero incompleta resultando del trabajo con un grupo particular de profesores en un momento particular.

El propósito de la CoRe es ayudar a codificar el conocimiento de los profesores de una manera común a través del área de contenido que es examinada y, con esto, identificar las características importantes del contenido que los profesores de ciencia reconocen y responden en la enseñanza de tal contenido. De hecho, en algunos campos de contenidos de la ciencia, un número de CoRes es fácilmente identificable (y distintamente diferente) cómo diversos profesores de la ciencia conceptúan el contenido de maneras diversas pero igualmente válidas.

Se une a las CoRe los PaP-eRs, estos dos instrumentos se acoplan, ya que algunos aspectos de los CoRe, son tratados en los PaP-eRs e ilustran cómo cierto conocimiento pudo realizar una práctica eficaz en el salón de clases. Un PaP-eR ofrece una ventana en una situación de enseñanza/aprendizaje en donde es el contenido el que forma la pedagogía. Los PaP-eRs, por lo tanto, se ligan a la CoRe para ayudar a conectar la práctica vista con la comprensión de ese contenido particular. Estos acoplamientos entonces iluminan las decisiones que sostienen las acciones del profesor, previstas para ayudar a los principiantes a entender mejor el contenido (véase cuadro 4.1 para una representación esquemática del acoplamiento entre la CoRe y los PaP-eRs, las líneas de los PaP-eRs a diversas filas y columnas en la CoRe ilustrar las ideas particulares/conceptos/contenidos que son examinadas).

Los PaP-eRs sobre la enseñanza de un contenido están en un contexto y ayudan para ilustrar aspectos del CPC en acción. Es importante mencionar que, un solo PaP-eR no es suficiente para ilustrar la complejidad del conocimiento alrededor de un contenido particular. Incluso, una colección de PaP-eRs unidos a diversas (pero probablemente traslapadas) áreas de la CoRe es crucial en destacar algunas de las diversas mezclas de los elementos que son indicativos comunes del CPC en ese campo. El traslape, la interacción y la relación entre los PaP-eRs en un área de contenidos son importantes para ver la naturaleza compleja del CPC, sin que ningún PaP-eR sea mirado como la representación de la naturaleza del CPC por sí mismo.

El cuadro 4.1 es una descripción esquemática de cómo la CoRe y los PaP-eRs se conceptúan en términos de la metodología y de la representación del CPC. La CoRe se basa en la explicación de las grandes ideas de un contenido en particular con respuestas a las preguntas de la columna 1, los PaP-eRs ofrecen ventanas en algunas de estas explicaciones, por la representación en diversas formas (por ejemplo: descripciones de las observaciones del salón de clase, procedimientos de la enseñanza, ediciones del plan de estudios, conceptos alternativos de los estudiantes, etcétera).

Cuadro 4.1. CoRe (representación del contenido). Se muestra también cómo los PaP-eRs (Repertorios de experiencia pedagógica y profesional) pueden tocar los aspectos particulares de la CoRe.

Importancia de ideas / conceptos de ciencia			
	Idea 1	Idea2	Etc.
PaP-eR 1			
1. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?			
2. ¿Por qué es importante que los estudiantes aprendan esta idea?			
3. ¿Qué más sabes sobre esta idea? (Lo que tú no vas ha enseñar a los estudiantes por ahora)			PaP-eR 3
4. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea?			
5. ¿Qué conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de esta idea?			
PaP-eR 2			PaP-eR 4
6. ¿Cuáles otros factores influyen en la enseñanza de esta idea?			
7. ¿Qué procedimientos empleas para que los alumnos se comprometan con la idea?			
8. ¿Qué maneras específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre la idea?			

Los PaP-eRs se desarrollan de las descripciones detalladas ofrecidas de forma individual por los profesores y/o como resultado de discusiones sobre situaciones/ideas/tema que pertenece a la CoRe, así como de observaciones de la sala de clase. Un PaP-eR por lo tanto se obtiene de la interacción de las preguntas, de los temas y de las dificultades (columna 1, cuadro 4.1) que influyen el acercamiento particular a enseñar ese contenido, con el cual el PaP-eR se relaciona y refleja la riqueza de la comprensión del profesor en la enseñanza y aprendizaje de la ciencia en ese campo. Aquí, es importante observar que un PaP-eR no se aplica necesariamente a un profesor particular pero es una construcción de los investigadores usando los descubrimientos ganados en discusiones y las observaciones en el aula (el reconocimiento de esta edición también ha sido observado por Van Driel et al., 1998). Sin embargo, los PaP-eRs se validan en un proceso de verificación entre los investigadores y los profesores; justo mientras se desarrolla la CoRe y en un cierto plazo se refina con los grupos pequeños de profesores.

Los PaP-eRs por lo tanto emergen de la práctica real y dependen de los profesores en dos ediciones importantes:

- ✦ Los PaP-eRs están en un área de contenido particular y por lo tanto se unen a ese contenido.
- ✦ Un solo PaP-eR no puede llevar hacia el CPC. Una diversidad de PaP-eRs ayudan a verter la luz en los diversos aspectos del CPC.

Si una de las funciones del CPC es ayudar a profesores a reconocer, articular y desarrollar su comprensión para un contenido en particular, claramente éste debe ser basado en una comprensión de cuál es el contenido que el profesor sabe que es útil para formar la pedagogía y el acercamiento asociado al aprendizaje del estudiante. Como una ventana del salón de clase, un PaP-eR tiene la ventaja de ser fijado en un contexto en el cual los principiantes estén trabajando recíprocamente con el tema.

La construcción de una CoRe y de PaP-eRs asociados ofrecen una manera de capturar y de retratar el CPC. No es necesario que los PaP-eRs tengan un formato o un estilo particular. Deben asegurar que las representaciones de los elementos del CPC sean ilustradas. Los PaP-eRs deben tener una variedad de formatos (por ejemplo: entrevista, voz del observador, diarios, ventana en una lección, la voz y las acciones de los estudiantes, los recursos anotados, etc.) de modo que su representación permita que el lector se identifique con la situación y como un resultado particular para enmarcar la pedagogía, el contenido y el contexto, para dibujar el significado de él.

En conjunto con los PaP-eRs, la CoRe se debe conceptualizar como una construcción necesaria para codificar y categorizar el conocimiento y el contenido bajo consideración, de modo que sea manejable y útil para otros. Los PaP-eRs bien contruidos traerán así diversos aspectos de esta CoRe a la vida (según lo sugerido en el cuadro 4.1) y verter la nueva luz en la naturaleza compleja del CPC para los profesores y los investigadores. Este uso de la CoRe y de los PaP-eRs entonces puede crear oportunidades de entender mejor y, por lo tanto, valorar: el conocimiento especializado, habilidades y la maestría de los profesores de ciencia haciendo explícito lo tácito y evasivo para todas las audiencias.

Integración de las ideas principales de las CoRe

Con el propósito de integrar las ideas centrales que deberán formar parte del CPC de la biotecnología, para el nivel medio superior, se entrevistaran tanto a investigadores expertos en el tema, como a profesores de bachillerato, de biología y química, que imparten o han impartido el tema. La pregunta que guiará la entrevista es:

Para el tema de **biotecnología** en la enseñanza del **nivel medio superior** ¿qué **ideas** consideras como **centrales**? (intenta mencionar al menos cinco)

Cabe hacer mención que la entrevista se llevará de manera verbal, es decir no se solicitará que los académicos respondan esta pregunta por escrito. Posteriormente se analizarán las respuestas y se intentará que de ellas emanen las ideas principales que formarán parte de la CoRe. Con estas ideas y de acuerdo a la metodología descrita por Loughran, Mulhall y Berry (2004) se procederá a capturar los CoRe de estos académicos.

Clasificación de las frases expresadas en las CoRe conforme a los perfiles conceptuales de Mortimer

Las frases de los académicos expresadas en las CoRe serán clasificadas conforme a los perfiles conceptuales de Mortimer (1995), derivados del concepto de perfil epistemológico de Bachelard (1940). Bachelard sugiere para el concepto de “masa” cuatro perfiles epistemológicos que son: realista, empirista, racional clásico y racional moderno.

En este trabajo se utilizará la noción del “perfil conceptual” en vez de “perfil epistemológico” para introducir las características, en el perfil que, diferencian de la noción filosófica de Bachelard, pues la intención es encontrar un modelo para describir cambios en pensamientos individuales como resultado del proceso de enseñanza. El perfil conceptual debe tener algunas semejanzas con el perfil epistemológico, tal como jerarquías entre las diversas zonas, por las cuales cada zona sucesiva es caracterizada por tener categorías con un poder explicativo mayor que sus antecedentes. Sin embargo, algunos elementos importantes tienen que ser agregados a la noción de Bachelard. El primero es la distinción entre las características epistemológicas y ontológicas de cada concepto. A pesar de trabajar con un mismo concepto, cada zona puede no sólo ser epistemológicamente diferente a otra, sino también ontológicamente, puesto que las características conceptuales cambian a medida que se muevan por los perfiles.

Por nuestra parte, hemos empleado el mismo modelo para caracterizar un momento específico de la enseñanza de un profesor, que nos muestra sus propósitos epistemológicos y ontológicos. Dar clases requiere el perfil conceptual adecuado para identificar esos obstáculos que los estudiantes encaran para mejorar su propio perfil y actuar en consecuencia.

Para construir el perfil conceptual de un concepto abstracto, como lo es la biotecnología, fueron tomadas en consideración las recomendaciones de Mortimer, en particular, que se muestren varias zonas del mismo, que vayan de las concepciones más elementales hasta la concepción científica, cada una de las zonas con mayor poder explicativo que sus precedentes. Nosotros decidimos manejar cuatro zonas del perfil conceptual que abarcan: un enfoque meramente perceptivo o intuitivo, uno contextual, uno empírico y uno totalmente racionalista.

CAPÍTULO 5

Resultados

Obtención de datos

Este trabajo se inició con la búsqueda de las ideas principales que deberían formar parte del CPC de la biotecnología, para el nivel medio superior por lo que, se entrevistó tanto a investigadores expertos en el tema, como a profesores de bachillerato, de biología y química, que imparten o han impartido el tema. La pregunta que guió la entrevista fue:

Para el tema de **biotecnología** en la enseñanza del **nivel medio superior** ¿qué **ideas** consideras como **centrales**? (intenta mencionar al menos cinco)

En el cuadro 5.1 se detallan las opiniones que estos académicos nos proporcionaron.

La opinión de estos siete académicos nos sirvió para conocer de forma general las ideas que, ellos consideran, deben ser tomadas en cuenta para la enseñanza de la biotecnología en el bachillerato y que nosotros tomaríamos como base para la construcción de su CPC. Del análisis de estas ideas se derivaron cinco, que surgieron de la necesidad de consensuarlas, porque requeríamos un solo conjunto de ideas centrales para poder comparar sus respuestas a las preguntas del CoRe. Como se puede observar, algunas de las ideas son coincidentes entre los entrevistados; sin embargo, otras están distantes de lo que la mayoría de ellos opina. No obstante, las ideas consensuadas se dieron a conocer a todos ellos para conocer su opinión sobre su pertinencia, lo cual logramos después de algunos ajustes. De esta manera, las ideas centrales de este estudio son:

1. Panorama histórico de la biotecnología (básicamente fermentaciones) y su importancia
2. Estructura del DNA. El material genético básico de los organismos es el mismo para todos.
3. ¿Qué es la ingeniería genética? Del DNA a las proteínas recombinantes.
4. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados.
5. Ética y consecuencias (¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?)

Con estas ideas y de acuerdo a la metodología descrita por Loughran, Mulhall y Berry (2004) se procedió a capturar los CoRe de estos académicos. Sin embargo, para el análisis se seleccionaron los CoRes que resultaron ser más completos; éstos son cuatro, corresponden a dos investigadores y dos profesores del bachillerato los que se describen en el cuadro 5.2.

Cuadro 5.1

Académico	Ideas principales
Investigador 1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Históricamente ¿cómo se ha desarrollado la biotecnología? Fermentaciones: vino o cerveza 2. Antibióticos 3. Las proteínas derivadas de la ingeniería genética 4. Plantas transgénicas 5. Implicaciones éticas
Investigador 2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollo histórico de la biotecnología 2. Influencia de la biotecnología en la vida diaria: alimentos y fármacos 3. Del DNA a las proteínas 4. Condiciones en las que la célula produce compuestos de interés 5. Modificación genética para mejorar la producción (plantas transgénicas, terapia génica e implicaciones éticas)
Investigador 3	<ol style="list-style-type: none"> 1. El material genético de los organismos es el mismo para todos ya que el DNA tiene una estructura única 2. Un código genético único para todas las especies dio lugar a la ingeniería genética 3. Los organismos modificados genéticamente (OGMs) son organismos novedosos en la naturaleza 4. Cómo se integran al sistema los OGMs, y la forma en que participan del medio ambiente 5. Ventajas y desventajas del uso de OGMs en la agricultura y la alimentación. Recomendaciones para su uso y manejo en la industria
Profesor 1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Orígenes de la biotecnología 2. Biotecnología y alimentación 3. Biotecnología y medicina 4. Biotecnología e industria 5. Perspectivas de la biotecnología y ética
Profesor 2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Concepto e importancia en México 2. Los orígenes de la biotecnología 3. Ingeniería genética 4. Tecnología del DNA recombinante como herramienta utilizada en ingeniería genética 5. Ejemplos de aplicaciones biotecnológicas en diferentes áreas
Profesor 3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estructura del DNA 2. Ingeniería genética 3. Organismos novedosos 4. ¿Cómo se integran los organismos novedosos al sistema, al ecosistema y a la producción? Ventajas y desventajas 5. Cuidados y recomendaciones para el manejo de los organismos novedosos
Profesor 4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Historia y antecedentes de la biotecnología (fermentaciones alcohólicas, acéticas y lácticas) 2. Importancia de la biotecnología (OGMs, mejoramiento en la calidad y cantidad de alimentos) 3. Aplicaciones de la biotecnología (producción de medicamentos, mejoramiento a nivel microbiológico) 4. Perspectivas de la biotecnología (tejidos para trasplantes hasta llegar a clonación) 5. Ética y consecuencias. Hacia dónde nos conduce la manipulación genética

Cuadro 5.2

Académico	Descripción
Investigador 1	Doctor en biotecnología, es investigador del Instituto de Biotecnología de la UNAM, imparte las asignaturas de Biocatalisis, Bioquímica, Ingeniería Bioquímica y Biotecnología a nivel de licenciatura y posgrado. En 1990 recibió el Premio de la Academia de la Investigación Científica en el área de la tecnología y en 1992 el CONACYT le otorgó el Premio Nacional de Ciencia y Tecnología en Alimentos. Ha publicado diferentes obras relacionadas con el tema
Investigador 2	Doctora en biotecnología, es investigadora del Departamento de Alimentos y Biotecnología, de la Facultad de Química de la UNAM; donde imparte las asignaturas de Biotecnología, Biosíntesis industriales, Biología molecular y Organismos Modificados Genéticamente, entre otras, al nivel universitario. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. En 2005 recibió un reconocimiento a su trabajo finalista dentro del Premio Ciencia y Tecnología 2005. Ha publicado trabajos en revistas de tipo A.
Profesor 1	Maestra en Ciencias: Enseñanza e historia de la biología. Es profesora de carrera Asociado “C” de tiempo completo, del CCH Azcapotzalco, donde imparte la asignatura de biología. En 2005 recibió el Premio “Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos (DUNJA)”, área Docencia en la Enseñanza Media Superior (Ciencias Exactas y Naturales). Ha diseñado e impartido cursos de genética, y de, la biología y su didáctica, para profesores del nivel medio (secundaria) y medio superior.
Profesor 2	Química Farmacéutica Industrial. Es profesora de carrera titular “B” de tiempo completo, del CCH Azcapotzalco, donde imparte la asignatura de química. En 2005 obtuvo un premio en el VIII Concurso Nacional y I Iberoamericano “Leamos La Ciencia para Todos”. Ha publicado trabajos de temas diversos de química a nivel bachillerato.

Los CoRe de estos académicos se encuentran en la parte de anexos. Con el propósito de mantener la confidencialidad de la información que cada uno nos proporcionó, hay que aclarar que la identificación numérica de los académicos en los cuadros 5.1 y 5.2 no es coincidente entre la información presentada en el primer cuadro con la del segundo. En ese sentido, es importante mencionar que de ahora en adelante nos referiremos a estos académicos como las «profesoras» y con el pronombre «ella», indistintamente de su género o condición académica.

Hay que recordar que la captura del CoRe de un profesor es un proceso bastante difícil, porque requiere mucho tiempo por parte del entrevistado, y, sobre todo, de su esfuerzo para sentarse a reflexionar sobre las cuestiones que le ayudan a desarrollar su experiencia profesional; es un proceso muy complicado poder explicitar y articular su conocimiento tácito.

Análisis de datos

En los anexos 1 a 4 el lector podrá darse cuenta de la diversidad de respuestas a cada una de las preguntas del CoRe para cada idea central consensuada en este trabajo. Resulta evidente que cada una de las profesoras emplea una forma diferente de expresarse en la clase, pone más énfasis en algunos temas con relación a otros, en fin, tiene un conocimiento diferente al de sus compañeras, o lo expresa de diferente manera, en todo caso. No deseamos entrar aquí en el detalle del análisis de lo expresado en los CoRe, pero lo haremos después de clasificar las frases expresadas por cada una de ellas, según se describe a continuación. Los cuatro CoRe obtenidos en esta investigación fueron analizados conforme a los perfiles conceptuales de Mortimer.

Mortimer (1995) ha propuesto un modelo con el cual analizar la evolución conceptual en el salón de clases: el modelo del perfil conceptual, derivado del concepto de perfil epistemológico de Bachelard (1940). Sugiere que los alumnos pueden tener diferentes formas de pensar, cada una de ellas representada por una zona del perfil conceptual, con intervalos entre el sentido común y las ideas científicas más acabadas. Aprender ciencia, según Mortimer, no implica el reemplazo de las ideas del sentido común por las científicas, sino más bien un cambio progresivo y gradual de un dado perfil conceptual a uno nuevo, con un nivel de conocimientos más elaborado. Mortimer nos dice que el aprendizaje requiere que los estudiantes salven sus limitaciones para cambiar su perfil conceptual, que es lo que Mortimer concibe como cambio conceptual: un cambio en el perfil conceptual.

Por nuestra parte, hemos empleado el mismo modelo para caracterizar un momento específico de la enseñanza de un profesor, que nos muestra sus propósitos epistemológicos y ontológicos. Dar clases requiere el perfil conceptual adecuado para identificar esos obstáculos que los estudiantes encaran para mejorar su propio perfil y actuar en consecuencia.

Para construir el perfil conceptual de un concepto abstracto, como lo es la biotecnología, fueron tomadas en consideración las recomendaciones de Mortimer, en particular, que se muestren varias zonas del mismo, que vayan de las concepciones más elementales hasta la concepción científica, cada una de las zonas con mayor poder explicativo que sus precedentes. Nosotros decidimos manejar cuatro zonas del perfil conceptual que abarcan: un enfoque meramente perceptivo o intuitivo, uno contextual, uno empírico y uno totalmente racionalista. Cada una de estas zonas las definimos de la siguiente forma:

Zona perceptiva/intuitiva

En esta zona se sitúan las ideas que los profesores emiten de forma espontánea, que corresponden a las impresiones inmediatas, a las sensaciones e intuiciones, sin una estructuración o sistematización de esa información. Son ideas sin un fundamento teórico, ideas que, hasta cierto punto, pueden resultar subjetivas. Unos ejemplos podrían ser “los procesos biotecnológicos son simples prácticas empíricas” o “las fermentaciones se producen por una tendencia natural a la oxidación” o “no se corren riesgos con los productos tradicionales, como el yogurt, el vino o la cerveza”

Zona contextual

Esta zona presenta las ideas que han sido obtenidas a partir de la experiencia sensorial, principalmente de la relación con el entorno, ideas donde se considera importante el contexto porque la interacción de éste con la teoría favorece el aprendizaje; involucra también frases con un sentido ético, pero sin un planteamiento científico formal. Son ideas que se mencionan sin precisar la relación que existe entre el fenómeno y la teoría, tales como “la biotecnología nos ofrece alternativas para evitar una catástrofe humana, con una alimentación garantizada” o “la no aceptación de organismos genéticamente modificados se debe al miedo a las cosas desconocidas” o “la manera de hacerles llegar información debe ser a través de elementos que les sean familiares”.

Zona empírica

Se consideran en esta zona las ideas que surgen a partir de experimentos o las que resultan de las condiciones para que un proceso biotecnológico ocurra. Se informa en ellas de los beneficios de la ocurrencia de los fenómenos biotecnológicos. Ejemplos de este tipo de frases son: “hay que resaltar los beneficios de los procesos de obtención de vacunas, diagnóstico de enfermedades, cultivo de tejidos vivos, bacterias productoras de agentes terapéuticos, etc.” o “Pasteur trabajaba en las fermentaciones producidas por una multitud de microorganismos” o “la biotecnología es la aplicación de organismos vivos en procesos industriales para la obtención de insumos que son importantes para nuestra vida diaria”.

Zona racionalista

Las ideas que se encuentran en esta zona son aquellas donde se hace énfasis en los fundamentos y teorías de la bioquímica y la biología molecular para explicar los fenómenos biotecnológicos, así como en la necesidad de aplicar el análisis ético para medir sus consecuencias. Como tales podríamos identificar las siguientes frases: “la nueva biotecnología tiene que ver con la aplicación de la ingeniería genética para cambiar las

capacidades biosintéticas de los organismos” o “debe creárseles conciencia sobre el posible impacto de la biotecnología en su entorno ecológico” o “Se debe explicar el dogma central de la biología molecular, incluida la replicación, la transcripción y la traducción de la información genética, incluidas las funciones del DNA y el RNA en la síntesis de proteínas”.

Parte del análisis de los CoRe consistió en situar las frases que los profesores emitieron, en la zona que correspondiera a la definición planteada; aclaramos que no todas las frases que ellos escribieron se lograron colocar en alguna zona. Para facilitar esta actividad, se le asignó un código a cada celda de la matriz del CoRe. Recordemos que esta matriz está compuesta por cinco columnas que representan las cinco ideas centrales del CPC de la biotecnología a las que se les asignaron números romanos (I, II, III, IV y V); y ocho filas que simbolizan las ocho preguntas que ayudan a conocer la experiencia del docente, a las que se les denominó con letras (A, B, C, D, E, F, G, y H). Todo ello nos lleva a asignar el código a cada celda, de tal forma que si encontramos una frase clasificada en la zona contextual con el código **IIID**, esto significa que la frase que escribió el profesor corresponde a la idea **III. Ingeniería genética. Del DNA a las proteínas recombinantes**, para dar respuesta a la pregunta **D. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea?**

Este análisis de las frases por zonas se encuentra en los anexos del 5 al 8. Posteriormente se determinó el porcentaje de frases que se colocaron en cada zona, para determinar el perfil de cada profesora. A continuación comentamos con detalle los resultados derivados de cada profesora.

Profesora 1

En el anexo 5 se pueden observar los datos que corresponden a la profesora 1, éstos se encuentran representados en la gráfica 1 y muestran que no existe una diferencia significativa entre el número de frases clasificadas dentro de cada una de las cuatro zonas, al parecer la experiencia de esta profesora le indica que debe transitar por las cuatro zonas para lograr el aprendizaje de sus alumnos. También, puede observarse en la gráfica, que hay una ligera preponderancia de la zona contextual y de la racionalista, lo que nos indica que esta maestra hace énfasis en el enfoque ciencia-tecnología-sociedad, así como en la porción científica de fórmulas químicas de los aspectos genéticos. El enfoque CTS resulta evidente en las siguientes frases de la profesora, que revelan la utilización de aspectos históricos y de énfasis en la enseñanza sobre el contexto cotidiano del tema:

“Los antecedentes históricos y el contexto en el que surge la biotecnología”

“Algunos campos de aplicación concretos y de importancia para la humanidad como en medicina, las industrias farmacéutica y alimenticia, la conservación de la biodiversidad, entre otros.”

“Es importante que el alumno ...[conozca]... los campos de aplicación principales del conocimiento biológico, le ayudará a comprender de mejor manera los cambios vertiginosos que se están dando en la agricultura, medicina, así como el impacto ambiental que pueda generarse por el uso de organismos transgénicos, por citar un ejemplo.”

“Los campos de aplicación de la biotecnología son muchos pero creo que en el bachillerato deben revisarse los que tienen que ver directamente con la realidad de los alumnos.”

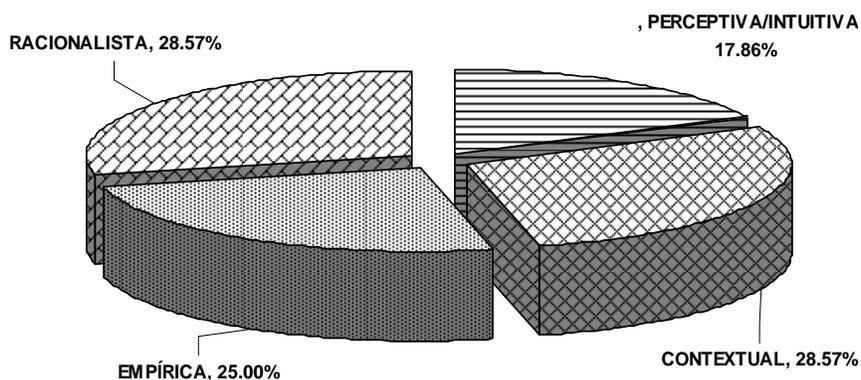
Algunas frases revelan el carácter científico-bioquímico formal de sus clases, en las que hace énfasis en aspectos de la estructura genética, fueron clasificadas dentro de la zona racionalista, y son:

“La composición química del DNA, así como las características del modelo tridimensional de la molécula, así como a partir de su estructura se puede deducir sus funciones. También las características del código genético.”

“Me parece que una limitante puede ser la carencia de los conceptos básicos de química que el estudiante necesita poseer para comprender las características de la molécula del DNA, así como del flujo de la información genética en las células.”

“La carencia de conceptos científicos de genética en los alumnos ... obstaculiza el aprendizaje de nuevos conceptos. Algunos de los conocimientos básicos que los alumnos deben poseer son: cromosoma, gen, plásmido, enzimas, estructura y función del DNA, replicación, transcripción y traducción del DNA.”

Perfiles Conceptuales Profesora 1



Gráfica 1

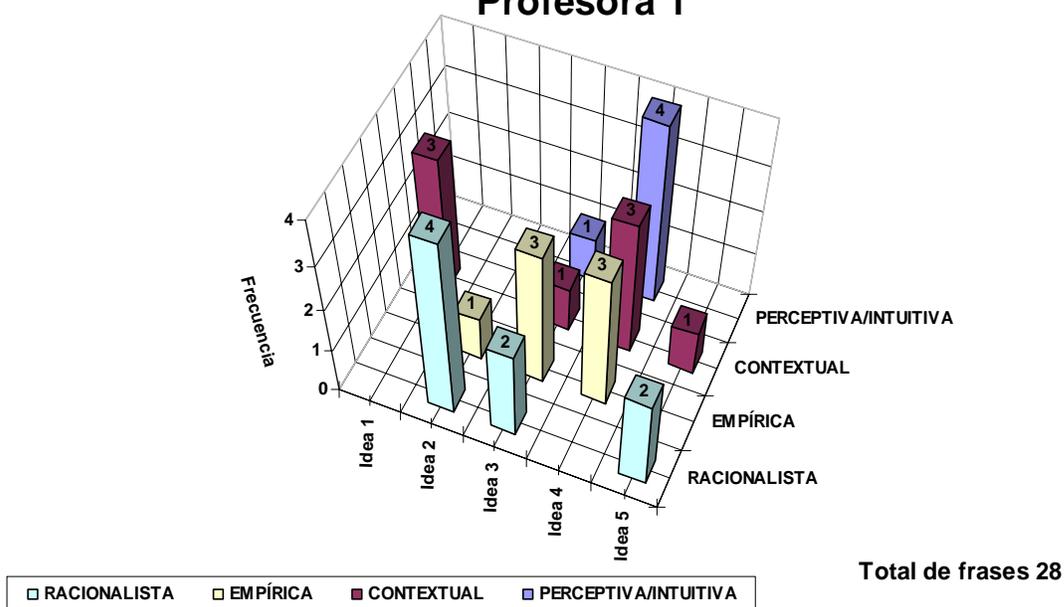
De lo que esta profesora escribió en su CoRe sólo fue posible categorizar 28 frases, de éstas sólo tres son de la idea 1 (la que se refiere al desarrollo histórico de la biotecnología) y están colocadas en la zona contextual (ver gráfica 1.1); lo que podría indicar que de acuerdo con ella, la historia debe vincularse con el contexto actual de los estudiantes.

Por otra parte la idea 2 (estructura del DNA) la sitúa básicamente en la zona racionalista, pero con el apoyo de la zona empírica para captar el compromiso de los estudiantes. Con respecto a la idea 3 (ingeniería genética) se observa que aparecen frases en las cuatro zonas, pero hay más en la zona empírica. La idea 4 (aplicaciones biotecnológicas) es la que mayor número de frases tiene (10), pero ninguna de ellas se encuentran en la zona racionalista,

están situadas casi de forma homogénea en las otras tres zonas; esto pudiera llevarnos a pensar que las aplicaciones biotecnológicas (desde la experiencia de esta profesora) son muy importantes para los estudiantes; sin embargo, no desde un punto de vista racionalista, es decir, con toda la formalidad de la escritura de fórmulas, sino más bien con un énfasis perceptivo, intuitivo, contextual y empírico. La idea 5 (ética) al igual que la idea 1 cuenta con tres frases, dos de ellas están en la zona racionalista y una en la contextual.

Todo esto nos lleva a pensar que para la profesora 1, las ideas que requieren más tiempo para enseñar son las que se refieren a la estructura del DNA, a la ingeniería genética y a las aplicaciones de la biotecnología. La idea ligada a la parte ética debe tocarse desde un perfil racionalista, teniendo en cuenta el contexto en el que se desenvuelve el alumno.

Distribución de las frases en las zonas Profesora 1



Gráfica 1.1

Profesora 2

Los datos correspondientes a la profesora 2 se encuentran en el anexo 6 y se incorporan en la gráfica 2, en éstos se muestra que existe una preponderancia hacia la zona contextual. Probablemente, su experiencia le hace considerar que la relación del estudiante con su entorno es básica para el aprendizaje. Es importante para ella la divulgación de la ciencia, esto lo podemos apreciar en frases como:

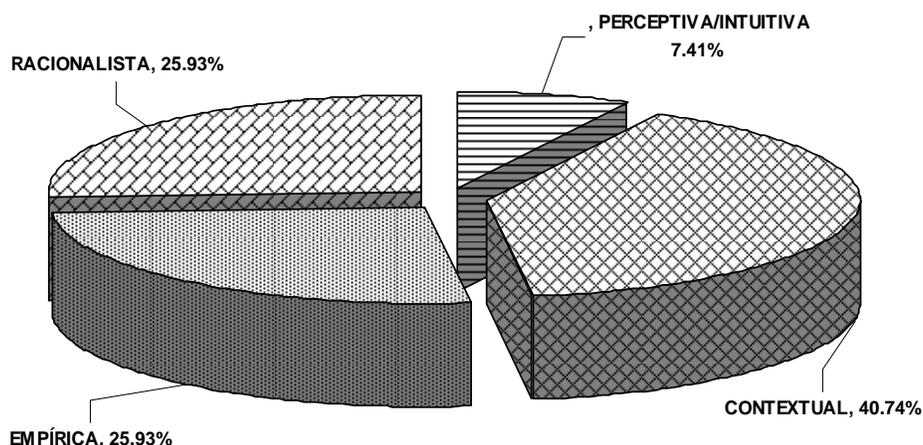
“La relación al nivel más básico y fundamental entre todas las especies vivas del planeta”
 “Discusión de casos específicos de impacto de este conocimiento en la actualidad: tanto reales y potenciales, así como hipotéticos”
 “Me parece que es clave en la sociedad actual, más en profesionistas y fundamental en aquellos en los cuales puede recaer la decisión o la información sobre su desarrollo, usos y/o aplicaciones”

No obstante, esta profesora también utiliza en gran porcentaje y de igual forma (como se observa en la gráfica) la zona empírica que la racionalista, pues la divulgación de la ciencia también se basa en hechos empíricos y racionalistas, es decir, en hechos que tienen que ver con las técnicas y que se encuentran sustentados en la formalidad de la ciencia. Algunas frases que dan cuenta de esto son:

“Se trata de disciplinas (Biología Molecular y Genética), de las cuales sólo se abarcan las bases generales y las técnicas de manipulación”
 “El hecho de que las metodologías se aplican a todo tipo de células: desde bacterias hasta humanos, pasando por plantas y animales. Cada caso es diferente”
 “Al igual que la anterior, se requiere de bases de bioquímica, genética, fisiología y biología celular”
 “El hecho nuevamente de que dentro de la Biotecnología, ésta es sólo una de las disciplinas de impacto y requiere de bases muy sólidas en Bioquímica y Fisiología celular”

La zona perceptiva/intuitiva es la menos favorecida (7.41 %), al parecer la profesora 2 tiene ya estructurado su discurso por lo que las imprecisiones o los comentarios anecdóticos son menos frecuentes.

Perfiles Conceptuales Profesora 2



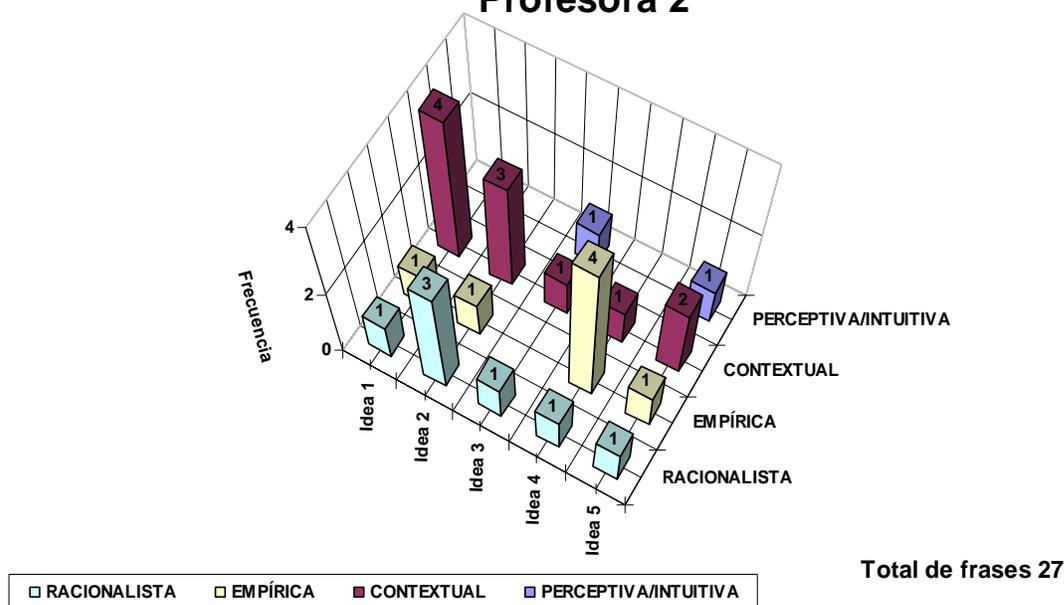
Gráfica 2

Son 27 frases las que se lograron categorizar, de éstas: 3 se refieren únicamente a la idea 3 (ingeniería genética) y se clasificaron como perceptivo intuitivas (1) y contextuales (2) y las otras 24 se encuentran distribuidas casi de forma homogénea entre las otras cuatro ideas. Cada idea cuenta con al menos una frase en las zonas contextual, empírica y racionalista.

Cabe hacer mención que la idea 4 (aplicaciones biotecnológicas) es la que se sitúa predominantemente en la zona empírica (todos estos datos se pueden observar en la gráfica 2.1).

De todo lo anterior, podemos pensar que para la profesora 2 es importante en la enseñanza de la biotecnología, planear preferentemente, actividades que se encuentren en la zona contextual, pero, siempre sustentadas por las zonas empírica y racionalista. También considera que todas las ideas son igualmente importantes, a excepción de la idea relacionada a la ingeniería genética, a la que le otorga menos valor.

Distribución de las frases en las zonas Profesora 2



Gráfica 2.1

Profesora 3

La gráfica 3 simboliza los datos obtenidos del anexo 7, donde se encuentran los resultados que corresponden a la profesora 3, en ellos se puede observar que esta profesora es predominantemente perceptiva, ya que posiblemente su experiencia le marca que debe moverse mucho más en la zona perceptiva/intuitiva para lograr captar el interés de los estudiantes, esto se puede apreciar en frases como las siguientes:

“Que la biotecnología no es algo reciente y que prácticamente desde que el hombre domestica animales y selecciona plantas existe”

“Porque se le da sustento teórico a gran cantidad de conocimientos empíricos que los alumnos tienen, como las fermentaciones”

“El comprender qué tan grandes y a la vez tan pequeñas son las proteínas y sus componentes”
“Que gracias a la biotecnología sin darnos cuenta hemos recibido grandes beneficios como: obtención de la penicilina cultivo de tejidos, obtención de biomasa, metabolitos secundarios, hasta diseñar estrategias racionales para el tratamiento y prevención de enfermedades”

Sin embargo, al parecer, una vez que ha captado la atención de los alumnos, inmediatamente trata de llevarlos a la zona racionalista, es decir, hace uso de un lenguaje estrictamente científico, como la aplicación de fórmulas, algunas frases que muestran esto son:

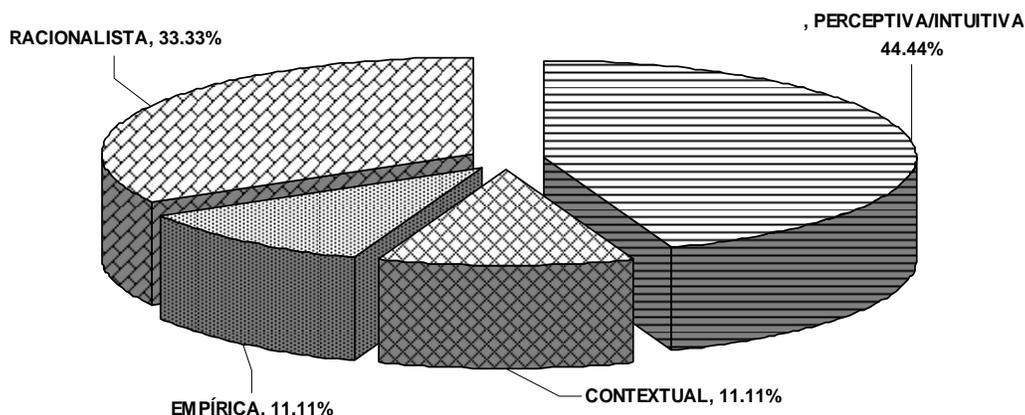
“Primero la comprensión de las unidades que conforman las proteínas, el enlace peptídico y algunas secuencias que conforma el DNA, esto se realizaría mediante cartones que representen las fórmulas de los aminoácidos”

“Una representación en tercera dimensión de una parte de del DNA con una exposición oral que relacionara las funciones del DNA y el código genético”

“El no haber comprendido en el transcurso del semestre desde la conformación química de un aminoácido hasta la importancia de la secuencia de los componentes que forman el DNA así como los beneficios y los riesgos que conlleva las modificaciones de esta proteína”

Es de resaltar que las zonas contextual y empírica son poco utilizadas por esta profesora, lo que desde mi punto de vista es poco conveniente, pues el interés de algunos estudiantes puede centrarse en estas zonas, lo que podría significar que aquellos no se comprometieran con el tema.

Perfiles Conceptuales Profesora 3



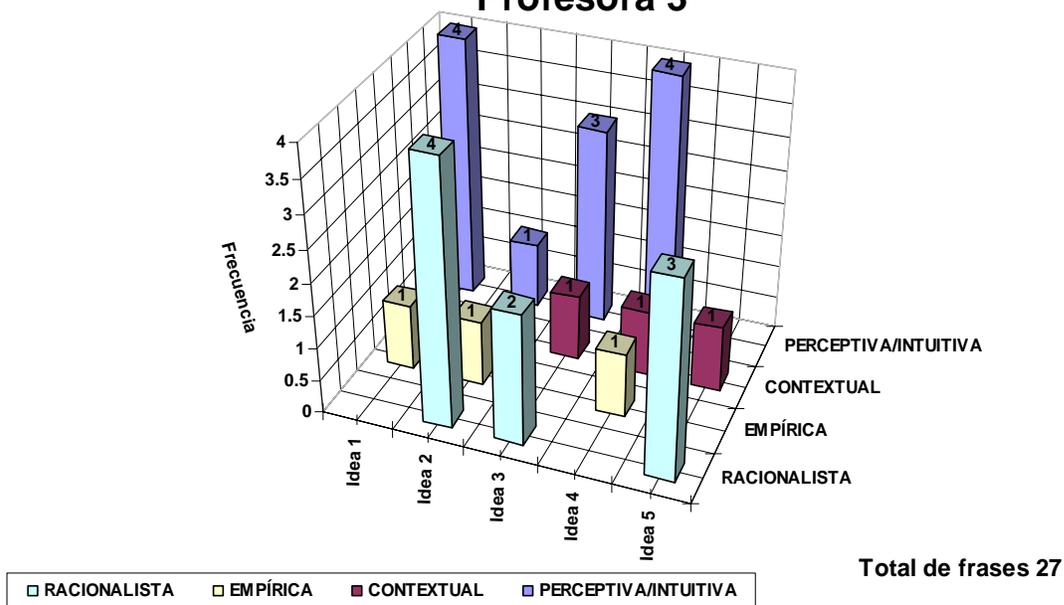
Gráfica 3

Por otra parte, se observa que al parecer para la profesora 3, las cinco ideas planteadas son igualmente importantes, pues en éstas (como se observa en la gráfica 3.1), no existe una diferencia significativa en cuanto a la distribución de las 27 frases que se lograron obtener de su CoRe. Se aprecia que la idea 1, la que se refiere al panorama histórico de la biotecnología, prácticamente la aborda de forma intuitiva, ya que 4 frases de las 5 que tiene

para esta idea se encuentran en esta zona. Esto mismo sucede para la idea 4 (la de aplicaciones biotecnológicas). Sin embargo, las ideas 2 (estructura del DNA) y 5 (ética) las afronta preferentemente desde la zona racionalista, incluso esta última idea es la única que no tiene una sola frase en la zona perceptiva/intuitiva. Con respecto a la idea 3 (que corresponde a la ingeniería genética) no presenta una predilección definida hacia alguna zona.

En términos generales podríamos decir que las ideas de la biotecnología que probablemente son más atractivas para los estudiantes y de las que poseen más preconcepciones, como pueden ser la parte histórica y la de aplicaciones, la profesora 3 las plantea desde el panorama en que se encuentran los alumnos de bachillerato, el intuitivo o perceptivo. Pero, las ideas que son en su mayor parte solamente entendidas desde la parte formal de la ciencia como la estructura del DNA, la ingeniería genética o las implicaciones éticas, trata de programarlas desde una perspectiva preferentemente racionalista. Resulta, como vemos, muy interesante la forma de planear sus clases de esta profesora, con énfasis en la zona perceptiva, como elemento motivador inicial y la conclusión en la zona racionalista de la bioquímica estricta.

Distribución de las frases en las zonas Profesora 3



Gráfica 3.1

Profesora 4

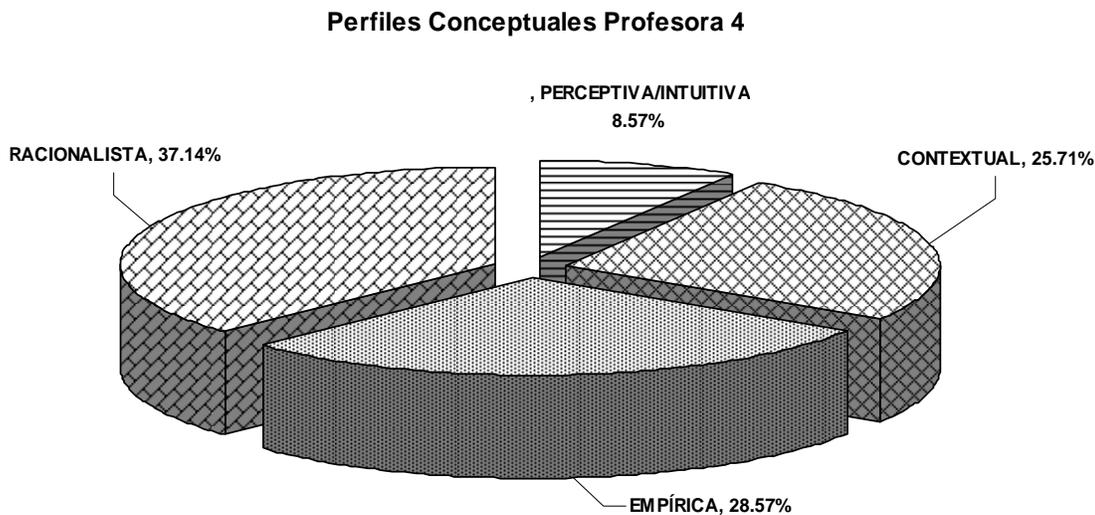
El anexo 8 presenta los datos correspondientes a la profesora 4, ellos se concentran en la gráfica 4, donde se manifiesta que existe una superioridad de frases en la zona racional, lo que puede significar que la experiencia de esta profesora para lograr el aprendizaje en sus alumnos, es a través del uso de la formalidad y rigor de la ciencia, pues la mayoría de las frases que emite son del tipo:

“Es importante correlacionar la historia de la biotecnología con ... el desarrollo de la microscopía, de la bioquímica, el descubrimiento del DNA, desarrollo de electrodos esterilizables, las computadoras para hacer procesos automatizados, la reacción en cadena de la polimerasa, las técnicas de DNA recombinante, etc.”

“Al tocar este tema puede haber dificultad en que los alumnos comprendan que el DNA por sí solo no es suficiente para que se lleve a cabo una función en la célula. Es importante (y complejo) el que el “código” se descifre de tal manera que repercuta en una función determinada”

“La utilización de un esquema simple que represente a lo que nos referimos con “cortar y pegar” genes, lo que es un vector de clonación (un vehículo que llevará la información nueva), etc.”

“La idea principal es que se den cuenta de que la “nueva” biotecnología se hace de manera responsable y con un fin determinado, pero que de nosotros depende que se exija a los científicos y compañías productoras que se de información al consumidor y al público en general”



Gráfica 4

También, se puede observar en la gráfica 4, que la zona perceptiva es la menos favorecida y que podría existir una buena proporción de comentarios sobre las zonas contextual y empírica, hasta llegar a la racionalista, con el máximo; e incluso se nota que las pocas frases que utiliza para la zona perceptiva las concentra en la idea 1 (lo que se observa en la gráfica 4.1), así como lo hace con el mayor número de sus frases correspondientes a la zona contextual. Al parecer da la impresión de que al inicio de un curso de biotecnología trata de captar la atención de los estudiantes situándose en las zonas donde es probable que éstos se encuentren, pero conforme avanza el curso se va posesionando en la zona racionalista. Por ejemplo, la idea 1 (que corresponde al panorama histórico) es la que cuenta con el mayor

número de frases (10 de las 35 frases que se lograron categorizar), 2 corresponden a la zona perceptiva, 6 a la contextual, una a la empírica y una a la racionalista. Pero la idea 2 (estructura del DNA) tiene pocas frases (5) y todas en la zona racionalista.

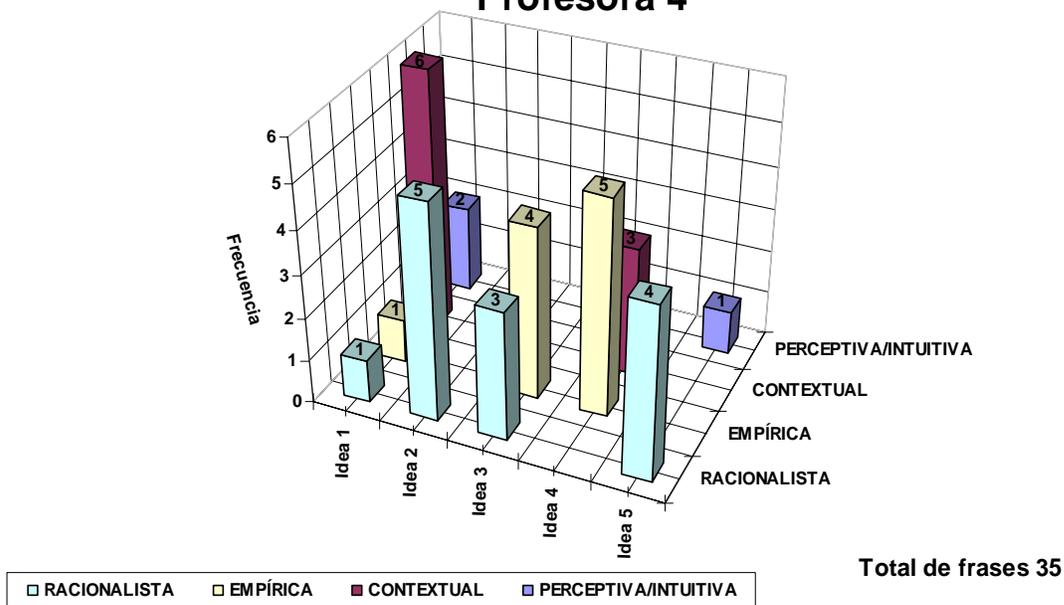
La idea 4 (aplicaciones biotecnológicas) es la única que no es tratada desde el ámbito formal de la ciencia (zona racionalista), sino lo hace desde la parte contextual y empírica. Probablemente esta profesora considera que es mejor tratar las aplicaciones biotecnológicas desde su técnica de funcionamiento, relacionándola con su entorno, las frases siguientes pueden apoyarlo:

“Luego hablaría de ingredientes de alimentos que consumen con frecuencia (edulcorantes, ácidos orgánicos, vitaminas, frituras que tienen ingredientes transgénicos) y comentaría sobre medicamentos como vacunas, antibióticos y sobre las pruebas para detectar el SIDA (anticuerpos monoclonales), etc.”

“...se podrían seleccionar algunos productos para explicar con un poco de detalle el proceso de elaboración. Se podrían hilar las ideas con un proceso como el del queso, donde se podría utilizar quimosina recombinante; o la producción de insulina con la utilización de bacterias recombinantes.”

No obstante, que se observa que la profesora 4, tiene bastante estructurado su curso y que no cae en imprecisiones, me parece de acuerdo a mi experiencia (15 años de docencia en el nivel medio superior) que en los estudiantes del nivel bachillerato es poco probable que se logre el interés y aprendizaje por la biotecnología, desde un ámbito basado en la formalidad y rigor de la ciencia, ya que de entrada es difícil para la mayoría de ellos entender y manejar el lenguaje científico.

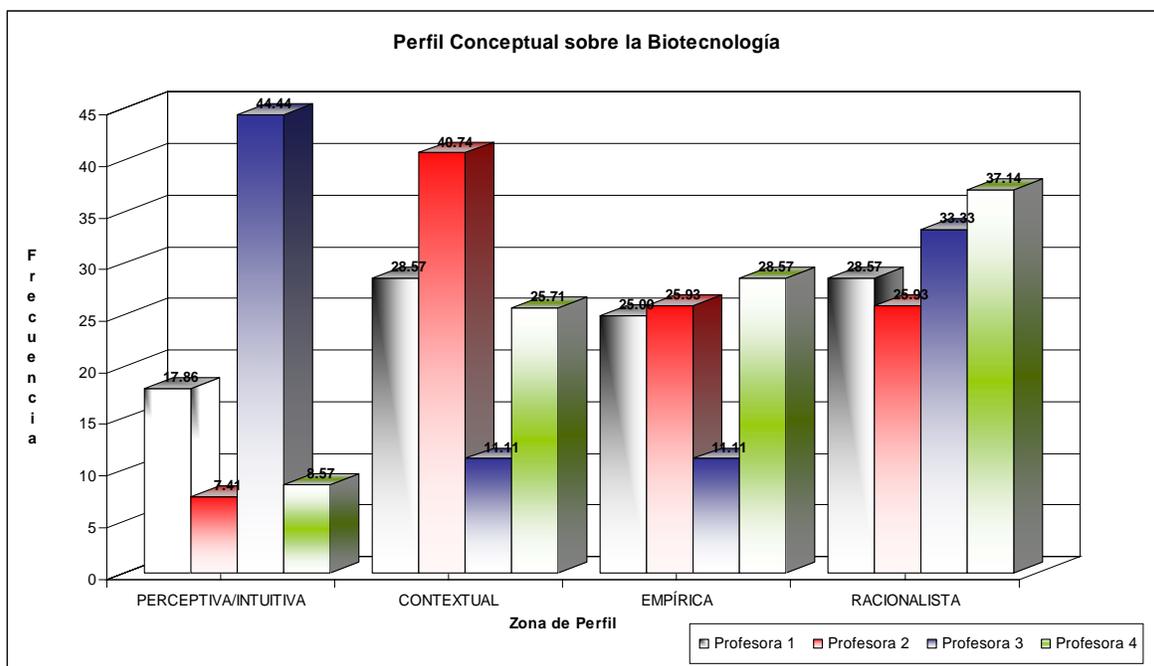
**Distribución de las frases en las zonas
Profesora 4**



Gráfica 4.1

Gráficas de perfil conceptual de las cuatro profesoras

En la gráfica 5 se observa que las cuatro profesoras usan en mayor o menor escala las cuatro zonas del perfil conceptual. De acuerdo a lo que estima Mortimer, el perfil conceptual de cada una de ellas tiene algunas semejanzas con el perfil epistemológico, tal como jerarquías entre las diversas zonas, por las cuales cada zona sucesiva es caracterizada por tener categorías con un poder explicativo mayor que sus antecedentes, es por ello que los cuatro profesores llegan a manejar la zona racionalista en un alto porcentaje. También, se observa en esa zona que la diferencia en porcentaje de cada participante es menor en relación a las demás, lo que puede indicar, que todos ellos convergen hacia la cantidad de actividades en la zona científica, que deben presentarse en un curso, cuyo rango es del 25% al 35% aproximadamente.



Gráfica 5

También, se puede observar que algunas docentes presentan más actividades en alguna zona en particular. Ya que como vimos anteriormente, estas características individuales son influenciadas fuertemente por la cultura, por lo que el perfil conceptual es un “sistema individual de las formas de pensamiento” que se pueden asignar al individuo dentro de la misma cultura. El perfil conceptual es, por lo tanto, dependiente del contexto, puesto que se arraiga fuertemente en el fondo distinto del individuo y del contenido, puesto que refiere a un concepto particular. Pero al mismo tiempo, sus categorías son independientes del contexto, como dentro de una cultura tenemos las mismas categorías por las cuales las zonas del perfil son determinadas. Entonces, es posible que la experiencia de cada profesor, le indique en que zona debe trabajar más, para lograr el interés de sus alumnos. Es

importante mencionar que la experiencia está sujeta al nivel académico en el que nos desenvolvemos como profesores, de tal forma que se puede ser un experto en el tema de biotecnología y tener eficientemente estructurado un curso de biotecnología para nivel superior y, no tener mucha idea de lo que se puede enseñar realmente en un nivel académico inferior.

Como se expuso anteriormente, con la noción del perfil conceptual es posible enseñar un concepto en cierto nivel del perfil, sin referencia a un nivel menos complejo, puesto que es epistemológicamente y ontológicamente diferente. En este sentido, el proceso de aprendizaje puede ser pensado como la construcción de un cuerpo de las nociones basadas en nuevos hechos y experimentos presentado a los estudiantes en el proceso de enseñanza. El nuevo concepto no depende de los anteriores y se podría aplicar a uno nuevo, de diverso dominio.

Si partimos de la idea que el pensamiento de los estudiantes se sitúa de inicio en alguna de las zonas mencionadas, cuando el profesor presente algunas actividades en la zona donde se encuentra éste, el profesor logrará captar su interés y, posiblemente, el alumno se comprometa con el objeto de estudio, lo suficiente como para continuar receptivo a la dinámica de la clase. Entonces el profesor moverá el planteamiento de las actividades hacia la zona del perfil deseada (racionalista).

Por lo tanto, para planear la enseñanza de un tema o concepto específico es necesario acordar el perfil conceptual que deseamos y, entonces, determinar las diversas divisiones del perfil para cada concepto e identificar los obstáculos epistemológicos y ontológicos que puedan existir.

Puede observarse la diferencia en los perfiles conceptuales de las cuatro profesoras observando la forma misma de los perfiles, como el de la tercera profesora en forma de “U”, con la mayoría de sus expresiones en las zonas perceptiva y racionalista; o el de la segunda profesora, con un máximo grande en la zona contextual; o el de la primera, con un perfil prácticamente constante en todas las zonas; o el de la cuarta, que resulta creciente entre la perceptiva y la racionalista. No cabe duda de que la naturaleza de sus clases debe ser diferente, aunque ello no implica que alguna de ellas sea mejor profesora que las otras. No podemos dar un juicio de valor a uno u otro perfil conceptual, simplemente hay, que resaltar en esta tesis la diversidad de enfoques que emplean las diferentes profesoras en su labor de enseñanza.

CAPÍTULO 6

Conclusiones

Como se ha mencionado en el desarrollo de este trabajo, capturar el CPC de un profesor es un proceso difícil por todo lo que conlleva (dificultades que ya se abordaron en el capítulo 1). Sin embargo, la representación del contenido (CoRe), una metodología propuesta por Loughram (2000) *et al.*, nos ha permitido, en esta investigación, capturar de forma satisfactoria el CPC de cuatro profesores para el tema de la biotecnología. A través de esta metodología logramos conocer las ideas centrales que los profesores consideran importantes para la enseñanza de este tema, pero no solamente las ideas de forma aislada, sino también sabemos por qué para ellos son importantes éstas y qué dificultades y limitaciones son probables de encontrar en su instrucción. También, gracias a los CoRe, conocimos diferentes actividades de enseñanza para lograr que los estudiantes se interesen en el tema y lo aprendan; así como la mejor forma de evaluar lo aprendido por nuestros alumnos, entre otras cosas. En resumen podemos decir que la metodología usada es apropiada para documentar el CPC de profesores.

Algunas recomendaciones para la enseñanza del tema de la biotecnología en el bachillerato, surgidas de este trabajo (específicamente del análisis de los CoRe) son, agrupadas para cada una de las ideas centrales obtenidas por consenso:

- ❖ Idea 1. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria.

En cuanto a esta idea los profesores coinciden en que es importante que el alumno sea consciente de que el desarrollo de la biotecnología se basa en las necesidades de la sociedad, pues esto le permitirá tener una mejor visión del impacto actual y potencial de la biotecnología. Entonces las actividades planeadas deberán estar encaminadas a este logro.

- ❖ Idea 2. Estructura del DNA. El material genético de los organismos es el mismo para todos.

Las recomendaciones en este punto son: 1) que el alumno entienda primero el funcionamiento celular y después cómo poder modificarlo; 2) no se deben ver temas muy particulares o a un nivel muy profundo; 3) se debe sentar firmemente las bases disciplinarias; 4) ilustrar el tema con modelos moleculares, software multimedia, videos, etc.; y 5) las formas de evaluar más apropiadas puede ser la elaboración de un mapa conceptual o la discusión de casos específicos.

Algunas de las limitaciones que pueden encontrarse en la enseñanza de esta idea es que a los estudiantes les faltan bases disciplinarias de diferentes áreas, para apropiarse del tema.

❖ Idea 3. Ingeniería genética. Del DNA a las proteínas recombinantes.

Las encomiendas para la enseñanza de esta idea son: 1) los estudiantes deben ver a la ingeniería genética como la base de la biotecnología actual; 2) es importante que los alumnos vean que la biotecnología moderna tiene que ver con la aplicación de la ingeniería genética en la optimización y mejoras de los procesos de producción de compuestos de interés; y 3) las actividades de enseñanza/aprendizaje pueden ser lecturas, discusión de casos, análisis de alternativas, resolución de ejercicios, utilización de esquemas y ejemplos reales.

En cuanto a las dificultades que pueden presentarse en la enseñanza de esta idea se encuentra la falta de bases disciplinarias de diferentes áreas como genética, bioquímica y fisiología celular; también se menciona que los alumnos muestran cierta resistencia para alterar el orden natural o bien que les falta imaginación para ver los procesos.

❖ Idea 4. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados.

Con respecto a esta idea se recomienda que: 1) los estudiantes vean la importancia de la aplicación de la biotecnología en la mejora de la calidad de vida; 2) es importante que los estudiantes la conozcan porque es una actividad actual y de la vida diaria, de tal manera que debe integrarse a su cultura general; 3) es importante que el alumno conozca todo el potencial de aplicación de la biotecnología y no sólo se limite a alimentos y fármacos; 4) no se deben ver temas muy particulares o a un nivel muy profundo; 5) los procedimientos para su enseñanza son la investigación documental a cerca del tema, junto con una exposición o discusión de ésta y la elaboración de una lista que contenga los nombres de los diferentes productos de origen biotecnológico que se utilizan más frecuentemente; y 6) para la evaluación de esta idea se sugiere como alternativas: la exposición de algún tema, la resolución de cuestionarios, los reportes de investigación o ensayos, la participación en las discusiones, que el alumno aborde un nuevo proceso para que él determine el tipo de necesidades que cubre, así como el tipo de información e investigaciones que debe hacer para poderlo realizar.

Las dificultades que podemos encontrar en la enseñanza de esta idea se relacionan con los pensamientos erróneos que tienen los alumnos o también a que la gran cantidad de información que puede manejarse en este tipo de temas, que distrae su formación.

❖ Idea 5. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?

Se sugiere que: 1) los alumnos deben estar conscientes de los límites concretos de la biotecnología; 2) es importante que los estudiantes, con una postura crítica y fundamentada, puedan tomar decisiones, sobre su uso, así como opinar sobre las leyes que controlan su regulación; 3) los aspectos de la biotecnología que son necesarios de legislar, no deben formar parte de un curso de biotecnología; 4) hay que tratar esta idea con cautela, ya que depende de las actitudes y valores, así como de la postura tanto de alumnos como de profesores, por lo que la objetividad se

puede perder con mucha facilidad en este tipo de discusiones; 5) las actividades didácticas pueden comprender: debates grupales después de una investigación bibliográfica, éstos ayudan a que los alumnos se comprometan con la idea o bien que se plantee alguna situación hipotética que dé pie a que los alumnos externen sus opiniones y puntos de vista, contando siempre con la guía del profesor, para no polarizar la discusión; y 6) la evaluación puede tomar en cuenta la participación y actitud crítica y propositiva que los alumnos manifiesten en el debate.

En cuanto a las limitaciones que se pueden encontrar en esta idea se encuentran las creencias que los alumnos tienen sobre estos aspectos, así como sus posturas heterogéneas.

En cuanto al análisis de los CoRe mediante los perfiles de Mortimer, podemos decir que gracias a esto se ha comprobado, una vez más, la diversidad de formas en que se puede abordar un tema dentro del salón de clases, sin que ello represente que deba ser una forma mejor que otra. Sin embargo, se puede decir que la forma en que un profesor toca un tema, depende en gran medida de su experiencia, su cultura y el contexto en el que se mueve, por lo que reiteramos que el perfil conceptual es un “sistema individual de las formas de pensamiento”. Por lo tanto, con la noción del perfil conceptual es posible enseñar un concepto en cierta zona del perfil, sin referencia a una zona menos compleja, puesto que es epistemológica y ontológicamente diferente. El sentido común del docente le permite tomar en cuenta en la enseñanza de un nuevo concepto científico, las relaciones de éste entre los diversos niveles del perfil conceptual del estudiante, y saber cuándo es más conveniente el uso de un perfil con relación a otros. En este sentido, el proceso de aprendizaje puede ser pensado como la construcción de un cuerpo de las nociones basadas en nuevos hechos y experimentos presentados a los estudiantes en el proceso de enseñanza. El nuevo concepto no depende de los anteriores y se podría aplicar a uno nuevo, de diverso dominio.

Finalmente, podemos decir que la mayor aportación de esta investigación es que abre una brecha en la investigación educativa para lograr el análisis del CPC a través de los perfiles conceptuales de Mortimer.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÚRIZ et al. (2001) "Ideas on the nature of science in prospective teachers for early childhood education". In: memories 25^a ATEE annual conference. Barcelona
- ALFARO, V. G. (1996) "Evaluación cualitativa: Técnicas y estrategias". En *Tendencias actuales en la medición y evaluación educativa*. Compiladora Leda Badilla Chavarría San José: Universidad de Costa Rica.
- ARCHER, B. (1992) *As complex as ABC*. In P. Roberts, B. Archer and K. Baynes (eds)
- AUSUBEL, D. P. (1963) *The psychology of meaningful verbal learning*, New York, Grune & Stratton.
- AUSUBEL, D. P. (1968) *Educational psychology -a cognitive view*, New York, Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- AVERY, O., MCLEOD, C. y MACCARTHY, M. (1944) "Studies on the chemical nature of the substances inducing transformation of pneumococcal types", *J. Exp. Med.* **79**, pág. 137-158.
- AZNAR CUADRADO, V. (2000) "¿Qué sabemos sobre biotecnología?", En: *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **25**, pág. 9-14
- BACHELARD, G. (1940) *La philosophie du non*. Paris: Quadridge/PUF. Translated as *The philosophy of No. A philosophy of the new scientific mind*, New York: The Orion Press, in 1968, by G. C. Waterston
- BAKER, W. y LAWSON, A.C. (2001) "Complex Instructional Analogies and Theoretical Concept Acquisition in College Genetics" Ed. Jhon Wiley and Sons, Inc.
- BALL, D. L. (2000) "Bridging Practices: Intertwining Content and Pedagogy in Teaching and Learning to Teach", *Journal of Teacher Education*, **51** (3), pág. 241-247.
- BANET, E. y AYUSO, G. E. (1995) "Introducción a la Genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos", *Enseñanza de las Ciencias*, **13**(2), pág. 137-154.
- BANET, E., AYUSO, G. E. y ABELLÁN, T. (1996) "Introducción a la Genética en la Enseñanza Secundaria y Bachillerato: II ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios?", *Enseñanza de las Ciencias*, **14**(2), pág. 127-142.
- BARNETT, J. y HODSON, D. (2001) "Pedagogical Context Knowledge: Toward a Fuller Understanding of What Good Science Teachers Know", *Science Education*, **85**, pág. 426-453.
- BAXTER, J.A. y LEDERMAN, N. G. (1999) "Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge", In Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge*, Dodrecht: Kluwer Academic Publishers, pág. 147-162.
- BELLO, S. (2004) "Ideas previas y cambio conceptual", *Educación Química*, **15**(3), pág. 210-217.

- BERLINER, D.C. (1986) "In pursuit of the expert pedagogue", *Educational Research*, **15(7)**, pág. 513.
- BOLÍVAR F., RODRÍGUEZ R. L. GREENE P. J., BETLACH M. C., HEYNEKER H. L., BOYER H. W., CROSA J. H. y FALKOW S. (1977) "Construction and characterization of new cloning vehicles. II. A multipurpose cloning system", *Gene*, **2**, pág. 95-113.
- BOLÍVAR, F. (2000) *Obra científica IV. La genética moderna: fundamentos y horizontes*, México, El Colegio Nacional.
- BOLÍVAR, F. (2000) *Obra científica. IV La genética moderna: fundamentos y horizontes*, México: El Colegio Nacional.
- BOND-ROBINSON, J. (2005) "Identifying pedagogical content knowledge (PCK) in the chemistry laboratory", *Chemistry Education Research and Practice*, **6(2)**, pág. 83-103.
- BROOKS, J. G y BROOKS, M. G. (1999) *In Search for Understanding; The Case for Constructivist Classrooms*, ASCD, Alexandria.
- BUCAT, R. (2004) "Pedagogical content knowledge as a way forward: applied research in chemistry education" *Chemistry Education Research and Practice*, **5(3)**, pág. 215-228.
- CABO, J.M., ENRIQUE, C. y CORTIÑES, J.R. (2006) "Opiniones e intenciones del profesorado sobre la participación social en ciencia y tecnología. El caso de la biotecnología"
- CAREY, S. (1985) *Conceptual change in childhood*, Cambridge, MA, MIT Press.
- CAREY, S. (1991) *Knowledge acquisition: enrichment or conceptual change*, In E. Margolis y S. Laurence (Eds) *Concepts - Core readings*, Cambridge, MA, pág. 459-487.
- CARLSEN, W. (1999) "Domains of teacher knowledge" En Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Dordrecht: Kluwer. pág. 133-146.
- CARRETERO, M. (1998) "Construir y Enseñar: Las Ciencias Experimentales". 3ª edición, Buenos Aires, AIQUE.
- CHEVALLARD, Y. (1991) *La transposición didáctica*, Argentina, AIQUE, 196 págs.
- CLERMONT, C. P., BORKO, H. y KRAJCIK, J. S. (1994) "Comparative study of the pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators", *Journal of Research in Science Teaching*, **31(4)**, pág. 419-441.
- CLERMONT, C. P., KRAJCIK, J. S. y BORKO, H. (1993) "The influence of an intensive in-service workshop on pedagogical content knowledge growth among novice chemical demonstrators", *Journal of Research in Science Teaching*, **30(1)**, pág. 21-44.

- COCHRAN, K. F., DERUITER, J. A. y KING, R. A. (1993) "Pedagogical content knowing: an integrative model for teacher preparation", *Journal of Teacher Education*, **44**, pág. 263-272.
- COHEN, S., CHANG, H., BOYER and HELLING, R. (1973) "Construction of biologically functional bacterial plasmids *in vitro*". *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **70**, pág. 3240-3244.
- COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES (1996) *Plan de Estudios Actualizado* Unidad Académica del Ciclo de Bachillerato, UNAM
- CRUEGER, W. y CRUEGER, A. (1993) *Biotecnología. Manual de Microbiología Industrial*, Ed. Acibia, Zaragoza
- DAWKINS, K. y BUTLER, S. (2001) "Analyzing preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge regarding mole concept", *Proceedings of the annual meeting of the Association for Teacher Education in Europe*, Stockholm, pág. 8. Versión electrónica consultada el 2 de febrero de 2006, en la URL <http://www.ecu.edu/cs-educ/csmte/Research.cfm>.
- DAWSON, V. (2003) "Western Australian school student's understanding of biotechnology" *International Journal of Science Education*, **25(1)**, pág. 57-67.
- DE JONG, O. y VAN DRIEL, J. H. (2004) "Exploring the development of student teachers' PCK of the multiple meanings of chemistry topics" *International Journal of Science and Mathematics Education*, **2**, pág. 477-491.
- DE JONG, O., VEAL, W. R. y VAN DRIEL, J. H. (2002) "Exploring Chemistry Teachers' Knowledge Base", en J. K. Gilbert y otros (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pág. 369-390.
- DE JONG, VAN DRIEL y VERLOOP (2005) "Preservice Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Using Particle Models in Teaching Chemistry", *Journal of research in science teaching*, **42(8)**, pág. 947-964.
- DUIT, R. (1999) *Conceptual change. Approaches in science education*, En W. Schnotz; S. Vosniadou y M. Carretero (eds.) *New Perspectives on conceptual change*. Oxford: Elsevier.
- FERNÁNDEZ-BALBOA, J. y STIELKL. (1995) "The Generic Nature of Pedagogical Content Knowledge among College Professor", *Teaching and Teacher Education*, **11(3)**, pág. 293-306.
- FRANCE, B. (1997) *Realising the technology curriculum: professional development in biotechnology education*, Unpublished D. Phil thesis (Hamilton: Centre for Science, Mathematics and Technology Education Research, University of Waikato).
- FRANCE, B. (2000) "Biotechnology teaching models: what is their role in technology education?" *INT. J. SCI. EDUC.*, **22(9)**, pág. 1027-1039
- GABEL, D. L. (1994) (ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. NSTA, New York.

- GALLUZZO, G. R., y CRAIG, J. R. (1990) "Evaluation of preservice teacher education programs", In W. R. Houston (ed.), *Handbook of Research on Teacher Education*, New York: Macmillan, pág. 599-616.
- GARRITZ, A. y TRINIDAD-VELASCO, R. (2004) "El conocimiento pedagógico del contenido", *Educación Química*, **15(2)**, pág. 98-102.
- GARRITZ, A. y TRINIDAD-VELASCO, R. (2007) "La naturaleza corpuscular de materia y su conocimiento pedagógico", En *Cambio conceptual y representacional en la enseñanza de la ciencia*, Juan Ignacio Pozo y Fernando Flores (coords.), Antonio Machado Libros, OREALC-UNESCO/Universidad de Alcalá (en prensa).
- GEDDIS, A. N. (1993) "Transforming subject-matter knowledge: the role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching", *International Journal of Science Education*, **15(6)**, pág. 673-683.
- GEDDIS, A. ONSLOW, B. BEYNON, C. y OESCH, J. (1993) "Transforming Content Knowledge: Learning to Teach about Isotopes", *Science Education*, **77(6)**, pág. 575-591.
- GESS-NEWSOME, J. y LEDERMAN, N. G. (1999) *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, xii + pág. 306.
- GESS-NEWSOME, J. (1999) "Knowledge and Beliefs about Subject Matter", In J.Gess-Newsome and N.G. Lederman (Eds), *Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Teaching*, Dordrecht: Kluwer, pág. 51-95.
- GILBERT, J., BOULTER, C. y RUTHERFORD, M. (1998) "Models in explanations, part1: horses for courses?" *International Journal of Science Education*, **20**, pág. 83-97.
- GIL-PÉREZ, D. (1991) "¿Qué hemos de saber y de saber hacer los profesores de ciencias?", *Enseñanza de las Ciencias* **9(1)**, pág. 69-77.
- GIL-PEREZ, D. et al. (2002) "Defending Constructivism in Science Education", *Science & Education*, **11**, pág. 557-571.
- GOEDDEL, D., KLEID, D., BOLÍVAR, F., HEYKENER, H., YANSURA, D., CREA, R., HIROSE, T., KRASZEWSKI, A., ITAKURA, K. y RIGGS, A. (1979). "Expression of chemically synthesized genes for human insulin", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **76**, pág. 106-110.
- GÓMEZ-CRESPO, M. A. y POZO, J. I. (2000) "Las teorías sobre la estructura de la materia: discontinuidad y vacío", En M. Rodríguez Moneo (compiladora), *Cambio conceptual y educación, Revista Tarbiya*, **26**, pág. 117-139.
- GÓMEZ-CRESPO, M. A., POZO, J. I. y GUTIÉRREZ-JULIÁN, M. S. (2004) "Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos", *Educación Química* **15(3)**, pág. 198-209.
- GÓMEZ-CRESPO, M. A., POZO, J. I. y GUTIÉRREZ-JULIÁN, M. S. (2006) "La organización de las representaciones sobre la materia", En *Cambio conceptual y*

- representacional en la enseñanza de la ciencia*, Juan Ignacio Pozo y Fernando Flores (coords.), Madrid: UNESCO/Universidad Autónoma de Madrid, (en prensa).
- GROSSLIGHT, L., UNGER, C., JAY, E. y SMITH, C. (1991) "Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts International", *Journal of Science Education*, **17**, pág. 59-74.
- GROSSMAN, P.L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*, New York: Teachers College Press.
- HOFSTEIN, A. (2004) "The laboratory in chemistry education: thirty years of experience with developments, implementation, and research", *Chemistry Education Research and Practice*, **5(3)**, pág. 247-264.
- HOFSTEIN, A. y LUNETTA, V, N. (2004) "The laboratory in science education: Foundation for the 21st century", *Science Education*, **88**, pág. 28-54.
- HOFSTEIN, A., CARMELI, M. y BEN-ZVI, R. (2003) "The Development of Leadership among Chemistry Teachers in Israel", *International Journal of Science and Mathematics Education*, **1**, pág. 39-65.
- HOFSTEIN, A., CARMELI, M. y SHORE, R. (2004) "The Professional development of High School Chemistry Coordinators", *Journal of Science Teacher Education* **15(1)**, pág. 3-24.
- HOLLON, R.E., ROTH, K.I. y ANDERSON, C.W. (1991) "Science teachers' conceptions of teaching and learning" In. Brophy (Ed.) *Advances in research on teaching*, 2, Greenwich, CT. JAI Press
- IAÑEZ PAREJA, E. "Introducción a la Biotecnología", Instituto de Biotecnología. Universidad de Granada. Documento electrónico disponible en la URL:
<http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/introbiotec.htm>
- IZQUIERDO ROJO, M. (1999) *Ingeniería genética y transferencia génica*. Madrid: Ediciones Pirámide (ISBN: 84-368-1312-X).
- JENKINS, E. E. (2000) "Constructivism in School Science Education: Powerful Model or the Most Dangerous Intellectual Tendency?" *Science and Education*, **9**, pág. 599-610
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (2000) "Nuevas técnicas biológicas, antiguas explicaciones", *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* **25**, pág. 5-8.
- JOHNSON, S, y STEWART, J. (2001) "Revising and assessing explanatory models in a high school genetics class: a comparison of unsuccessful and successful performance", Ed. Wiley Pediodicts, Inc.
- KAGAN, D. M. (1990) "Ways of Evaluating Teacher Cognition: Inferences Concerning the Goldilocks Principle", *Review of Educational Research*, **60(3)**, pág. 419-469.
- KARTHAGEN, F.A.J. y KESSELS, J.P. (1999) "Linking yheory and practice: changing the pedagogy of teacher wducation" *Educational Researcher*, **28**, pág. 4-18
- KUHN, T. S. (1978) "La estructura de las revoluciones científicas", México, Fondo de cultura económica.

- LAKATOS, I. (1989) *La metodología de los programas de investigación científica*, Madrid, Alianza.
- LOCK, R. (1994) “Whats do 14 to 16-years-old know and think about biotechnology”, *Nutrition and food*, **3**, pág. 29-32.
- LOCK, R. (1996) “Biotechnology and genetic engineering: Student knowledge and attitudes: Implications for teaching controversial issues and the public understanding of science”, *Research in Science Education in Europe*. G. Welford, Osborne, J. y Scott, P. (edits.) London, The Falmer Press, pág. 229-242.
- LOUGHRAN, J., BERRY, A., y GUNSTONE, R. (2000) “Science in action: Developig an understanding of science teachers’ pedagogical content knowledge”. Paper presented at the *Annual meeting of the National Assoiayion for Research in Science Teaching*. New Orleans, LA., USA.
- LOUGHRAN, J., MILROY, P., GUNSTONE, R., BERRY, A. y MULHALL, P. (2001) “Documenting Science Teachers’ Pedagogical Content Knowledge Trough PaP-eRs”, *Research in Science Education*, **31**, pág. 289-307.
- LOUGHRAN, J., MULHALL, P. y BERRY, A. (2002) *Attempting to capture and portray science teachers’ pedagogical content knowledge: Chemical Reactions*. Melbourne: Faculty of Education, Monash University, Australia.
- LOUGHRAN, J., MULHALL, P. y BERRY, A. (2004) “In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice”, *Journal of Research in Science Teaching*, **41(4)**, pág. 370–391.
- LUJÁN, J.L. y TODT, O. (2000) “Perceptions, attitudes and ethical valuations: the ambivalente of the public image of biotecnology in Spain”, *Public Understand Sci.*, **9**, pág. 383-392
- MAGNUSSON, KRAJCIK y BORKO (1999) “Nature, Sources, and Development of PCK” In *J.Gess-Newsome and N.G. Lederman (Eds), Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Teaching*, Dordrecht: Kluwer, pág. 95-132.
- MATTHEWS, M. (1994) “The role of history and philosophy of science. Routledge”, *Science teaching*, NewYory/London
- MCCOMAS, W. (1998) “The role and character of de nature of science”, *In science education. In: The nature of science in science education. Rationales and strategies*. McComas, w.f. (Ed) Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers
- MORGAN, T. (1910) “Sex-limited inheritance in *Drosophila*”, *Science*, **32**, pág. 120-122.
- MORTIMER, E. (1993) *Conceptual evolution as epistemological profile’s change*, Trabajo presentado en el III Seminario Internacional sobre Concepciones Alternativas y Estrategias Educativas en Ciencias y Matemática, Cornell University, 1 al 4 de agosto.
- MORTIMER, E. F. (1995) “Conceptual Change or Conceptual Profile Change?” *Science and Education*, **4**, pág. 267-285.

- MULHALL, P., BERRY, A. y LOUGHRAN, J. (2003) "Frameworks for representing science teachers' pedagogical content knowledge", *Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, **4(2)** Artículo 2. Disponible en la siguiente URL http://www.ied.edu.hk/apfslt/v4_issue2/mulhall/index.htm#contents
- MUÑOZ-RUBIO, J. (coord.) (2004) "Alimentos transgénicos. Ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto", *Serie Aprender a aprender*, México: UNAM/Siglo XXI editores.
- MOSES, V. (2003) "Biotechnology education in Europe", *Journal of Comercial Biotechnology*, **9(3)**, pág. 219-230.
- MURRAY, F. B. (ed.) (1996) "The teacher educator's handbook. Building a Knowledge Base for the Preparation of Teachers", *American Association of Colleges for Teacher Education*, San Francisco: Jossey-Bass.
- MYSLIWIEC, T. H. (2003) "The genetic blues: Understanding genetic principles using a practical approach and a historical perspective." *The American Biology Teacher* **65(1)**, pág. 41-46.
- NUSSBAUM, J. (1985) "The Particulate Nature of Matter in the Gaseous Phase". In R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science*, Open University Press: Philadelphia, pág. 125-144. Traducido como La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa, en *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Madrid: Morata, 1989.
- NUSSBAUM, J. (1985) "The Particulate Nature of Matter in the Gaseous Phase", In R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science*, Open University Press: Philadelphia pág. 125-144, Traducido como La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa, en *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Madrid: Morata, 1989.
- NUSSBAUM, J. (1989) "Classroom conceptual change: philosophical perspectives", *International Journal of Science Education*, **11** (special issue), pág. 530-540.
- OMS (2005) *Biología moderna de los alimentos, salud y desarrollo humano: estudio basado en evidencias*. Departamento de inocuidad alimentaria. 23 de junio de 2005. Puede encontrarse en la URL:
http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/biotech_sp.pdf
- POPPER, K. R. (1987). *O realismo e o objetivo da ciência*. Lisboa, D. Quixote.
- POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P. y GERTZOG, W. (1982) "Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change", *Science Education*, **66**, pág. 211-227.
- POZO, J. I et al. (1992) "Las ideas de los alumnos sobre ciencia como teorías implícitas", *Infancia y Aprendizaje*, **62-63**, pág. 187-204.
- POZO, J. I. y GÓMEZ CRESPO, M. A. (1998) *Aprender y Enseñar Ciencia*. Morata, Madrid
- POZO, J. I., GÓMEZ CRESPO, M. A. y SANZ, A. (1999) "When Change Does Not mean Replacement: Different Representations for Different Contexts". En Schnotz W.,

- Vosniadou, S., Carretero M. (Eds.), *Advances in Learning and Instruction Series. New Perspectives on Conceptual Change*, Pergamon, Oxford, pág. 161-174.
- POZO, J. I. (2001) *Humanamente: el mundo, la conciencia y la carne*, Madrid: Morata.
- POZO, J.I. (2006, en prensa) “Ni cambio ni conceptual: la reconstrucción del conocimiento científico como un cambio representacional”, En *Cambio conceptual y representacional en la enseñanza de la ciencia*, Pozo, J. I y Flores, F. (editores), Antonio Machado Libros, Madrid: OREALC-UNESCO/Universidad de Alcalá.
- RAVILOLO, A. y GARRITZ, A. (2005) “Editorial. Decálogos e inventarios”, *Educación Química*, **16(x)**, pág. 106-110.
- REYES, F. y GARRITZ, A. (2005) “Conocimiento pedagógico del contenido en profesores mexicanos sobre el concepto de Reacción Química”. *Enseñanza de las Ciencias*. N° extra, VII Congreso, pag. 1-5
- RICHARDSON, V. (1997) (ed.). *Constructivist teacher education: Building a world of new understandings*. Washington DC, Falmer Press.
- RODRIGO, M. J.; RODRÍGUEZ, A. y MARRERO, J. (1993) “Las teorías implícitas. Una aproximación al conocimiento cotidiano”, Madrid, Visor.
- SALAZAR, S. F. (2005) “El Conocimiento Pedagógico del Contenido como categoría de estudio en la formación docente”. Revista electrónica: *Actualidades Investigativas en Educación*, **5(2)**, pág. 1-18
- SCHNOTZ, VOSNIADOU y CARRETERO (Eds.) (1999) *Advances in Learning and Instruction Series. New Perspectives on Conceptual Change*, Oxford: Pergamon. pág. 263-283.
- SCHWAB, J. J. (1978) *Science, curriculum and liberal education*, Chicago, University of Chicago Press.
- SHULMAN, L. S. (1986). “Those who understand: Knowledge growth in teaching”, *Educational Researcher*, **15(2)**, pág. 4-14.
- Shulman, L. S. (1986b). “Paradigms and research in the study of teaching: a contemporary perspective”. En Wittrock, M.C. (Ed.): *Handbook of Research on Teaching* (3rd. ed., pp. 3-37). New York: Macmillan. Traducido como “Paradigmas y programas de investigación en el estudio de la enseñanza: una perspectiva contemporánea”, en Wittrock, M. C. (ed.) *La investigación de la enseñanza. Enfoques, teorías y métodos*, Barcelona: Paidós Ibérica S. A., 1989.
- SHULMAN, L. S. (1987) “Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform”, *Harvard Educational Review* **57(1)**, pág. 1–22.
- SHULMAN, L. S. (1999). Forward. In J.Gess-Newsome and N.G. Lederman (Eds), *Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Teaching* (pp. ix-ii). Dordrecht: Kluwer.
- SHULMAN, L. S. (2006) “What Makes A Good Teacher?” Responde a esta pregunta en una conversación radiofónica con Julie Kredens en la estación WFPL's State of Affairs. Consultar la fecha April 18, 2006 en la URL [http://216.24.56.185:8080/WFPL%27s State of Affairs/](http://216.24.56.185:8080/WFPL%27s%20State%20of%20Affairs/)

- SHULMAN, L. S. y SYKES, G. (1986) *A national board for teaching? In search of a bold standard: A report for the task force on teaching as a profession*. New York: Carnegie Corporation.
- SHULMAN, L.S. y WITTROCK, M (Ed). (1987) *Paradigmas y programas de investigación en el estudio de la enseñanza: Una perspectiva contemporánea La investigación de la enseñanza*, Barcelona: Editorial Paidós.
- SILVEIRA, F. L. (1991) “A filosofia da ciência de Karl Popper e suas implicações no ensino da ciencia”, In: *Moreira, M. A. y Axt, R. (Orgs.) Tópicos em ensino de ciências*. Porto Alegre, SAGRA. p. 62-78.
- SIMONNEAUX, L. (2000a) “Cómo favorecer la argumentación sobre biotecnologías entre el alumnado”, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **25**, pág. 27-44.
- SMITH, J. (1996). *Biotechnology* (3ª edición). Cambridge: Cambridge University Press (ISBN: 0-521-44911-1)
- SOLOMON, J. (1984) “Prompts, cues and discrimination: the utilization of two separate knowledge systems”, *European Journal of Science Education*, **6(3)**, pág. 277-284.
- SPARKES, J. (1992) *Modelling*, In McCormick, R., Neweyand, C., Sparkes, J. (eds) *Technology for Technology Education* (Padstow: Addison-Wesley, Open University), pág. 75-87.
- STEELE, F. y AUBUSSON, P. (2004) “The challenge in teaching biotechnology”, *Research in Science Education*, **34**, pág. 365-387
- STURGIS, P. (2005) “Attitudes to biotechnology estimating the opinions of a better-informed public” *New Genetics and Society*, **24(1)**, pág. 31-56
- TALANQUER, V. (2004) “¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?”, *Educación Química*, **15(1)**, pag. 52-58.
- TALANQUER, V. (2005) “Recreating a Periodic Table: A Tool for Developing Pedagogical Content Knowledge”, *Chem. Educator*, **10**, pág. 95-99.
- TALANQUER, V., NOVODVORSKY, I., SLATER, T. F. y TOMANEK, D. A. (2003) “Stronger Role for Science Departments in the Preparation of Future Chemistry Teachers”, *Journal of Chemical Education*, **80(10)**, pág. 1168-1171.
- TAMAYO ALZATE, O. E. (2005) “Aportes de la naturaleza de la ciencia y del contenido pedagógico del conocimiento para el campo conceptual de la educación en ciencias”, *Enseñanza de las Ciencias*. N° extra, VII Congreso, pag. 1-5.
- THE ROYAL SOCIETY (2003). GM crops, modern agriculture and the environment. Puede consultarse en la URL:
<http://www.gmsciencedebate.org.uk/meetings/pdf/110203-report.pdf>
- TREAGUST, D. F.; CHITTLEBOROUGH, G. y MAMIALA, T. L. (2003) “The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations”, *International Journal of Science Education*, **25(11)**, pág. 1353-1368.

- VAN DRIEL, J. H., VERLOOP, N. y DE VOS, W. (1998) "Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge", *Journal of Research in Science Teaching* **35(6)**, pág. 673-695.
- VEAL, W. R. (1998) "The Evolution of Pedagogical Content Knowledge in Prospective Secondary Chemistry Teachers", *Proceedings of the Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching*, San Diego, CA., pág. 1-47. Versión electrónica consultada el 20 de febrero de 2004, en la siguiente URL <http://www.educ.sfu.ca/narstsite/conference/98conference/veal2.pdf>
- VEAL, W. y MAKINSTER, J. (1999) "Pedagogical Content Knowledge Taxonomies", *Electronic Journal of Science Education*, **3(4)**, pág. 1-18. Versión electrónica consultada el 20 de junio de 2006, en la siguiente URL <http://unr.edu/homepage/crowther/ejse/ejsev3n4.html>
- VENVILLE G. J. y TREAGUST, D. F. (2002) "Teaching about the gene in the genetic information age", *Australian Science Teachers' Journal*, **48(2)**, pág. 20-24.
- VICENTE, M. (2000) "Biotecnología: el arte de modificar a los seres vivos para beneficio del hombre", *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **25**, pág. 15-25.
- WANDERSEE, J. H., MINTZES, J. J., y NOVAK, J. D. (1994) *Research on Alternative Conceptions in Science*. In D. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Macmillan, New York, pág. 177-210.
- WATSON, J. y CRICK, F. (1953a) "Molecular structure of nucleic acids: structure for deoxyribose nucleic acid", *Nature*, **171**, pág. 737-738.
- WATSON, J. y CRICK, F. (1953b) "Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid", *Nature*, **171**, pág. 964-967.
- WEIL, J. H. (2005) "Are Genetically Modified Plants Useful and Safe?" *IUBMB Life*, **57(4/5)**, pág. 311-314.
- ZOHAR, A. y NEMET, F. (2002) "Fostering Students' Knowledge and Argumentation Skills Through Dilemmas in Human Genetics", *Journal of Research in Science Teaching*, **39(1)**, pág. 35-62.

ANEXOS

ANEXO 1. CoRe de la Profesora 1

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
A. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?	Los antecedentes históricos y el contexto en el que surge la biotecnología.	La composición química del ADN, así como las características del modelo tridimensional de la molécula, así como a partir de su estructura se puede deducir sus funciones. También las características del código genético.	Qué es la ingeniería genética y su papel como una herramienta actual de la biotecnología. Aspectos básicos acerca de los métodos que se emplean más frecuentemente en la ingeniería genética.	Algunos campos de aplicación concretos y de importancia para la humanidad como en medicina, las industrias farmacéutica y alimenticia, la conservación de la biodiversidad, entre otros.	Que la manipulación genética trae consigo consecuencias diversas, por lo que dicha manipulación deberá llevarse a cabo regulada por principios éticos.

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
B. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?	Para que comprendan que al igual que otras actividades humanas, la biotecnología es resultado de la evolución cultural de la humanidad.	Comprender la estructura del ADN es la base para comprender las aplicaciones del conocimiento de esta molécula en la actualidad.	Porque las aplicaciones de la ingeniería genética han venido a formar parte de la información a la cual puede acceder fácilmente cualquier ciudadano, por lo que las personas deben saber que significan estos términos. Considero que en el bachillerato, el alumno debe ir un poco más allá de la pura comprensión del concepto de ingeniería genética, pues en cierta manera la información con respecto a la tecnología del ADN recombinante tiene aplicaciones directas en diferentes campos del conocimiento e incluso en la vida cotidiana (a través de películas, programas informativos, etc).	Es importante que el alumno no sólo tenga nociones acerca de lo que es la biotecnología y de las técnicas básicas empleadas en ingeniería genética, sino que sepa el potencial de aplicación que éstas tienen, y sobre todo la utilidad e impacto de las mismas para la humanidad. El conocer los campos de aplicación principales del conocimiento biológico, le ayudará a comprender de mejor manera los cambios vertiginosos que se están dando en la agricultura, medicina, así como el impacto ambiental que pueda generarse por el uso de organismos transgénicos, por citar un ejemplo.	Debido a que es necesario que existan principios éticos como parte de la formación de cualquier ciudadano, sobre todo en aspectos sobre genética.

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
C. ¿Qué más sabes sobre esta idea? (Lo que tú no vas a enseñar por ahora a los estudiantes)	Debido a que se trata de aspectos introductorios, no creo que existan aspectos que no deban enseñarse	Considero que no es conveniente revisar aspectos moleculares con mucho detalle.	Como otros campos de aplicación de la biología, este es un campo muy amplio, y que hace uso de mucha información especializada, por lo que creo que en el bachillerato nos corresponde abarcar únicamente los aspectos fundamentales de los procedimientos básicos usados en el campo de la tecnología del ADN.	Los campos de aplicación de la biotecnología son muchos, y todos tienen un impacto importante en diferentes ámbitos del desarrollo humano, pero creo que en el bachillerato deben revisarse los que tienen, que ver directamente con la realidad de los alumnos.	
D. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea?	No creo que haya muchos problemas para la enseñanza de aspectos históricos, ya que se ha demostrado que el incluirlos en el currículo facilita el aprendizaje.	Me parece que una limitante puede ser la carencia de los conceptos básicos de química que el estudiante necesita poseer para comprender las características de la molécula del ADN, así como del flujo de la información genética en las células.	Considero que la comprensión de estos conceptos requiere un conocimiento mínimo por parte de los estudiantes acerca de aspectos básicos de genética. La principal es la carencia de conceptos científicos de genética en los alumnos, lo que obstaculiza el aprendizaje de nuevos conceptos. Algunos de los conocimientos básicos que los alumnos deben poseer son: cromosoma, gen, plásmido, enzimas, estructura y función del ADN, replicación, transcripción y traducción del ADN.	Los alumnos ignoran los campos de aplicación de la biotecnología, además poseen información poco precisa y muchos prejuicios acerca de las aplicaciones de la ingeniería genética, lo que en cierta manera puede dificultar la enseñanza de estos aspectos. Además es frecuente que el alumno tenga carencias en cuanto a los conceptos básicos de genética, lo que dificulta la comprensión de aspectos de aplicación.	Debido a que se trata de aspectos que tienen que ver con la formación en el ámbito de las actitudes y valores, es necesario considerar que su enseñanza seguramente no deberá ser la misma que en el caso de los aspectos conceptuales.

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
E. ¿Qué conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de esta idea?	Es posible que los alumnos no tengan nociones acerca de la naturaleza cambiante de la ciencia, por lo que será necesario enfatizar que la biotecnología es producto de la evolución humana.	Existen diversos errores conceptuales en los alumnos que tienen que ver con la confusión de conceptos como gen, alelo, cromosoma, genoma, lo cual considero que puede ser una limitante para el aprendizaje.	Los alumnos frecuentemente poseen ideas equivocadas y prejuicios acerca de aspectos relacionados con la ingeniería genética, por lo que es importante propiciar una situación donde se pongan de manifiesto tales ideas para que el alumno se percate de ellas. Una vez que los estudiantes se han percatado de sus errores y deficiencias, se puede hacer énfasis en la comprensión de las técnicas básicas del ADNr y después llevar a cabo ejercicios de aplicación de este conocimiento.	No tengo conocimientos precisos acerca de lo que piensan los alumnos acerca de esta idea, pero es probable que no tengan nociones claras acerca de los campos de aplicación de la biotecnología.	Como sabemos, los alumnos poseen sus propias ideas acerca de los contenidos escolares. Es muy probable que el alumno tenga sus propias creencias acerca de las implicaciones y consecuencias de la ingeniería genética, por lo que considero necesario que el profesor debe generar las condiciones en el aula para que se expliciten tales ideas.
F. ¿Qué otros factores influyen en la enseñanza de esta idea?	La actitud del alumno respecto al aprendizaje: motivación, interés, deseo de aprender, etc., los conocimientos previos que posee acerca del tema. También es importante considerar la información disponible para el alumno.	La actitud del alumno respecto al aprendizaje: motivación, interés, deseo de aprender, etc., los conocimientos previos que posee acerca del tema. También es importante considerar la información disponible para el alumno.	La actitud del alumno respecto al aprendizaje: motivación, interés, deseo de aprender, etc., los conocimientos previos que posee acerca del tema. En esta temática es particularmente importante el conocimiento previo que el alumno posee sobre el tema.	La actitud del alumno respecto al aprendizaje: motivación, interés, deseo de aprender, etc.; la información que pueda llegarle al alumno a través de los medios de comunicación, la cual muchas veces no es del todo confiable.	Debido a que se trata de aspectos que tienen que ver con creencias, valores, etc., es muy probable que el entorno cotidiano de cada alumno influya en sus conocimientos y creencias.

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
G. ¿Qué procedimiento empleas para que los alumnos se comprometan con la idea?	Pueden llevarse a cabo estrategias que involucren la participación activa de los alumnos, como por ejemplo la discusión en grupos cooperativos. También realizar actividades como la elaboración de líneas de tiempo para que se percaten de los cambios y contribuciones para la conformación de este campo del conocimiento.	Pueden llevarse a cabo estrategias que involucren la participación activa de los alumnos, como por ejemplo la elaboración de modelos, la lectura de artículos de difusión accesibles para ellos y su discusión en grupos cooperativos. También creo que algunas actividades prácticas pueden servir para motivar a los estudiantes.	Como se mencionó anteriormente, hacer conscientes a los alumnos de sus errores y plantear situaciones en donde reflexionen acerca de la importancia de la comprensión de tales conocimientos, por ejemplo, se pueden plantear situaciones problematizadoras. También puede mejorarse la comprensión del tema si se recurre a la resolución de ejercicios de repaso y problemas. Aparte de la explicación en clase, debe involucrarse activamente a los alumnos a través del planteamiento de algún problema en el que tengan que aplicar el concepto	Se les puede pedir a los alumnos que realicen una investigación documental, en la que consulten diferentes fuentes. Los resultados de las investigaciones serán expuestos y discutidos por el grupo. En estos espacios es recomendable propiciar la reflexión. Puede reforzarse el aprendizaje a través del planteamiento de problemas que involucren la aplicación de los conocimientos aprendidos. Finalmente, la realización de alguna investigación experimental, como el cultivo de tejidos vegetales a lo largo del semestre, probablemente sería motivante para los alumnos.	Me parece que puede ser útil propiciar la discusión en equipo y/o grupal en la que se plantee alguna situación hipotética que de pie a que los alumnos externen sus opiniones y puntos de vista, contando siempre con la guía del profesor.

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
H. Para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre la idea central ¿qué maneras específicas utilizas?	Puede averiguarse lo que los alumnos saben a través de exposiciones y participaciones individuales después de haber discutido en equipos. También se les puede pedir un resumen en el que destaque los aspectos más importantes de esta idea.	Los mapas conceptuales me han resultado muy útiles, entre otros procedimientos.	A través del manejo de los conceptos en un organizador gráfico como mapa conceptual, mapa mental o red semántica; también durante la resolución de algún ejercicio o en el examen. A través de la realización de los ejercicios de aplicación donde el alumno tiene que recuperar la información aprendida para realizar el ejercicio, también a través de la elaboración de mapas mentales, conceptuales o redes semánticas.	Puede utilizarse el producto de la investigación (reporte escrito), o bien puede pedírseles que elaboren un ensayo acerca de este tema. También puede aplicarse algún instrumento como la lista de cotejo durante las exposiciones. Las representaciones gráficas pueden ser útiles.	Se puede emplear la observación directa, vaciando los datos en una rúbrica.

ANEXO 2. CoRe de la Profesora 2

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
A. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?	Son muchas cosas: el avance del conocimiento sobre el empirismo; las bases microbiológicas y orígenes de procesos y productos que le son cotidianos.	La relación al nivel más básico y fundamental entre todas las especies vivas del planeta.	Es la base para entender lo que actualmente se conoce como Biotecnología Moderna: la idea de “modificar” organismos vivos	La importancia de la Tecnología Biológica como alternativa a la Tecnología Química. El uso de recursos y energías renovables. El potencial de la Biotecnología en el desarrollo.	Que tengan una idea concreta de cuales son los límites a la manipulación genética: ¿quién? y ¿cómo? se pueden establecer.
B. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?	La referencia y desarrollo histórico ayuda a una mejor visión del impacto actual y potencial de la microbiología industrial	Es la base para entender el funcionamiento celular. Pero en realidad su importancia rebasa con mucho la idea del curso da una referencia al ser humano sobre el resto de las especies vivas.	Todos los procesos actuales de naturaleza son potencialmente sujetos a mejoras por esta vía.	Se trata de estudiantes que deben contar con esta alternativa en sus diferentes áreas de actividad, particularmente los que se ubiquen en la industria	Me parece que es clave en la sociedad actual, más en profesionistas y fundamental en aquellos en los cuales puede recaer la decisión o la información sobre su desarrollo, usos y/o aplicaciones.
C. ¿Qué más sabes sobre esta idea? (Lo que tú no vas a enseñar por ahora a los estudiantes)	Es difícil contestar pues no se trata de una idea (¿la idea de enseñar esto?). Todo lo que se lo puedo enseñar, pues se trata de aspectos históricos con contenido científico a su nivel (SXVIII)	Se trata disciplinas (Biología Molecular y Genética), de las cuales solo se abarcan las bases generales y las técnicas de manipulación.	Actualmente el avance de estas herramientas va mucho mas allá del movimiento de genes	Las aplicaciones son muy amplias siendo imposible revisarlas todas. El énfasis en algunos casos es a título de ejemplo.	Implicaciones de esto pueden darse en la clonación humana o terapéutica. No es tema de un curso de biotecnología..
D. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea?	Quizás el que los estudiantes puedan ubicarse en el estado del conocimiento que prevalecía en esos tiempos.	Al igual que la anterior, se requiere de bases de bioquímica, genética, fisiología, biología celular.	El hecho nuevamente de que dentro de la Biotecnología, esta es solo una de las disciplinas de impacto y requiere de bases muy sólidas en bioquímica y Fisiología celular.	La posibilidad de caer en una mera descripción de procesos biotecnológicos perdiendo de vista los fundamentos en que se basan y su horizontaneidad. No se trata de crear expertos en vino, cerveza, insulina o vacunas.	La postura tanto del docente como de los alumnos, ya que es una área en la que la objetividad se pierde con mucha facilidad.

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
E. ¿Qué conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de esta idea?	El placer por los alimentos y bebidas fermentadas por un lado y el interés por los grandes momentos (y seres humanos) en la historia de la ciencia	En buena medida las ideas asociadas al origen de las especies y la teoría de la evolución	El temor existente en la sociedad a la manipulación genética. Las dudas sobre el derecho de modificar seres vivos.	Justamente el anterior: la facilidad con las que en este tipo de materias se pierde la formación ante la abundante información.	El hecho probablemente de que puede haber posturas heterogéneas entre ellos, pudiendo haber desde quienes no tengan postura alguna hasta aquellos que se opongan determinadamente
F. ¿Qué otros factores influyen en la enseñanza de esta idea?	Los históricos. Poder ubicarse en el momento histórico a nivel geopolítico.	El impacto de estas metodologías en la medicina y la bioética.	Los factores económicos y ambientales.	Su actualidad. El permanente desarrollo de nuevos productos en casi todos los sectores industriales.	El hecho de que las metodologías se aplican a todo tipo de células: desde bacterias hasta humanos, pasando por plantas y animales. Cada caso es diferente.
G. ¿Qué procedimiento empleas para que los alumnos se comprometan con la idea?	Generalmente una discusión en la que a partir de una narración de algo mas o menos conocido, de pronto se convierten en actores del evento.	En buena medida el poder que representa este conocimiento y su manejo apropiado, tanto como los riesgos de un uso inadecuado.	Lecturas, discusión de casos y análisis de las alternativas tecnológicas de las que dispone la sociedad.	Es difícil, pero nuevamente, el alumno debe ser capaz de adentrarse en los aspectos básicos que están involucrados en el diseño de un proceso específico.	Tratar de crear conciencia sobre el impacto de la tecnología en su entorno.
H. Para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre la idea central ¿qué maneras específicas utilizas?	Generalmente preguntas específicas que pueden llegar a ser solicitud de posturas sobre la idea, o análisis desde otro ángulo que sea permitido (eg. el ético)	Discusión de casos específicos de impacto de este conocimiento en la actualidad: tanto reales y potenciales, así como hipotéticos.	Esta ligado con la respuesta anterior y los planteamientos que sobre estas hacen los estudiantes.	Una manera de hacerlo es abordar un nuevo proceso: el tipo de necesidades, de información y de investigación requerida para hacerlo.	Nuevamente es necesario que el alumno se involucre en ejercicios donde a través de las opciones y metodologías seleccionadas, se pueda apreciar la forma de valorar y considerar la opción transgénica.

ANEXO 3. CoRe de la Profesora 3

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
A. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?	<p>Que la biotecnología no es algo reciente y que prácticamente desde que el hombre domestica animales y selecciona plantas existe.</p> <p>Incorporar ideas sobre la existencia de microorganismos como responsables de grandes transformaciones en las sustancias.</p>	<p>Que el ADN es una estructura que nos va a permitir según el orden de los componentes de este determinar la especie animal o vegetal.</p>	<p>Se percaten que la alteración del ADN en cualquier especie animal o vegetal origina el cambio de propiedades de este, desde formación de nuevas sustancias hasta especies nuevas, lo que conlleva a mejorar los alimentos, formación de nuevos medicamentos menos dañinos hasta contribuir a mejorar el medio ambiente.</p>	<p>Que gracias a la biotecnología sin darnos cuenta hemos recibido grandes beneficios como: obtención de la penicilina cultivo de tejidos, obtención de biomasa, metabolitos secundarios, hasta diseñar estrategias racionales para el tratamiento y prevención de enfermedades.</p>	<p>El análisis de pro y contra sobre manipulaciones genéticas en animales y vegetales y el establecimiento de leyes a nivel mundial sobre estos controles.</p>
B. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?	<p>Porque lo van considerando como algo natural y sin miedo a lo desconocido.</p> <p>Porque se le da sustento teórico a gran cantidad de conocimientos empíricos que los alumnos tienen como: las fermentaciones.</p>	<p>Para entender que la modificación en el orden de los componentes del ADN originará consecuencias en sus propiedades originales.</p>	<p>Porque a su alrededor están presente una gran cantidad de procesos biotecnológicos, y no se concibe un estudiante de nivel bachillerato sin conocimiento ni opinión de este gran tema que seguirá creciendo.</p>	<p>Para conformar esa cultura básica que tanto pretende el Colegio y que nuestro alumno ya como un profesionalista en cualquier campo del saber integre en sus decisiones siempre considerando a la ciencia como parte fundamental de nuestro crecimiento como humanidad.</p>	<p>Porque el alumno debe conformar una opinión personal de este polémico tema pero con bases científicas.</p>
C. ¿Qué más sabes sobre esta idea? (Lo que tú no vas a enseñar por ahora a los estudiantes)	<p>Algunos mecanismos generales de bioconversión como producción de hormonas esteroides.</p>	<p>Procesos generales sobre las técnicas de ADN recombinante.</p>	<p>Procesos generales sobre las técnicas de ADN recombinante.</p>	<p>Conozco muy poco sobre biología molecular de animales superiores para la manipulación genética y no me atrevería abordar este tema con los alumnos.</p>	<p>Mi opinión al respecto</p>

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
D. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea?	No considero que existan ya que son ideas de orden general y por mi experiencia los alumnos si reconocen la existencia de bacterias.	El conocimiento de la estructura de las proteínas y sus propiedades.	La resistencia que el alumno presenta sobre no alterar el orden natural.	El no reconocer los alumnos que han utilizado en muchas ocasiones medicamentos y han comido productos biotecnológicos.	El no haber comprendido en el transcurso del semestre desde la conformación química de un aminoácido hasta la importancia de la secuencia de los componentes que forman el ADN así como los beneficios y los riesgos que conlleva las modificaciones de esta proteína.
E. ¿Qué conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de esta idea?	Conocimientos empíricos acerca de que todo lo que se consume es "muy natural"	El comprender que tan grande y a la vez tan pequeña son las proteínas y sus componentes.	Las continuas comunicaciones fantasiosas sobre la alteración del orden natural.	Los conocimientos erróneos sobre el tema acerca de la manipulación genética.	(Igual que arriba)
F. ¿Qué otros factores influyen en la enseñanza de esta idea?	Mitos que se tienen sobre alterar el orden de la naturaleza.	La unión de los aminoácidos y su estructura química.	Las creencias religiosas	Ausentismo, incumplimiento en tareas y poca participación y sobre todo esos anuncios en televisión acerca del nombre de unos productos que le llaman genoma para curar casi todo sin consultar a un médico.	(Igual que a la izquierda)
G. ¿Qué procedimiento empleas para que los alumnos se comprometan con la idea?	Primero una pregunta que genera que les genere interés en el tema y un problema a resolver como ¿Por qué dicen que hay bacterias buenas y malas?	Primero la comprensión de las unidades que conforman Las proteínas, el enlace peptídico y algunas secuencias que conforma el ADN, esto se realizaría mediante cartones que representen las formulas de los aminoácidos.	Retomar los conocimientos adquiridos sobre modificaciones genéticas que se han realizado primero en forma empírica sin daño a la humanidad y ahora con un sustento teórico debido al conocimiento de la estructura del ADN	Elaborar una lista de productos tanto alimenticios como medicamentos de uso común e investigar su origen describiendo si para su elaboración se utilizó algún proceso biotecnológico, realizar una mesa redonda donde el centro de la discusión sea si o no a los productos biotecnológicos.	Leer acerca de los avances últimos de la biotecnología, las leyes que se han establecido a nivel mundial y de nuestro país al respecto, discusión en equipo y establecer conclusiones.

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
H. Para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre la idea central ¿qué maneras específicas utilizas?	Exposiciones gráficas sobre sus investigaciones y conclusiones grupales.	Una representación en tercera dimensión de una parte de del ADN con una exposición oral que relacionara las funciones del ADN y el código genético.	Investigación por Internet sobre algunas modificaciones genéticas sobre proteínas recombinantes y sus beneficios.	Revisión de sus investigaciones y aportaciones teóricas con fundamento en la mesa redonda.	(igual que a la izquierda)

ANEXO 4. CoRe de la Profesora 4

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
<p>A. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?</p>	<p>La biotecnología ha acompañado al hombre en su desarrollo histórico y ha aportado respuestas o soluciones a problemas a lo que nos hemos enfrentado como sociedad. Por lo que es importante que los alumnos interioricen la importancia que los desarrollos biotecnológicos han tenido en todo este tiempo. Sobre todo en el último siglo.</p> <p>Es importante correlacionar la historia de la biotecnología con los desarrollos científicos que han sido piedra angular para el avance en el área, por ejemplo, el desarrollo de la microscopía, de la bioquímica, el descubrimiento del ADN, desarrollo de electrodos esterilizables, las computadoras para hacer procesos automatizados, la reacción en cadena de la polimerasa, las técnicas de ADN recombinante, etc.</p>	<p>Todos los seres vivos compartimos la misma manera de almacenar la información genética, y no sólo eso, sino que también compartimos la misma manera de transferir esa información para la síntesis de moléculas funcionales: ARN y proteínas.</p> <p>Proteínas que pueden ser catalizadores de alguna reacción biosintética para la obtención de alguna sustancia de interés.</p> <p>Esto nos lleva a pensar que todas las células, no importa si son bacterias, mohos, levaduras, vegetales o animales, pueden ser pequeñas “fábricas” de compuestos a nivel industrial. Lo anterior debido a que tienen la información almacenada en el ADN.</p>	<p>Una vez entendido el tema anterior, ahora hay que tocar el punto de que los genes que codifican para alguna proteína importante (pensando en una enzima de aplicación industrial) o un conjunto de genes que codifican para las enzimas que participan en una ruta metabólica con la cual se obtiene algún compuesto de interés, pueden ser transferidos de la célula original (donadora) a otra (receptora). Lo interesante es que ambas células no tienen que estar relacionadas filogenéticamente, de tal forma que se puede transferir información de bacterias a plantas, de humanos a levaduras, de peces a plantas, etc.</p> <p>También habría que aclarar que se utilizan herramientas bioquímicas (enzimas) para poder hacerlo.</p>	<p>Ya se mencionó en el primer tema que existen productos biotecnológicos “históricos”, como el pan, vino, cerveza, etc., pero hay que enfatizar la gran gama de productos que consumimos actualmente que se producen gracias a la acción de microorganismos sobre un sustrato determinado (productos lácteos, cárnicos y vegetales). Productos que no necesariamente son sólo alimentos, también medicamentos de uso común y que han sido muy importantes en la mejora de calidad de vida (antibióticos, vacunas, agentes moduladores de la respuesta inmune, entre otros).</p> <p>Adicionalmente estamos hablando también de materias primas para la industria alimentaria: edulcorantes como el aspartamo y otros azúcares de especialidad, ácidos orgánicos, aminoácidos, vitaminas, colorantes y saborizantes “naturales”, etc.</p> <p>Además, hay que continuar con el asunto de los organismos transgénicos, donde habría que recalcar que se producen con un fin específico con miras en su aplicación industrial.</p>	<p>La idea principal es que se den cuenta de que la “nueva” biotecnología se hace de manera responsable y con un fin determinado, pero que de nosotros depende que se exija a los científicos y compañías productoras que se de información al consumidor y al público en general.</p> <p>También hay que situar al alumno en un papel crítico y que se de cuenta de los riesgos que esta área implica.</p> <p>También aquí se podría hablar del tema de las patentes y legislación.</p>

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
B. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?	Porque van a darse cuenta de que la biotecnología es parte de sus vidas, no es una ciencia alejada de las necesidades de la sociedad.	La base del funcionamiento celular está codificada en el ADN y si nos interesa producir sustancias utilizando células, debemos saber que ahí es donde está la clave. Adicionalmente, es indispensable para el desarrollo del siguiente tema.	La biotecnología “moderna” o la nueva biotecnología tiene que ver con la aplicación de la ingeniería genética para la optimización de los procesos de producción de compuestos de interés. Por ejemplo, lograr tener mejores rendimientos y productividades, además del poder cambiar las capacidades biosintéticas de los organismos.	Porque la biotecnología, como dice su nombre, es la aplicación de organismos vivos en procesos industriales para la obtención de insumos que son importantes para nuestra vida diaria. Para mí, sería muy importante que se abra todo el abanico de productos que se obtienen con esta tecnología y no centrar el tema solamente en los alimentos o productos transgénicos.	No hay que caer en una posición de que todo se vale en la ciencia y que no importan las repercusiones que pueda tener la aplicación de esta área de la biotecnología. Es importante hacer conciencia de que toda actividad implica un riesgo, pero que hay que evaluar cuál es ese riesgo para tomar una decisión.
C. ¿Qué más sabes sobre esta idea? (Lo que tú no vas a enseñar por ahora a los estudiantes)	Hay infinidad de ejemplos sobre el desarrollo de esta área que sería, quizá, muy aburrido para ellos escuchar. La historia del desarrollo de vacunas, como la de la poliomielitis, que está sumamente vinculada con la política de EEUUA en tiempos de la guerra. Algo similar ocurre con la política atrás del desarrollo de antibióticos como la penicilina.	Por ejemplo, dentro de lo que es el flujo de información (ADN→ARN→proteína), existen dos flechas más, una que va de ADN al mismo ADN (replicación) y otra que regresa de ARN a ADN (presente en algunos virus, catalizada por la transcriptasa reversa). Que en las mitocondrias y en los cloroplastos también hay ADN, pero con un código un poco diferente. Además, existe toda una batería enzimática que cataliza cada paso, pero no vendría al caso revisarlo con detalle. Quizá sí habría que decir que no sucede espontáneamente, sino que debe de contarse con proteínas y ARN especial (ribosomas) que ayudan a que sucedan los eventos.	Se podría profundizar en los fundamentos y puntos críticos de cada una de las metodologías que se aplican en esta área: conjugación, transformación, transfección, biolística, electroporación, utilización de enzimas de restricción y construcción de nuevos eventos de transformación, por ejemplo. Pero estos temas son aptos para un curso a nivel licenciatura y posgrado, por lo que no tendría caso profundizar tanto.	Se conocen con sumo detalle los procesos completos de obtención de varios alimentos, fármacos, etc. Pero considero que el objetivo es presentar un panorama general, sin detallar demasiado. Aunque se podría describir alguno, sólo para ejemplificar.	Existen protocolos de evaluación de riesgos. También muchos casos que ilustran lo necesario que es legislar sobre esta nueva área de la ciencia, quizá no vale la pena abundar tanto en esto, pero a lo mejor sí mencionarlo.

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
D. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea?	Que a algunos alumnos no les gusta la historia. Entonces hablarles de los egipcios, romanos, y peor aún, de las guerras mundiales, puede resultar aburrido para ellos.	Ahora ya entramos de lleno en los fundamentos de la bioquímica celular. Al tocar este tema puede haber dificultad en que los alumnos comprendan que el ADN por sí solo no es suficiente para que se lleve a cabo una función en la célula. Es importante (y complejo) el que el “código” se descifre de tal manera que repercuta en una función determinada.	Que es difícil que los alumnos se imaginen cómo es eso de cortar y pegar fragmentos de ADN para luego introducirlos en otra célula. Sin embargo, existen varios diagramas en los libros de consulta que pueden ser de mucha utilidad para que no se dependa de la “imaginación” de los alumnos, sino que <u>vean</u> cómo funciona la estrategia, de manera esquemática y sencilla.	Quizá el hablar de procesos industriales resulte algo difícil de asimilar por los alumnos, no se si tengan la idea clara de qué es un proceso.	Que quizá esta parte del curso no resulte tan atractiva como las otras, por lo que puede haber falta de interés por parte de los estudiantes.
E. ¿Qué conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de esta idea?	Que la manera de llegarles con esta información puede ser a través de elementos que les sean familiares, por ejemplo, quizá en vez de hacer el desarrollo cronológico, hacerlo hablando sobre los productos con los que contamos actualmente, que están relacionados con la biotecnología.	Que ahora ya todos conocen y han utilizado una computadora, donde hay programas que almacenan la información y que ejecutan alguna función. Quizá se podría utilizar el funcionamiento de una computadora como ejemplo.	Actualmente se han roto muchos paradigmas, ya no es difícil pensar en que estas técnicas se puedan llevar a cabo (“cortar y pegar” genes). Me ha tocado dar pláticas para público en general (incluyendo niños y adolescentes) sobre transgénicos y no ha habido problema en que entiendan la estrategia. Mucho ha ayudado el manejar esquemas sencillos.	Ellos tienen muy claro que si existe algo en el mercado, es porque se fabrica en algún lado, quizá no sepan TODO lo que eso implica (como dije anteriormente). El hecho es que son productos que existen, que se venden en tiendas y que, por lo tanto, son productos industriales.	A nadie nos gusta que pasen sobre nuestros derechos, aunque no tengamos bien claro cuáles son éstos. Así que siento que sí estarían sensibilizados a que es importante la vigilancia y evaluación de los nuevos productos que se pudieran obtener, ya que el consumidor final somos nosotros y tendríamos el derecho de estar informados.

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
F. ¿Qué otros factores influyen en la enseñanza de esta idea?	Uno que quisiera enfatizar es el que relacionen su vida con lo que la biotecnología nos ofrece. A través de ella tenemos alimentos que cubren nuestras demandas (bajos en calorías, con nutrimentos extra como las vitaminas, etc.), y no sólo alimentos, sino también medicamentos (insulina humana recombinante, antibióticos, etc.).	Los alumnos deben tener claro el concepto de estructura celular y funciones que se llevan a cabo. Por ejemplo, que en eucariotes el ADN está en el núcleo celular y que la síntesis de proteínas se lleva a cabo en el retículo endoplásmico. Que las proteínas pueden ser excretadas o pueden ejercer su actividad intracelularmente, etc.	Es importante que se haga hincapié en que la utilización de esta tecnología tiene un fin determinado, que se verá reflejado en la aplicación industrial. No se debería hacer manipulación genética sólo porque sí. Esto está también relacionado con el último tema.	Este es un tema de los más ricos, pues se van a dar cuenta de que están rodeados de biotecnología, por lo que habría que echar mano de lo que tenemos a nuestro alcance para ilustrarlo.	Esta parte es bastante compleja, pues no se limita a conocimientos científicos y técnicos, sino que aborda temas que tocan otras áreas, donde se podría prestar a la interpretación personal. El profesor debe tener muy clara la idea, para no influir de manera negativa al alumno, no se trata de tomar una posición en pro o en contra, se debería buscar una respuesta crítica de parte del alumno.

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
G. ¿Qué procedimiento empleas para que los alumnos se comprometan con la idea?	Les llevaría algunos ejemplos (que vean algunos de los productos que se han desarrollado gracias a esta tecnología), desde los que tienen sus orígenes en la antigüedad y que les llaman la atención, como el yogurt, vino, cerveza. Luego hablaría de ingredientes de alimentos que consumen con frecuencia (edulcorantes, ácidos orgánicos, vitaminas, frituras que tienen ingredientes transgénicos) y comentaría sobre medicamentos como vacunas, antibióticos y sobre las pruebas para detectar el SIDA (anticuerpos monoclonales), etc.	Se deben explicar los siguientes conceptos: - dogma central de la biología molecular. - ADN, estructura y código genético. - ARN, estructura y funciones: ARN mensajero, de transferencia, ribosomal. - Proceso de síntesis de proteínas. Hay que aclarar que el proceso de transferencia de información es muy similar para cualquier tipo de ser vivo. Se podría hacer un mapa conceptual junto con ellos para este tema. Para este tema, se les podría pasar un video de cómo suceden los eventos. Ha resultado bastante ilustrativo, incluso para los alumnos de licenciatura. Adicionalmente, la comparación con el funcionamiento de una computadora, podría ser útil.	La utilización de un esquema simple que represente a lo que nos referimos con “cortar y pegar” genes, lo que es un vector de clonación (un vehículo que llevará la información nueva), etc. Hay varios libros de texto que tienen figuras muy ilustrativas. También mencionar ejemplos reales de lo que se ha escalado a nivel industrial, por ejemplo la producción de insulina humana y quimosina (renina) recombinante, la producción de plantas transgénicas. Lo que además serviría de puente de unión con el siguiente tema.	Se me ocurre hacer el análisis de un día en la vida de cada uno. Pedirles que anoten qué hacen, qué comen; si están enfermos, qué medicamentos toman, dirigir un poco el ejercicio para que aparezcan productos que les podría llamar la atención saber cómo se obtienen: yogurt, queso, cerveza, antibióticos, etc. De ahí sacar cuántos y cuáles productos biotecnológicos utilizan, completar la lista con los ya mencionados (materias primas no transgénicas y transgénicas, fármacos, alimentos quizá más raros como el yakult o la salsa de soya). Una vez teniendo el panorama lo más completo posible, se podrían seleccionar algunos productos para explicar con un poco de detalle el proceso de elaboración. Se podrían hilar las ideas con un proceso como el del queso, donde se podría utilizar quimosina recombinante; o la producción de insulina con la utilización de bacterias recombinantes. Una opción muy buena sería llevarlos a visitar una fábrica, por ejemplo, en la Cervecería Modelo hay facilidad para solicitar una visita.	Aquí la discusión es lo más importante, el que el alumno sea capaz de externar su opinión, fundamentada en los conocimientos que ya adquirió, con respecto a este tema tan polémico. El profesor debería dirigir la discusión para evitar la polarización y que se tomen bandos sin tener la opinión fundamentada en hechos reales y científicos. Se podrían tratar algunos ejemplos de productos que todavía están en desarrollo o en fase experimental, una vez expuesto el tema, abrir a la discusión por parte de los alumnos. Si fuera un grupo grande, se podría organizar en equipos.

	I. Panorama histórico de la biotecnología. El nacimiento de la microbiología y su transformación en la industria	II. Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	III. Ingeniería genética. Del ADN a las proteínas recombinantes.	IV. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados	V. Ética y consecuencias. ¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?
H. Para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre la idea central ¿qué maneras específicas utilizas?	Quizá hacer una especie de juego donde se pusiera una “línea del tiempo” y se fueran pegando letreros o dibujos donde estuvieran los desarrollos científicos y biotecnológicos, específicamente, de manera cronológica. Lo haría por equipos, para que tenga más interés por la competencia entre ellos. A los alumnos de la licenciatura les pido que lean el periódico y revistas de difusión y que recorten y comenten cualquier nota relacionada al tema. Así, se dan cuenta de que este tema es polémico, actual y que se relaciona con nuestra vida diaria.	Se podría hacer que completaran un mapa conceptual al que le faltaran algunos conceptos o palabras de relación “claves”.	También se podría elaborar y/o completar un mapa conceptual. Haría énfasis en que los términos deben ser aplicados adecuadamente, pues es el vocabulario básico del tema.	Existe mucha información disponible sobre procesos de obtención de alimentos, quizá se podría hacer que participaran exponiendo algún proceso. A estas alturas del curso se podría también hacer algún examen donde se busque que se pongan en práctica los conceptos ya aprendidos. No es que esté peleada con los exámenes, pero en los temas anteriores mi propuesta sería evaluar de alguna manera alternativa.	A través de lo externado durante la discusión, se podría hacer la evaluación. Por eso sería importante que ésta fuera de manera organizada.

ANEXO 5. Análisis de las frases clasificables dentro de alguna zona del perfil conceptual de la profesora 1

PROFESORA 1			
PERCEPTIVA/INTUITIVA	CONTEXTUAL	EMPÍRICA	RACIONALISTA
<p>III E. Los alumnos frecuentemente poseen ideas equivocadas y prejuicios acerca de aspectos relacionados con la ingeniería genética, por lo que es importante propiciar una situación donde se pongan de manifiesto tales ideas para que el alumno se percate de ellas. Una vez que los estudiantes se han percatado de sus errores y deficiencias, se puede hacer énfasis en la comprensión de las técnicas básicas del ADN y después llevar a cabo ejercicios de aplicación de este conocimiento.</p> <p>IV C. Los campos de aplicación de la biotecnología son muchos, y todos tienen un impacto importante en diferentes ámbitos del desarrollo humano.</p> <p>IV D. Los alumnos ignoran los campos de aplicación de la biotecnología, además poseen información poco precisa y muchos prejuicios acerca de las aplicaciones de la ingeniería genética, lo que en cierta manera puede dificultar la enseñanza de estos aspectos. Además es frecuente que el alumno tenga carencias en cuanto a los conceptos básicos de genética, lo que dificulta la comprensión de aspectos de aplicación.</p> <p>IV E. No tengo conocimientos precisos acerca de lo que piensan los alumnos acerca de esta idea, pero es probable que no tengan nociones claras acerca de los campos de aplicación de la biotecnología.</p> <p>IV F. La actitud del alumno respecto al aprendizaje: motivación, interés, deseo de aprender, etc.; la información que pueda llegarle al alumno a través de los medios de comunicación, la cual muchas veces no es del todo confiable</p>	<p>IA. Los antecedentes históricos y el contexto en el que surge la biotecnología.</p> <p>IB. Para que comprendan que al igual que otras actividades humanas, la biotecnología es resultado de la evolución cultural de la humanidad.</p> <p>IE. Es posible que los alumnos no tengan nociones acerca de la naturaleza cambiante de la ciencia, por lo que será necesario enfatizar que la biotecnología es producto de la evolución humana.</p> <p>IIIC. Creo que en el bachillerato nos corresponde abarcar únicamente los aspectos fundamentales de los procedimientos básicos usados en el campo de la tecnología del ADN.</p> <p>IVA. Algunos campos de aplicación concretos y de importancia para la humanidad como en medicina, las industrias farmacéutica y alimenticia, la conservación de la biodiversidad, entre otros.</p>	<p>II G. Pueden llevarse a cabo estrategias que involucren la participación activa de los alumnos, como por ejemplo la elaboración de modelos, la lectura de artículos de difusión accesibles para ellos y su discusión en grupos cooperativos. También creo que algunas actividades prácticas pueden servir para motivar a los estudiantes.</p> <p>IIIA. Qué es la ingeniería genética y su papel como una herramienta actual de la biotecnología. Aspectos básicos acerca de los métodos que se emplean más frecuentemente en la ingeniería genética.</p> <p>IIIC'. Como otros campos de aplicación de la biología, este es un campo muy amplio, y que hace uso de mucha información especializada</p> <p>IIIG. Como se mencionó anteriormente, hacer conscientes a los alumnos de sus errores y plantear situaciones en donde reflexionen acerca de la importancia de la comprensión de tales conocimientos, por ejemplo, se pueden plantear situaciones problematizadoras. También puede mejorarse la comprensión del tema si se recurre a la resolución de ejercicios de repaso y problemas. Aparte de la explicación en clase, debe involucrarse activamente a los alumnos a través del planteamiento de algún problema en el que tengan que aplicar el concepto</p> <p>IVA'. Algunos campos de aplicación concretos y de importancia para la humanidad como en medicina, las industrias farmacéutica y alimenticia, la conservación de la biodiversidad, entre otros.</p>	<p>IIA. La composición química del ADN, así como las características del modelo tridimensional de la molécula, así como a partir de su estructura se puede deducir sus funciones. También las características del código genético.</p> <p>II B. Comprender la estructura del ADN es la base para comprender las aplicaciones del conocimiento de esta molécula en la actualidad.</p> <p>IID. Me parece que una limitante puede ser la carencia de los conceptos básicos de química que el estudiante necesita poseer para comprender las características de la molécula del ADN, así como del flujo de la información genética en las células.</p> <p>II G. Existen diversos errores conceptuales en los alumnos que tienen que ver con la confusión de conceptos como gen, alelo, cromosoma, genoma, lo cual considero que puede ser una limitante para el aprendizaje.</p> <p>II B. Porque las aplicaciones de la ingeniería genética han venido a formar parte de la información a la cual puede acceder fácilmente cualquier ciudadano, por lo que las personas deben saber qué significan estos términos. Considero que en el bachillerato, el alumno debe ir un poco más allá de la pura comprensión del concepto de la ingeniería genética, pues en cierta manera la información con respecto a la tecnología del ADN recombinante tiene aplicaciones directas en diferentes campos del conocimiento e incluso en la vida cotidiana (a través de películas, programas informativos, etc.)</p>

PROFESORA 1			
PERCEPTIVA/INTUITIVA	CONTEXTUAL	EMPÍRICA	RACIONALISTA
	<p>IVB. Es importante que el alumno no sólo tenga nociones acerca de lo que es la biotecnología y de las técnicas básicas empleadas en ingeniería genética, sino que sepa el potencial de aplicación que éstas tienen, y sobre todo la utilidad e impacto de las mismas para la humanidad. El conocer los campos de aplicación principales del conocimiento biológico, le ayudará a comprender de mejor manera los cambios vertiginosos que se están dando en la agricultura, medicina, así como el impacto ambiental que pueda generarse por el uso de organismos transgénicos, por citar un ejemplo.</p> <p>IVC'. Los campos de aplicación de la biotecnología son muchos pero creo que en el bachillerato deben revisarse los que tienen que ver directamente con la realidad de los alumnos.</p> <p>VF. Debido a que se trata de aspectos que tienen que ver con creencias, valores, etc., es muy probable que el entorno cotidiano de cada alumno influya en sus conocimientos y creencias.</p>	<p>IVB'. Es importante que el alumno no sólo tenga nociones acerca de lo que es la biotecnología y de las técnicas básicas empleadas en ingeniería genética, sino que sepa el potencial de aplicación que éstas tienen, y sobre todo la utilidad e impacto de las mismas para la humanidad. El conocer los campos de aplicación principales del conocimiento biológico, le ayudará a comprender de mejor manera los cambios vertiginosos que se están dando en la agricultura, medicina, así como el impacto ambiental que pueda generarse por el uso de organismos transgénicos, por citar un ejemplo.</p> <p>IVG. Se les puede pedir a los alumnos que realicen una investigación documental, en la que consulten diferentes fuentes. Los resultados de las investigaciones serán expuestos y discutidos por el grupo. En estos espacios es recomendable propiciar la reflexión. Puede reforzarse el aprendizaje a través del planteamiento de problemas que involucren la aplicación de los conocimientos aprendidos.</p> <p>Finalmente, la realización de alguna investigación experimental, como el cultivo de tejidos vegetales a lo largo del semestre, probablemente sería motivante para los alumnos.</p>	<p>IID. Considero que la comprensión de estos conceptos requiere un conocimiento mínimo por parte de los estudiantes acerca de aspectos básicos de genética. La principal es la carencia de conceptos científicos de genética en los alumnos, lo que obstaculiza el aprendizaje de nuevos conceptos. Algunos de los conocimientos básicos que los alumnos deben poseer son: cromosoma, gen, plásmido, enzimas, estructura y función del ADN, replicación, transcripción y traducción del ADN.</p> <p>VA. Que la manipulación genética trae consigo consecuencias diversas, por lo que dicha manipulación deberá llevarse a cabo regulada por principios éticos.</p> <p>VD. Debido a que se trata de aspectos que tienen que ver con la formación en el ámbito de las actitudes y valores, es necesario considerar que su enseñanza seguramente no deberá ser la misma que en el caso de los aspectos conceptuales.</p>
$5/28*100= 17.86\%$	$8/28*100=28.57\%$	$7/28*100=25.0\%$	<u>$8/28*100=28.57\%$</u>

ANEXO 6. Análisis de las frases clasificables dentro de alguna zona del perfil conceptual de la profesora 2.

PROFESORA 2			
PERCEPTIVA/INTUITIVA	CONTEXTUAL	EMPÍRICA	RACIONALISTA
<p>III E. El temor existente en la sociedad a la manipulación genética. Las dudas sobre el derecho de modificar seres vivos.</p> <p>VD. La postura tanto del docente como de los alumnos, ya que es una área en la que la objetividad se pierde con mucha facilidad.</p>	<p>IB. La referencia y desarrollo histórico ayuda a una mejor visión del impacto actual y potencial de la microbiología industrial.</p> <p>ID. A quizás el que los estudiantes puedan ubicarse en el estado del conocimiento que prevalecía en esos tiempos.</p> <p>IE. El placer por los alimentos y bebidas fermentadas por un lado y el interés por los grandes momentos (y seres humanos) en la historia de la ciencia.</p> <p>IF. Los históricos. Poder ubicarse en el momento histórico a nivel geopolítico.</p> <p>IIA. La relación al nivel más básico y fundamental entre todas las especies vivas del planeta.</p> <p>II E. En buena medida las ideas asociadas al origen de las especies y la teoría de la evolución.</p> <p>IIH. Discusión de casos específicos de impacto de este conocimiento en la actualidad: tanto reales y potenciales, así como hipotéticos.</p> <p>IIIG. Lecturas, discusión de casos y análisis de las alternativas tecnológicas de las que dispone la sociedad.</p> <p>IVF. Su actualidad. El permanente desarrollo de nuevos productos en casi todos los sectores industriales.</p> <p>VB. Me parece que es clave en la sociedad actual, más en profesionistas y fundamental en aquellos en los cuales puede recaer la decisión o la información sobre su desarrollo, usos y/o aplicaciones.</p>	<p>IC. Se trata disciplinas (Biología Molecular y Genética), de las cuales solo se abarcan las bases generales y las técnicas de manipulación.</p> <p>II F. El impacto de estas metodologías en la medicina y la bioética.</p> <p>IVA. La importancia de la Tecnología Biológica como alternativa a la Tecnología Química. El uso de recursos y energías renovables. El potencial de la Biotecnología en el desarrollo.</p> <p>IVF'. El permanente desarrollo de nuevos productos en casi todos los sectores industriales.</p> <p>IVG. Es difícil, pero nuevamente, el alumno debe ser capaz de adentrarse en los aspectos básicos que están involucrados en el diseño de un proceso específico.</p> <p>IVH. Una manera de hacerlo es abordar un nuevo proceso: el tipo de necesidades, de información y de investigación requerida para hacerlo.</p> <p>VF. El hecho de que las metodologías se aplican a todo tipo de células: desde bacterias hasta humanos, pasando por plantas y animales. Cada caso es diferente.</p>	<p>IA. Son muchas cosas: el avance del conocimiento sobre el empirismo; las bases microbiológicas y orígenes de procesos y productos que le son cotidianos.</p> <p>II B. Es la base para entender el funcionamiento celular. Pero en realidad su importancia rebasa con mucho la idea del curso, da una referencia al ser humano sobre el resto de las especies vivas.</p> <p>II D. Al igual que la anterior, se requiere de bases de bioquímica, genética, fisiología, biología celular.</p> <p>II G. En buena medida el poder que representa este conocimiento y su manejo apropiado, tanto como los riesgos de un uso inadecuado.</p> <p>II D. El hecho nuevamente de que dentro de la Biotecnología, ésta es sólo una de las disciplinas de impacto y requiere de bases muy sólidas en bioquímica y Fisiología celular.</p> <p>IV D. La posibilidad de caer en una mera descripción de procesos biotecnológicos perdiendo de vista los fundamentos en que se basan y su horizontaneidad. No se trata de crear expertos en vino, cerveza, insulina o vacunas.</p> <p>VA. Que tengan una idea concreta de cuales son los límites a la manipulación genética: ¿quién? Y ¿Cómo? Se pueden establecer.</p>

PROFESORA 2			
PERCEPTIVA/INTUITIVA	CONTEXTUAL	EMPÍRICA	RACIONALISTA
	VG. Tratar de crear conciencia sobre el impacto de la tecnología en su entorno..		
$2/27*100=7.41\%$	<u>$11/27*100=40.74\%$</u>	$7/27*100=25.93\%$	$7/27*100=25.93\%$

ANEXO 7. Análisis de las frases clasificables dentro de alguna zona del perfil conceptual de la profesora 3.

PROFESORA 3			
PERCEPTIVA/INTUITIVA	CONTEXTUAL	EMPÍRICA	RACIONALISTA
<p>IA. Que la biotecnología no es algo reciente y que prácticamente desde que el hombre domestica animales y selecciona plantas existe.</p> <p>IB. Porque lo van considerando como algo natural y sin miedo a lo desconocido. Porque se le da sustento teórico a gran cantidad de conocimientos empíricos que los alumnos tienen, como las fermentaciones.</p> <p>IE. Conocimientos empíricos acerca de que todo lo que se consume es “muy natural”</p> <p>IF. Mitos que se tienen sobre alterar el orden de la naturaleza.</p> <p>IE. El comprender qué tan grandes y a la vez tan pequeñas son las proteínas y sus componentes.</p> <p>IID. La resistencia que el alumno presenta para no alterar el orden natural.</p> <p>IIIE. Las continuas comunicaciones fantasiosas sobre la alteración del orden natural.</p> <p>IIIF. Las creencias religiosas.</p> <p>IVA. Que gracias a la biotecnología sin darnos cuenta hemos recibido grandes beneficios como: obtención de la penicilina cultivo de tejidos, obtención de biomasa, metabolitos secundarios, hasta diseñar estrategias racionales para el tratamiento y prevención de enfermedades.</p> <p>IVD. El no reconocer los alumnos que han utilizado en muchas ocasiones medicamentos y han comido productos biotecnológicos.</p> <p>IVE. Los conocimientos erróneos sobre el tema acerca de la manipulación genética.</p>	<p>IIIB. Porque a su alrededor está presente una gran cantidad de procesos biotecnológicos, y no se concibe un estudiante de nivel bachillerato sin conocimiento ni opinión de este gran tema que seguirá creciendo.</p> <p>IVB. Para conformar esa cultura básica que tanto pretende el Colegio y que nuestro alumno, ya como un profesionista en cualquier campo del saber, integre en sus decisiones siempre considerando a la ciencia como parte fundamental de nuestro crecimiento como humanidad.</p> <p>VA. El análisis de pro y contra sobre manipulaciones genéticas en animales y vegetales y el establecimiento de leyes a nivel mundial sobre estos controles.</p>	<p>IC. Algunos mecanismos generales de bioconversión, como producción de hormonas esteroides.</p> <p>IC. Procesos generales sobre las técnicas de ADN recombinante.</p> <p>IVG. Elaborar una lista de productos tanto alimenticios como medicamentos de uso común e investigar su origen describiendo si para su elaboración se utilizó algún proceso biotecnológico, realizar una mesa redonda donde el centro de la discusión sea si o no a los productos biotecnológicos.</p>	<p>IIA. Que el ADN es una estructura que nos va a permitir según el orden de los componentes de este determinar la especie animal o vegetal.</p> <p>IIIB. Para entender que la modificación en el orden de los componentes del ADN originará consecuencias en sus propiedades originales.</p> <p>IIIG. Primero la comprensión de las unidades que conforman las proteínas, el enlace peptídico y algunas secuencias que conforma el ADN, esto se realizaría mediante cartones que representen las fórmulas de los aminoácidos.</p> <p>IIH. Una representación en tercera dimensión de una parte de del ADN con una exposición oral que relacionara las funciones del ADN y el código genético.</p> <p>IIIA. Se percaten que la alteración del ADN en cualquier especie animal o vegetal origina el cambio de propiedades de este, desde formación de nuevas sustancias hasta especies nuevas, lo que conlleva a mejorar los alimentos, formación de nuevos medicamentos menos dañinos hasta contribuir a mejorar el medio ambiente.</p> <p>IIIG. Retomar los conocimientos adquiridos sobre modificaciones genéticas que se han realizado primero en forma empírica sin daño a la humanidad y ahora con un sustento teórico debido al conocimiento de la estructura del ADN</p> <p>VB. Porque el alumno debe conformar una opinión personal de este polémico tema pero con bases científicas.</p>

PROFESORA 3			
PERCEPTIVA/INTUITIVA	CONTEXTUAL	EMPÍRICA	RACIONALISTA
<p>IVF. Ausentismo, incumplimiento en tareas y poca participación y sobre todo esos anuncios en televisión acerca del nombre de unos productos que le llaman genoma para curar casi todo sin consultar a un médico.</p>			<p>VD. El no haber comprendido en el transcurso del semestre desde la conformación química de un aminoácido hasta la importancia de la secuencia de los componentes que forman el ADN así como los beneficios y los riesgos que conlleva las modificaciones de esta proteína.</p> <p>VG. Leer acerca de los avances últimos de la biotecnología, las leyes que se han establecido a nivel mundial y de nuestro país al respecto, discusión en equipo y establecer conclusiones.</p>
<p><u>$12/27*100=44.44\%$</u></p>	<p>$3/27*100=11.11\%$</p>	<p>$3/27*100=11.11\%$</p>	<p>$9/27*100=33.33\%$</p>

ANEXO 8. Análisis de las frases clasificables dentro de alguna zona del perfil conceptual de la profesora 4.

PROFESORA 4			
PERCEPTIVA/INTUITIVA	CONTEXTUAL	EMPÍRICA	RACIONALISTA
<p>IC. Hay infinidad de ejemplos sobre el desarrollo de esta área que sería, quizá, muy aburrido para ellos escuchar. La historia del desarrollo de vacunas, como la de la poliomielitis, que está sumamente vinculada con la política de EEUU en tiempos de la guerra. Algo similar ocurre con la política atrás del desarrollo de antibióticos como la penicilina.</p> <p>ID. Que a algunos alumnos no les gusta la historia. Entonces hablarles de los egipcios, romanos, y peor aún, de las guerras mundiales, puede resultar aburrido para ellos.</p> <p>VD. Que quizá esta parte del curso no resulte tan atractiva como las otras, por lo que puede haber falta de interés por parte de los estudiantes.</p>	<p>IA. La biotecnología ha acompañado al hombre en su desarrollo histórico y ha aportado respuestas o soluciones a problemas a lo que nos hemos enfrentado como sociedad. Por lo que es importante que los alumnos interioricen la importancia que los desarrollos biotecnológicos han tenido en todo este tiempo. Sobre todo en el último siglo.</p> <p>IB. Porque van a darse cuenta de que la biotecnología es parte de sus vidas, no es una ciencia alejada de las necesidades de la sociedad.</p> <p>IE. Que la manera de llegarles con esta información puede ser a través de elementos que les sean familiares, por ejemplo, quizá en vez de hacer el desarrollo cronológico, hacerlo hablando sobre los productos con los que contamos actualmente, que están relacionados con la biotecnología.</p> <p>IF. Uno que quisiera enfatizar es el que relacionen su vida con lo que la biotecnología nos ofrece. A través de ella tenemos alimentos que cubren nuestras demandas (bajos en calorías, con nutrimentos extra como las vitaminas, etc), y no sólo alimentos, sino también medicamentos (insulina humana recombinante, antibióticos, etc).</p> <p>IG. Les llevaría algunos ejemplos (que <u>vean</u> algunos de los productos que se han desarrollado gracias a esta tecnología), desde los que tienen sus orígenes en la antigüedad y que les llaman la atención, como el yogurt, vino, cerveza.</p>	<p>IG'. Luego hablaría de ingredientes de alimentos que consumen con frecuencia (edulcorantes, ácidos orgánicos, vitaminas, frituras que tienen ingredientes transgénicos) y comentaría sobre medicamentos como vacunas, antibióticos y sobre las pruebas para detectar el SIDA (anticuerpos monoclonales), etc.</p> <p>IIIC. Se podría profundizar en los fundamentos y puntos críticos de cada una de las metodologías que se aplican en esta área: conjugación, transformación, transfección, biolística, electroporación, utilización de enzimas de restricción y construcción de nuevos eventos de transformación, por ejemplo. Pero estos temas son aptos para un curso a nivel licenciatura y posgrado, por lo que no tendría caso profundizar tanto.</p> <p>IIID. Que es difícil que los alumnos se imaginen cómo es eso de cortar y pegar fragmentos de ADN para luego introducirlos en otra célula. Sin embargo, existen varios diagramas en los libros de consulta que pueden ser de mucha utilidad para que no se dependa de la “imaginación” de los alumnos, sino que <u>vean</u> cómo funciona la estrategia, de manera esquemática y sencilla.</p> <p>IIIE. Actualmente se han roto muchos paradigmas, ya no es difícil pensar en que estas técnicas se puedan llevar a cabo (“cortar y pegar” genes). Me ha tocado dar pláticas para público en general (incluyendo niños y adolescentes) sobre transgénicos y no ha habido problema en que entiendan la estrategia. Mucho ha ayudado el manejar esquemas sencillos.</p>	<p>IA. Es importante correlacionar la historia de la biotecnología con los desarrollos científicos que han sido piedra angular para el avance en el área, por ejemplo, el desarrollo de la microscopía, de la bioquímica, el descubrimiento del ADN, desarrollo de electrodos esterilizables, las computadoras para hacer procesos automatizados, la reacción en cadena de la polimerasa, las técnicas de ADN recombinante, etc.</p> <p>IIA. Todos los seres vivos compartimos la misma manera de almacenar la información genética, y no sólo eso, sino que también compartimos la misma manera de transferir esa información para la síntesis de moléculas funcionales: ARN y proteínas. Proteínas que pueden ser catalizadores de alguna reacción biosintética para la obtención de alguna sustancia de interés. Esto nos lleva a pensar que todas las células, no importa si son bacterias, mohos, levaduras, vegetales o animales, pueden ser pequeñas “fábricas” de compuestos a nivel industrial. Lo anterior debido a que tienen la información almacenada en el ADN.</p> <p>IIIB. La base del funcionamiento celular está codificada en el ADN y si nos interesa producir sustancias utilizando células, debemos saber que ahí es donde está la clave. Adicionalmente, es indispensable para el desarrollo del siguiente tema.</p>

PROFESORA 4

PERCEPTIVA/INTUITIVA	CONTEXTUAL	EMPÍRICA	RACIONALISTA
	<p>IH. A los alumnos de la licenciatura les pido que lean el periódico y revistas de difusión y que recorten y comenten cualquier nota relacionada con el tema. Así, se dan cuenta de que este tema es polémico, actual y que se relaciona con nuestra vida diaria.</p> <p>IVE. Ellos tienen muy claro que si existe algo en el mercado, es porque se fabrica en algún lado, quizá no sepan TODO lo que eso implica (como dije anteriormente). El hecho es que son productos que existen, que se venden en tiendas y que, por lo tanto, son productos industriales.</p> <p>IVF. Este es un tema de los más ricos, pues se van a dar cuenta de que están rodeados de biotecnología, por lo que habría que echar mano de lo que tenemos a nuestro alcance para ilustrarlo.</p> <p>IVG. Se me ocurre hacer el análisis de un día en la vida de cada uno. Pedirles que anoten qué hacen, qué comen; si están enfermos, qué medicamentos toman, dirigir un poco el ejercicio para que aparezcan productos que les podría llamar la atención saber cómo se obtienen: yogurt, queso, cerveza, antibióticos, etc. De ahí sacar cuántos y cuáles productos biotecnológicos utilizan, completar la lista con los ya mencionados (materias primas no transgénicas y transgénicas, fármacos, alimentos quizá más raros como el yakult o la salsa de soya).</p>	<p>IIIG'. La utilización de un esquema simple que represente a lo que nos referimos con “cortar y pegar” genes, lo que es un vector de clonación (un vehículo que llevará la información nueva), etc. Hay varios libros de texto que tienen figuras muy ilustrativas. También mencionar ejemplos reales de lo que se ha escalado a nivel industrial, por ejemplo la producción de insulina humana y quimosina (renina) recombinante, la producción de plantas transgénicas. Lo que además serviría de puente de unión con el siguiente tema.</p> <p>IVB. Porque la biotecnología, como dice su nombre, es la aplicación de organismos vivos en procesos industriales para la obtención de insumos que son importantes para nuestra vida diaria. Para mí, sería muy importante que se abra todo el abanico de productos que se obtienen con esta tecnología y no centrar el tema solamente en los alimentos o productos transgénicos.</p> <p>IVC. Se conocen con sumo detalle los procesos completos de obtención de varios alimentos, fármacos, etc. Pero considero que el objetivo es presentar un panorama general, sin detallar demasiado. Aunque se podría describir alguno, sólo para ejemplificar</p> <p>IVD. Quizá el hablar de procesos industriales resulte algo difícil de asimilar por los alumnos, no se si tengan la idea clara de qué es un proceso.</p>	<p>IID. Ahora ya entramos de lleno en los fundamentos de la bioquímica celular. Al tocar este tema puede haber dificultad en que los alumnos comprendan que el ADN por sí solo no es suficiente para que se lleve a cabo una función en la célula. Es importante (y complejo) el que el “código” se descifre de tal manera que repercuta en una función determinada.</p> <p>IIIF. Los alumnos deben tener claro el concepto de estructura celular y funciones que se llevan a cabo. Por ejemplo, que en eucariotes el ADN está en el núcleo celular y que la síntesis de proteínas se lleva a cabo en el retículo endoplásmico. Que las proteínas pueden ser excretadas o pueden ejercer su actividad intracelularmente, etc.</p> <p>IIIG. Se deben explicar los siguientes conceptos: - dogma central de la biología molecular.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ADN, estructura y código genético. 2. ARN, estructura y funciones: ARN mensajero, de transferencia, ribosomal. 3. Proceso de síntesis de proteínas. <p>Hay que aclarar que el proceso de transferencia de información es muy similar para cualquier tipo de ser vivo. Se podría hacer un mapa conceptual junto con ellos para este tema. Para este tema, se les podría pasar un video de cómo suceden los eventos. Ha resultado bastante ilustrativo, incluso para los alumnos de licenciatura. Adicionalmente, la comparación con el funcionamiento de una computadora, podría ser útil.</p>

PROFESORA 4			
PERCEPTIVA/INTUITIVA	CONTEXTUAL	EMPÍRICA	RACIONALISTA
		<p>IVG. Una vez teniendo el panorama lo más completo posible, se podrían seleccionar algunos productos para explicar con un poco de detalle el proceso de elaboración. Se podrían hilar las ideas con un proceso como el del queso, donde se podría utilizar quimosina recombinante; o la producción de insulina con la utilización de bacterias recombinantes.</p> <p>Una opción muy buena sería llevarlos a visitar una fábrica, por ejemplo, en la Cervecería Modelo hay facilidad para solicitar una visita.</p> <p>IVH. Existe mucha información disponible sobre procesos de obtención de alimentos, quizá se podría hacer que participaran exponiendo algún proceso.</p> <p>A estas alturas del curso se podría también hacer algún examen donde se busque que se pongan en práctica los conceptos ya aprendidos.</p> <p>No es que esté peleada con los exámenes, pero en los temas anteriores mi propuesta sería evaluar de alguna manera alternativa.</p>	<p>IIIA. Una vez entendido el tema anterior, ahora hay que tocar el punto de que los genes que codifican para alguna proteína importante (pensando en una enzima de aplicación industrial) o un conjunto de genes que codifican para las enzimas que participan en una ruta metabólica con la cual se obtiene algún compuesto de interés, pueden ser transferidos de la célula original (donadora) a otra (receptora). Lo interesante es que ambas células no tienen que estar relacionadas filogenéticamente, de tal forma que se puede transferir información de bacterias a plantas, de humanos a levaduras, de peces a plantas, etc.</p> <p>También habría que aclarar que se utilizan herramientas bioquímicas (enzimas) para poder hacerlo.</p> <p>IIIB. La biotecnología “moderna” o la nueva biotecnología tiene que ver con la aplicación de la ingeniería genética para la optimización de los procesos de producción de compuestos de interés. Por ejemplo, lograr tener mejores rendimientos y productividades, además del poder cambiar las capacidades biosintéticas de los organismos.</p> <p>IIIG. La utilización de un esquema simple que represente a lo que nos referimos con “cortar y pegar” genes, lo que es un vector de clonación (un vehículo que llevará la información nueva), etc. Hay varios libros de texto que tienen figuras muy ilustrativas.</p>

PROFESORA 4			
PERCEPTIVA/INTUITIVA	CONTEXTUAL	EMPÍRICA	RACIONALISTA
			<p>III G. La utilización de un esquema simple que represente a lo que nos referimos con “cortar y pegar” genes, lo que es un vector de clonación (un vehículo que llevará la información nueva), etc. Hay varios libros de texto que tienen figuras muy ilustrativas.</p> <p>VA. La idea principal es que se den cuenta de que la “nueva” biotecnología se hace de manera responsable y con un fin determinado, pero que de nosotros depende que se exija a los científicos y compañías productoras que se de información al consumidor y al público en general.</p> <p>También hay que situar al alumno en un papel crítico y que se de cuenta de los riesgos que esta área implica. También aquí se podría hablar del tema de las patentes y legislación.</p> <p>VF. Esta parte es bastante compleja, pues no se limita a conocimientos científicos y técnicos, sino que aborda temas que tocan otras áreas, donde se podría prestar a la interpretación personal.</p> <p>El profesor debe tener muy clara la idea, para no influir de manera negativa al alumno, no se trata de tomar una posición en pro o en contra, se debería buscar una respuesta crítica de parte del alumno.</p> <p>VB. No hay que caer en una posición de que todo se vale en la ciencia y que no importan las repercusiones que pueda tener la aplicación de esta área de la biotecnología.</p> <p>Es importante hacer conciencia de que toda actividad implica un riesgo, pero que hay que evaluar cuál es ese riesgo para tomar una decisión.</p>

PROFESORA 4			
PERCEPTIVA/INTUITIVA	CONTEXTUAL	EMPÍRICA	RACIONALISTA
			VE. A nadie nos gusta que pasen sobre nuestros derechos, aunque no tengamos bien claro cuáles son éstos. Así que siento que sí estarían sensibilizados a que es importante la vigilancia y evaluación de los nuevos productos que se pudieran obtener, ya que el consumidor final somos nosotros y tendríamos el derecho de estar informados.
$3/35*100=8.57\%$	$9/35*100=25.71\%$	$10/35*100=28.57\%$	<u>$13/35*100=37.14\%$</u>

ANEXO 9. Glosario de abreviaturas

Abreviatura	Significado
A	Adenina
AERA	Asociación Americana de Investigación Educativa
Bt	Bacillus thuringiensis
C	Citosina
CC	Conocimiento curricular
CD	Conocimiento disciplinario
CoRe	Representación del contenido
CPC	Conocimiento pedagógico del contenido
CPG	Conocimiento pedagógico general
CPQ	Conocimiento pedagógico químico
CTS	Ciencia, tecnología y sociedad
DDC	Educación en ciencias
DNA	Ácido desoxiribonucleico
DNAc	Ácido desoxiribonucleico complementario
G	Guanina
NAE	Academia Nacional de Educación
NOS	Dominio de conocimiento de la naturaleza de la ciencia
OGM	Organismo genéticamente modificado
ONG	Organización no gubernamental
PaP-eRs	Repertorios de la experiencia pedagógica y profesional
PC	Perfil conceptual
PCR	Reacción en cadena de la polimerasa
RNA	Ácido ribonucleico
RNA _m	Ácido ribonucleico mensajero
RNA _r	Ácido ribonucleico ribosomal
RNA _t	Ácido ribonucleico de transferencia
RQ	Reacción química
T	Tiamina
U	Uracilo