



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“EL CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO DE LA  
BIOTECNOLOGÍA: REPERTORIOS DE EXPERIENCIA  
PROFESIONAL Y PEDAGÓGICA DE DOS PROFESORAS,  
UNA DEL NIVEL MEDIO SUPERIOR Y OTRA DEL  
SUPERIOR”**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN DOCENCIA PARA LA  
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR**

**P R E S E N T A :**

**PATRICIA VELÁZQUEZ GÓMEZ**

**TUTOR:  
DR. ANDONI GARRITZ RUIZ**



México, D.F

2008.



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, mi esposo y  
compañero de toda la vida, por  
su amor, por sus atenciones y  
por su comprensión de siempre*

*A Bruno, mi hijo, por ser mi  
principal motivación, porque  
con sus risas le da plenitud a  
mi vida*

*A Aurora y Vidal, mis  
padres, por su cariño, por las  
enseñanzas y recuerdos que  
me heredaron*

*A mis hermanas y hermanos,  
por su cariño, y sobre todo por  
estar cerca de mí, para  
apoyarme y aconsejarme*

*A Dr. Andoni, mi maestro,  
por su constante apoyo y  
atención, pero ante todo por su  
confianza*

## **CARTA DE UN ALUMNO A SU MAESTRO**

**Enséñame cómo aprender y no qué aprender; enséñame a pensar y no tan sólo qué debo pensar. Así desarrollaré mi inteligencia y no simplemente mi memoria.**

**No me regañes delante de mis compañeros. Me haces sentir humillado y temeroso de ser rechazado por ellos. Aceptaré mejor tus correcciones, si me las haces calmadamente y en privado.**

**Señálame mis cualidades y reconoce mis habilidades. La confianza que así desarrollo en mis capacidades me anima a esforzarme y me hace sentir valioso y adecuado.**

**No me insultes con palabras, ni con gestos despectivos. Me haces sentir menospreciado y sin ánimo para corregir mis faltas o debilidades. Ten en cuenta mi esfuerzo y mi progreso, no sólo el resultado final. A veces con poco esfuerzo logro mucho..., pero es más meritorio cuando pongo todo mi empeño, así logre poco.**

**No me examines procurando rajarme, ni te ufanes de haberlo logrado. Mis notas deben reflejar mi desempeño y no lo harán si las utilizas para desquitarte. Anota lo que hago bien y no sólo lo que está mal. Cuando subrayas mis éxitos y no mis fracasos, me siento motivado a seguir mejorando. Cuando me corrijas o me disciplines, hazlo sin maltratarme física o emocionalmente. Si atacas mi persona o mi personalidad, deterioras mi autoestima y no mejoras mi disciplina. Confía en mí y demuéstrame tu confianza.**

**Cuando me repites la misma cosa una y otra vez, me doy cuenta de tu desconfianza y esto me precipita a fracasar. Trátame con cariño, cortesía y respeto. En esta forma te admiraré y, por lo tanto, desarrollaré un profundo respeto por ti.**

**No me amenaces, pero si lo haces, cúmplelo. Si no cumples lo prometido, aprenderé que, haga lo que haga, siempre puedo salir eximido. No me ruegues**

**ni me imploras que me porte bien. Te obedeceré cuando me lo exijas con firmeza y sin hostilidad.**

**Procura hacer clases amenas e interesantes, en las que yo pueda participar. Me aburro cuando todo es rutina, sólo tú hablas y yo nada puedo aportar. Cuando te haga preguntas, no me digas "eso ya lo expliqué". A veces tus explicaciones no son claras o suficientes para mí: si pregunto es porque quiero entender y aprender.**

**No tengas preferencias. Cuando alabas a unos e ignoras a otros, deterioras nuestras relaciones y haces de mis compañeros mis enemigos. Cuando me criticas para corregirme, me defiendo y no acepto mis defectos. Sólo si acepto mis fallas, podré tratar de corregirlas. Ten en cuenta que aprendo más de quien aprecio que de quien me desprecia.**

**No aceptes mis excusas ni mis ruegos por el incumplimiento en mis tareas. Cuando debo asumir las consecuencias de mis faltas, aprendo a responsabilizarme por mis deberes.**

**Escucha lo que te digo con atención e interés. Si me ignoras o me callas cuando trato de expresarme, entiendo que mis ideas son tontas y que, por lo tanto, mi inteligencia es corta.**

**No me compares con mis compañeros, ni con mis hermanos en años anteriores. Recuerda que no soy ni puedo ser igual a nadie y que, aunque no tengo las mismas, también poseo grandes cualidades. Trata de conocerme y de apreciarme como persona. Conociendo mis habilidades particulares podrás ofrecerme oportunidades para triunfar. Al sentirme capaz e importante para ti, crecerá el concepto que me forme sobre mí.**

**Ayúdame a desarrollar mis cualidades y no simplemente mis capacidades. Ten en cuenta que... antes que un buen estudiante, debo ser un buen ser humano.**

**Belén Neira**

## AGRADECIMIENTOS

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

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química, 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 la Dra. Maricarmen y a la M.C. Refugio, por permitir ser, el sujeto de investigación de este trabajo, su apoyo y cooperación fue fundamental en la elaboración del mismo.

Al Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), así como al Programa de Maestría en Docencia para la Educación Media Superior (MADEMS) por su valiosa cooperación.

A los sinodales de este trabajo: M.C. Gisela Hernández Millán, Dr. Carlos Mauricio Castro Acuña, Dr. Adolfo Eduardo Obaya Valdivia, Dr. Plinio Sosa Fernández y al Dr. Eugenio Camarena Ocampo, quienes 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 .....	xi
CAPÍTULO 1. La enseñanza a través de la experiencia.....	1
Introducción .....	1
El conocimiento pedagógico del contenido (CPC) .....	3
La enseñanza más allá de las actividades rutinarias .....	5
Origen del conocimiento pedagógico del contenido .....	7
Comenio y su Didáctica Magna .....	14
El conocimiento pedagógico del contenido en la enseñanza de la química .....	16
Cómo documentar el CPC .....	22
CoRe: La representación del contenido .....	22
Ideas / conceptos centrales.....	23
Lo que se pretende que los estudiantes aprendan acerca de esta idea .....	23
¿Por qué es importante que los estudiantes la aprendan?.....	23
¿Qué más sabes acerca de esta idea? (lo que no tratarás con los estudiantes)..	24
Dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea. ....	24
Conocimientos acerca del pensamiento de los estudiantes que influyen en la enseñanza de esta idea .....	24
Otros factores que influyen en su enseñanza de esta idea. ....	24
Procedimientos de enseñanza (y razones particulares para su uso).....	25
Determinar las formas específicas de evaluar la comprensión o la confusión de la idea en los estudiantes. ....	25
PaP-eRs: Repertorios de la experiencia pedagógica y profesional .....	26
CAPÍTULO 2. Antecedentes .....	31
Introducción .....	31
El cambio conceptual como evolución conceptual .....	32
La noción de perfil conceptual .....	36
La biotecnología en la educación.....	42
Limitaciones en la enseñanza de la biotecnología.....	48

Recomendaciones para la enseñanza de la biotecnología .....	49
La biotecnología en el Plan de Estudios del CCH, su baja cobertura, los problemas existentes y las oportunidades perdidas .....	52
El conocimiento pedagógico de la biotecnología representado a través del perfil conceptual de Mortimer .....	56
Consideraciones finales .....	60
CAPÍTULO 3. Metodología .....	64
Introducción .....	64
¿Qué es la investigación etnográfica? .....	66
¿Qué es la etnografía? .....	68
Reflexiones metodológicas .....	70
Niveles de generalización .....	73
Descripción de la metodología seguida en esta investigación .....	74
CAPÍTULO 4. Resultados .....	77
Introducción .....	77
Repertorios de experiencia Profesional y Pedagógica (PaP-eRs) del nivel medio superior .....	79
PaP-eR 1. Nivel medio superior .....	79
PaP-eRs del nivel superior, vistos desde el pensamiento y reflexión de la profesora	99
PaP-eR 1. Nivel superior .....	100
CAPÍTULO 5. Análisis de los Resultados .....	121
Introducción .....	121
Análisis de los Papers de Refugio .....	124
Definición moderna de la biotecnología .....	125
Utilización de metodología computacional de última generación .....	125
Empleo de las estrategias generales del aprendizaje cooperativo .....	126
Situación del tema que está tratando en el programa de estudio .....	126
Utilización del planteamiento de preguntas como estrategia de enseñanza .....	127
Empleo de analogías como apoyo al aprendizaje .....	127
Situación de los aspectos educativos en contexto, según las propuestas CTS .....	128



Comparación con el estudio de Moreland, Jones y Cowie (2006) .....	130
Un ciclo de aprendizaje en la enseñanza de Refugio.....	130
1. Motivación.....	131
2. Exploración.....	131
3. Desarrollo Conceptual .....	132
4. Aplicación/Evaluación.....	132
Análisis del desempeño de Refugio conforme al perfil conceptual de Mortimer	135
Análisis de los Papers de Maricarmen .....	138
Definición moderna de la biotecnología.....	138
Presentación de diagramas para ayudar a sus explicaciones .....	139
Utilización de planteamiento de preguntas como estrategia de enseñanza .....	139
Explicaciones claras y detalladas del tema.....	139
Empleo de analogías como apoyo al aprendizaje.....	140
Situación del tema en el programa y recurrencia a conceptos que se han explicado en otras clases o asignaturas.....	140
Situación de los aspectos educativos en contexto, según las propuestas CTS.....	141
Comparación con el estudio de Moreland, Jones y Cowie (2006) .....	142
Recurrencia al antropomorfismo para explicar procesos ligados a las funciones o actividades de la célula.....	142
Lo que piensa Maricarmen .....	142
Antropomorfismo en la educación .....	145
La célula concepto clave para la vida.....	145
Más sobre el antropomorfismo .....	148
Análisis del desempeño de Maricarmen conforme al perfil conceptual de Mortimer .....	149
Análisis de los Papers del nivel medio superior vs el superior .....	151
“Clonación de ADN en un plásmido” .....	153
CAPÍTULO 6. Conclusiones .....	156
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	159
ANEXOS.....	173

ANEXO 1. PaPer 2, Nivel Medio Superior .....	174
ANEXO 2. PaPer 3, Nivel Medio Superior .....	198
ANEXO 3. PaPer 2, Nivel Superior .....	210
ANEXO 4. PaPer 3, Nivel Superior .....	225
ANEXO 5. PaPer 4, Nivel Superior .....	233

# INTRODUCCIÓN

En esta tesis hemos seguido una metodología mixta para obtener y caracterizar el “Conocimiento Pedagógico del Contenido” (CPC) de dos profesoras, una del nivel medio superior y otra del superior, con relación al tema de la biotecnología. Para lograrlo, hemos combinado dos métodos de investigación, el de los “Repertorios de la Experiencia Pedagógica y Profesional” (PaP-eRs) de Loughran et al (2004), -que nos ha sido útil para documentar el CPC de las profesoras y establecer las categorías que conforman su desempeño docente en el aula- 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 las profesoras, por medio de sus PC.

Los resultados indican que las dos profesoras presentan congruencia relativa entre los datos reportados en Velázquez (2007), en donde se analiza la “Representación del Contenido” (CoRe) de estas académicas desde 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— y los datos obtenidos en esta investigación sobre sus PaP-eRs.

De los resultados de este trabajo, también se obtuvieron las categorías que identifican el estilo de enseñanza de éstas docentes.

Esta tesis se forma de seis capítulos. El primero de ellos trata sobre el conocimiento pedagógico del contenido; así como de la forma de capturarlo y representarlo, 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). También 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 dos presenta los antecedentes de esta investigación; desde el cambio conceptual hasta el cambio de perfil conceptual propuesto por Mortimer. Así mismo se habla del papel de la biotecnología en la educación, como en el Plan de Estudios del CCH. Este capítulo cierra con el conocimiento pedagógico de la biotecnología representado a través del perfil conceptual de Mortimer, obtenido en Velázquez (2007)

La metodología que se usó para documentar los PaP-eRs, se basa en la investigación etnográfica, por ello el capítulo tres la explica, así como describe las acciones que se siguieron en esta investigación.

El capítulo cuatro contiene parte de los resultados obtenidos en este estudio, es decir presenta un PaP-eR (de los tres que se trabajaron) para el nivel medio superior y uno (de los cuatro) del nivel superior. Los demás PaP-eRs se encuentran en la parte de anexos.

El capítulo cinco corresponde al análisis de los resultados obtenidos en esta investigación. En éste se presentan las categorías que se determinaron como características de la forma de enseñanza de cada profesora, así como una comparación de la enseñanza de ambos niveles.

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

# CAPÍTULO 1. La enseñanza a través de la experiencia

## *Introducción*

En este estudio obtuvimos la base de conocimientos de una profesora del bachillerato y otra de la educación superior alrededor del tópico de la «biotecnología», en la enseñanza del bachillerato. En esta introducción daremos cuenta del concepto “conocimiento pedagógico del contenido”, que resulta ser la componente más importante de esa base de conocimientos (Shulman, 1987).

Después de haber realizado el trabajo de recopilar las Representaciones del Contenido (ReCos) con relación a la enseñanza del bachillerato del concepto de la biotecnología (Velázquez, 2007), y de haber categorizado a las cuatro profesoras de acuerdo con el modelo del perfil conceptual (MPC) de Mortimer (1995), tomamos la decisión de utilizar la segunda herramienta de Loughran, Mulhall y Berry (2004), los Repertorios de Experiencia Profesional y Pedagógica (PaP-eRs, por su acrónimo en inglés) para complementar el análisis del Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) de dos de las profesoras, las que aparentemente poseen los ReCos más parecidos de acuerdo con el análisis de Mortimer. Pensamos que de esa forma podríamos hacer el análisis completo que proponen Loughran et al., para comprender toda su metodología. Desafortunadamente una de las profesoras a quienes aplicamos los PaP-eRs sí daba clase en el bachillerato, pero la otra no, lo hace en la licenciatura. No obstante decidimos continuar con la investigación, pensando en que saldrían incongruencias entre la ReCo y el PaP-eR, como fue el caso de la profesora del nivel universitario. Adicionalmente, pudimos comparar el diferente (podríamos decir inconmensurable) tipo de PaP-eR de una y de otra profesora. La del nivel de bachillerato se quedó en las expresiones propias de la educación de contexto, con las experiencias de la vida diaria, mientras que la del nivel superior profundizó notablemente en el tema científico y tecnológico de la biotecnología, con una multitud de representaciones con esquemas y fórmulas complejas.

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 papel 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). Desde la década de los años setenta comenzaron a aparecer trabajos que daban cuenta de las concepciones con las que los estudiantes llegaban a la clase de ciencias y que en general se encontraban muy alejadas de las concepciones científicas (Tiberghien y Delacôte, 1978; Driver y Easley, 1978; Viennot, 1979; Novick y Nussbaum, 1978). Desde entonces, la influencia de esas ideas constructivistas se ha extendido al proceso mismo de formación del profesorado. No sólo han puesto en la mesa del debate el qué deben saber y saber hacer los profesores de ciencia (Furió, 1989; Gil, 1991; 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 (Duit, 2007; Wandersee, Mintzes y Novak, 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 cree 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).

Aunque existe el CPC de cada profesor en particular, por numerosas razones éste 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.
- Las observaciones pueden proporcionar solamente la penetración limitada en el CPC de un profesor, porque es en parte una construcción interna tácita (Baxter y Lederman, 1999). El CPC es una noción compleja, los profesores de ciencia no utilizan un lenguaje

que incluya (ni se asemeja necesariamente) a la construcción del CPC (Korthagen y Kessels, 1999).

- 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, Porro, Rembado y Trinidad, 2007).

Loughran, Mulhall y Berry (2004) presentan los resultados de un proyecto de investigación de cinco años, 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 seductora pero no es un aspecto fácilmente identificable de la práctica; pues, hay una carencia de contenidos concretos fácilmente disponibles del CPC en la literatura (De Jong, Veal y van Driel, 2002).

En su investigación Loughran y colaboradores ofrecen 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 de preparar las clases 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 hacerlo fue 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 es su acrónimo en inglés, por “Content Representation”) y repertorios de la experiencia pedagógica y profesional (PaP-eRs como su acrónimo en inglés, por “Pedagogical and Professional Experience Repertoires”).

### ***El conocimiento pedagógico del contenido (CPC)***

El CPC es una categoría de investigación que incluye el conocimiento necesario para enseñar de forma regular un tema específico, el cual incluye la forma más útil de representar el contenido a través de las más poderosas analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones. En una palabra, es la representación y formulación de un tema en particular, pero de una forma

comprensible para los demás, puesto que el profesor debe tener a mano un auténtico arsenal de formas alternativas de representación, algunas de las cuales se derivan de sus investigaciones, mientras que otras se originan en la sabiduría de la práctica. El CPC también incluye la comprensión de lo que hace que el aprendizaje de temas específicos sea fácil o difícil: las concepciones y preconcepciones que los estudiantes de diferentes edades y antecedentes traen consigo, así como la frecuencia con que esas ideas intuitivas son traídas a la clase por los alumnos. Por lo que, los profesores necesitan conocer las estrategias con más probabilidades de ser fructíferas en la reorganización de la comprensión de los alumnos, porque los alumnos no comparecen ante ellos como hojas en blanco (Shulman, 1986).

El CPC de un académico requiere mucho más que la entrega de contenido de la asignatura a los estudiantes, y no puede considerar al aprendizaje de éstos, como la simple absorción de conocimientos. El CPC es el conocimiento que los profesores desarrollan en el tiempo, y a través de la experiencia, sobre cómo enseñar un contenido específico en particular, así como el desarrollo de medios, con el fin de llevar a los estudiantes a la comprensión del tema. Sin embargo, el CPC no es una entidad única, no es el mismo para todos los profesores en un tema determinado; se trata de una experiencia particular de cada uno, que se ve influenciada por la idiosincrasia, la experiencia y el contexto mismo del docente. Puede ser similar para algunos profesores y diferente para otros, pero es, sin embargo, una piedra angular de los docentes y de los conocimientos profesionales especializados. Es lógico que, con el fin de reconocer y valorar el desarrollo de sus propios CPC, los profesores deban tener una amplia comprensión conceptual del tema en particular, que es el contenido a enseñar. Esta rica comprensión conceptual, combinada con la experiencia en el desarrollo, el uso y la adaptación de los procedimientos de enseñanza, así como las estrategias y los enfoques para su uso en determinadas clases, todo ello vinculado con el fin de crear una amalgama de conocimientos de los contenidos y la pedagogía que Shulman describe como CPC (1986, 1987).

Reconociendo el propio CPC es quizás más evidente que nuestra enseñanza se ubique sólo dentro del área de los conocimientos técnicos. No importa qué tan capaz pueda ser un maestro en la enseñanza de su especialidad, resulta que puede ser novato en la enseñanza de un tema con el que tiene poca familiaridad. A pesar de tener un conocimiento bien desarrollado de la enseñanza, sobre todo, conocimientos o procedimientos de tipo técnico (por ejemplo, diagramas de Venn, mapas conceptuales, de interpretación de debate, etc.) o ser un erudito en el conocimiento de los contenidos (por ejemplo, especialista de la física o la biología o la química, etc.), un maestro debe tener la habilidad de combinar esos conocimientos de los contenidos y la pedagogía de manera significativa por razones particulares que no son tan evidentes. Cuestiones relacionadas con los aspectos difíciles del tema, las concepciones alternativas de los estudiantes, las grandes ideas o conceptos importantes, los ganchos o disparadores del aprendizaje, y así sucesivamente, no son bien conocidos o comprendidos por el profesor sin experiencia.

Debido a que el desarrollo del enfoque de enseñanza que responde a un conocimiento profundo del contenido, es algo que se construye y desarrolla a lo largo del tiempo, es posible que el conocimiento de la pedagogía y el conocimiento del contenido por separado hagan difícil el reconocimiento del CPC. Pero, cuando la enseñanza la apartamos del ámbito de los conocimientos técnicos, la distinción puede comenzar a destacar más fácilmente al CPC, porque no puede ser simplemente «importado» de un tema a otro. Por lo tanto, ser capaces de ver lo que pasa en el actuar de los docentes, en la práctica, la forma que va más allá de los conocimientos,



de los procedimientos y del contenido de la enseñanza, es ver esa amalgama llamada CPC. Por ello es importante destacar y valorar la experiencia de los docentes.

Para que vaya quedando claro qué incorpora el CPC, las siguientes son cinco componentes del mismo, de acuerdo con Magnusson, Krajcik y Borko (1999):

- A. Visión y propósito de la enseñanza de la ciencia;
- B. Conocimiento y creencias sobre el currículo de ciencia;
- C. Conocimiento y creencias acerca del entendimiento estudiantil sobre tópicos específicos de ciencia;
- D. Conocimiento y creencias sobre evaluación en ciencia;
- E. Conocimiento y creencias sobre estrategias instruccionales para enseñar ciencia.

Como vemos, estos autores desagregan en cinco tópicos los elementos del CPC, desde los objetivos de la enseñanza, los conocimientos curriculares del profesor, los de los problemas estudiantiles para el aprendizaje, los de la evaluación, hasta los de las didácticas específicas para impartir el tema en cuestión.

## **La enseñanza más allá de las actividades rutinarias**

Uno de los principales cambios relacionados con el desarrollo de puntos de vista de la enseñanza, que parece importante en el tipo de cambio que tanto Hoban (2002) como Berry y Milroy (2002) proponen, está vinculado a un reconocimiento de que la enseñanza es mucho más que tener un «kit de buenas actividades». Aunque es importante tener algunas rutinas en la enseñanza, cuando ésta se convierte en “rutinaria” los elementos de la calidad de la enseñanza (por ejemplo, la participación, el goce y el desafío intelectual) pueden ser dramáticamente disminuidos. Por lo tanto, el desarrollo de las rutinas ayuda mientras no permitamos que la enseñanza se convierta en rutinaria.

No es difícil ver cómo hay una tendencia natural de los maestros, a incorporar una gama de procedimientos de enseñanza en su práctica (por ejemplo, mapas conceptuales, diagramas de Venn, dramatización, interpretación, discusión, etc.) con el fin de romper la rutina normal. Sin embargo, en la enseñanza, el uso de los procedimientos simplemente para romper la rutina normal, no es lo mismo que utilizar un procedimiento por una razón pedagógica. Esta cuestión va al corazón de lo que significa ser un experto pedagogo: un docente que opte por el uso particular de un procedimiento, en un momento determinado, por una razón particular, porque, a través de la experiencia, el maestro ha llegado a saber cómo enseñar de esa manera, y porque, esa manera mejora el aprendizaje de los estudiantes del concepto bajo estudio. Podríamos decir que tal docente posee y aplica un conocimiento pedagógico del contenido que lo lleva a tratar el tema de tal manera, con un propósito claro. Tal razonamiento pedagógico es importante, porque es fundamental para el pensamiento la creación de una ruta a través de complejas situaciones de enseñanza y aprendizaje. Se trata de una ventana a la reflexión y a la habilidad de la práctica que responda al contexto dado: Es decir, no existe la hipótesis de que la misma cosa funciona de la misma manera todo el tiempo, con todos los grupos, para diversos niveles de enseñanza y aplicada por diferentes profesores. La capacidad de adaptar, ajustar y formular las estrategias es

crucial para dar forma a la manera en que los maestros enseñan y respondan al aprendizaje de sus estudiantes.

Es evidente entonces, la enseñanza de la comprensión tan compleja, interrelacionada y problemática está en contradicción con el uso de una amplia gama de procedimientos de enseñanza para romper la rutina normal, aunque a veces aparentemente eficaz (a causa de la ruptura de la rutina predecible). El paso a la comprensión de la enseñanza como una práctica problemática, involucra mucho más que “sacando algo diferente de una bolsa de trucos de enseñanza”.

Los enfoques de aprendizaje profesional, que podrían alentar a los profesores a responder más fácilmente a las contradicciones inherentes entre las intenciones y las acciones en la enseñanza, no son necesariamente el apoyo, ya sea en la escuela o en un nivel sistémico que necesitan los docentes. Sino para aquellos que decidan cuestionar su propia práctica y la búsqueda de nuevas formas de enseñanza y de la construcción del aprendizaje, sin que necesariamente se les apoye, aliente o recompense por hacerlo. Por ejemplo, Amanda Berry y Philipp Milroy demuestran cómo puede ser difícil de abordar la enseñanza de la ciencia en los medios que se basan en las nociones de reconocer las concepciones alternativas de los estudiantes. Ellas establecen que para enseñar es necesario buscar una forma que facilite la comprensión de los conceptos de la ciencia y fomentar en los estudiantes la responsabilidad de su propio aprendizaje; además de trabajar en la posición de que la ciencia es un proceso social y que las ideas cambian con el tiempo (Berry y Milroy, 2002).

De manera similar, Vivienne Sullivan (1996), llegó a extraer nuevos conocimientos acerca de la enseñanza y el aprendizaje, al considerar el uso de los ciclos de aprendizaje POE (Predice-Observa-Explica) en un procedimiento de la enseñanza de la ciencia. Vivienne observó que: Al “explicar” de forma escrita un ejercicio, un tercio de los estudiantes lo hacían bien, mientras que en las explicaciones de los otros, podían observarse sus errores conceptuales. Encontró progresos en la comprensión de los estudiantes que habían predicho erróneamente, e incluso algunos escribieron sobre la explicación de sus errores. La eficacia del ejercicio como una herramienta de aprendizaje se discutió con los estudiantes y el intercambio de información solicitada demandó una mayor reflexión por parte de éstos. Es evidente que los estudiantes también participaron en el examen de su propio aprendizaje, ya que abordaron sus errores conceptuales y explicaron sus propias predicciones inexactas; comportamientos que tienen mucho más que ver con la construcción de una verdadera comprensión, en contraposición a saber lo que dice el profesor.

Este enfoque hacia una mejor comprensión del uso de procedimientos de enseñanza y la articulación y desarrollo de la sabiduría de la práctica, demuestra que para entender la problemática de la enseñanza se requiere un cambio importante en el pensamiento y la práctica del maestro. El cambio fundamental en la enseñanza puede hacer que los alumnos aprendan a aceptar más responsabilidad sobre su propio aprendizaje.

Aceptar la responsabilidad para el aprendizaje, requiere que los alumnos sean conscientes de lo que están haciendo y la razón por la que lo hacen, así como la vinculación de las nuevas ideas y conceptos con los que ellos ya poseen. Haciendo nuevos sus conocimientos, desarrollan activamente y de manera más profunda el entendimiento de los conceptos y el contenido estudiado. Tal aceptación se fomenta a través de la enseñanza que crea oportunidades

significativas para que los estudiantes participen en la construcción y la reestructuración de sus propios conocimientos. Por la misma razón, no es difícil ver que, si bien a menudo puede ser la enseñanza malinterpretada por algunos como la simple entrega de la información, la realidad es que la calidad del aprendizaje no se puede imponer (Loughran y Northfield, 1996).

El experto pedagogo, entonces, es el que no sólo elige los procedimientos de la enseñanza por razones particulares o especiales, sino que también está desarrollando constantemente sus conocimientos de la práctica, de una forma que le permite ver lo que pasa en la enseñanza y el aprendizaje con nuevos ojos. Sin duda, esos profesores tienen un fuerte alcance de la noción de profesionales del aprendizaje a través del desarrollo activo de su pedagogía.

## **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 declararé 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 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 existían trabajos que se concentrasen en elucidar 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. Por ello Shulman le llama “conocimiento” al pedagógico del contenido, por ser parte de su pensamiento y sus creencias.

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, problemas o situaciones particulares 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).

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 asimilado 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 (Grossman, 1990). Dentro de este ámbito, se propone el estudio de la categoría del conocimiento pedagógico del contenido 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. Posteriormente, 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 del programa de investigación de esta tesis.

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 y Stielkl, 1995). Desde su aparición el CPC fue objeto de discusión por la ambigüedad con 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 conocimiento 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).

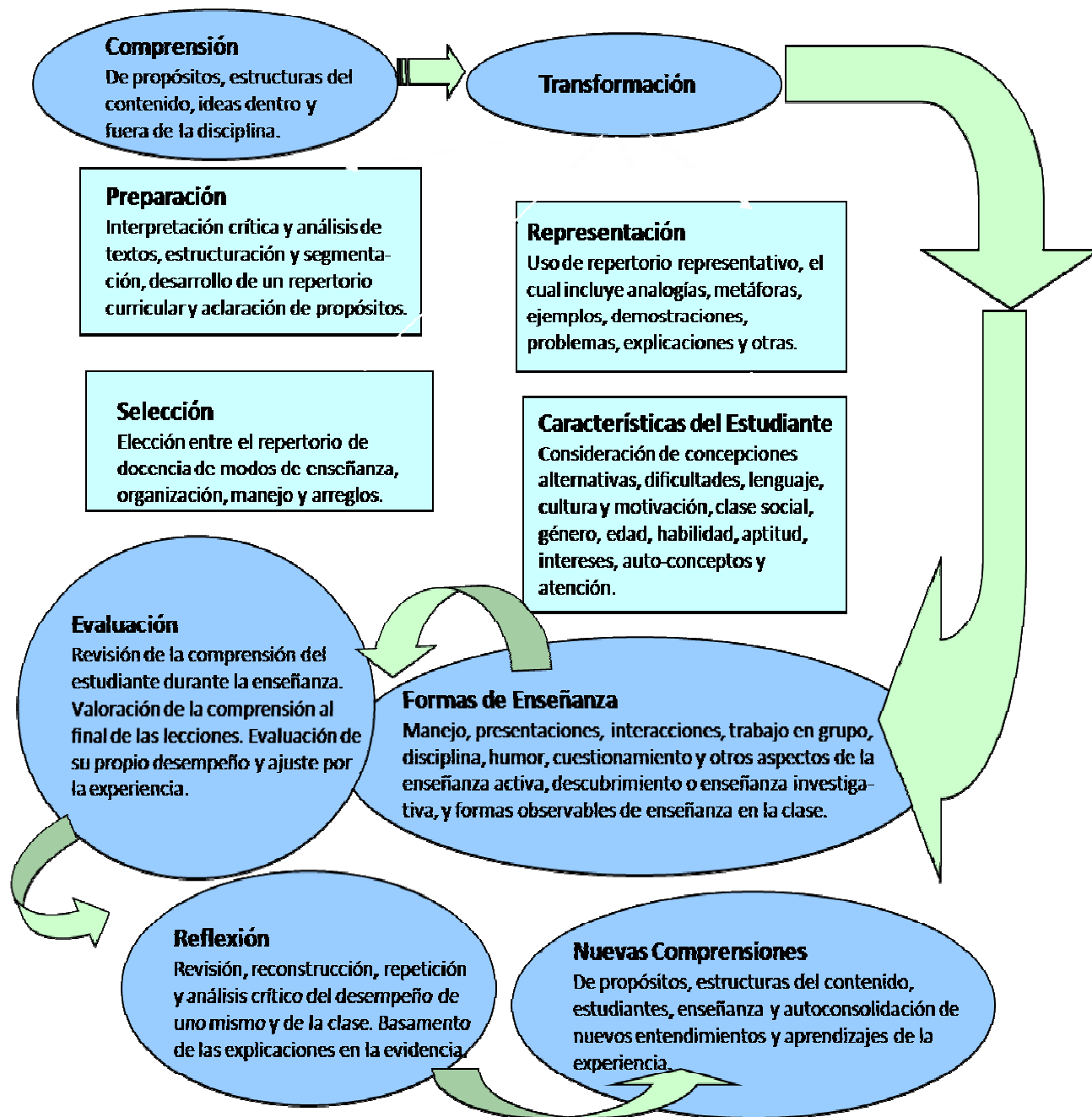
En este sentido, Shulman (1986, 1987) afirma que el manejo profundo de la disciplina le facilita al docente anticipar los componentes y relaciones del contenido, que pueden presentar problemas para su comprensión. Un buen manejo de la disciplina significa saber que algo es así y comprender el por qué 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 los 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.



**Figura 1.1** Modelo de razonamiento y acción Pedagógica según Lee S. Shulman (1987).

Tomado y adaptado de Shulman (1987: 15) por Salazar (2005).

Para enmarcar la presentación de Shulman dentro de los conceptos de la pedagogía y la didáctica, conviene introducir en este trabajo la figura 1.1 que es llamada como “un modelo de razonamiento y acción pedagógica” dentro de la sección denominada “The processes of pedagogical reasoning and action” Shulman (1987; P. 12).

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. Nos cita Shulman (P. 15) las siguientes acciones como clave en la preparación y desarrollo de las clases como acción pedagógica pura:

- a) Comprensión:
- b) Transformación
  - (1) Preparación
  - (2) Selección
  - (3) Representación
  - (4) Características del Estudiante:
- b) Formas de Enseñanza
- c) Evaluación
- d) Reflexión
- e) Nuevas Comprensiones

Shulman denominó a este proceso de reflexión e interpretación: Modelo de Razonamiento y Acción Pedagógica (Ver Figura 1.1, adaptado por Salazar, 2005). 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.

Shulman nos indica que lo primero que debe hacer un profesor es conocer a profundidad el contenido de su enseñanza, en la figura el cuadro de “Comprensión”. Después debe hacer la “Transformación” de dicho contenido y es aquí donde debe crear el Conocimiento Pedagógico del Contenido al transformarlo en función de lo que conoce sobre las características del

estudiante y sobre su conocimiento de las representaciones más adecuadas para dicho contenido, agregando la preparación y selección como porciones importantes. Esto nos parece muy importante, pues se ubica al CPC dentro de la acción pedagógica.

El resto de la figura 1 nos muestra otras etapas complementarias para la construcción del CPC del profesor, como lo es la puesta en acción en el aula de todo lo preparado para dar la clase: las “Formas de enseñanza”, la “Evaluación”, la “Reflexión” y las “Nuevas Comprensiones” que lo conducen a su conocimiento a un punto superior, desde donde ahora preparará su clase durante el siguiente semestre, luego el otro, y así, sucesivamente.

Nos dice que la concepción de la enseñanza que discute en su artículo tiene como origen toda una serie de fuentes, tanto filosóficas como empíricas y dentro de éstas varios años de investigación de los profesores, viendo mediante una variedad de metodologías cómo es que elucidan nuevas formas para el contenido, lo reorganizan y lo parten, lo muestran con actividades y emociones, como metáforas y ejercicios, con ejemplos y demostraciones de tal forma que pueda ser asimilado por los estudiantes. Schwab (1978) nos recuerda cómo es importante el aspecto de la indagación dentro de la educación.

Un par de autores coetáneos a Shulman han insistido en que el docente y la calidad de la educación son elementos que están íntimamente vinculados (Connelly y Clandinin, 1984; 1985; Clandinin, 1986; Connelly y Clandinin, 1988; Clandinin y Connelly, 1992; Connelly y Clandinin, 1995). Estos autores mencionan, como Shulman, la importancia del pensamiento del profesor en la calidad de su enseñanza práctica y no se alcanza a reconocer cuál es el primer autor que coloca ese énfasis en la investigación sobre la enseñanza. Sobre este punto también insiste Schön (1987). Según nuestra propia investigación es Elbaz (1981) el que señala en primer término esta trascendencia del conocer, aunque ninguno como Connelly y Clandinin por la profundidad y extensión de su obra a lo largo de tres décadas (Connelly y Clandinin, 1999).

Ninguna reforma de la educación tiene posibilidades de éxito sin la activa participación de los docentes y su sentimiento de inclusión en la acción educativa y su proyección. Es dentro de esta afirmación donde el estudio de la formación docente, desde la investigación científica, encuentra un terreno poco visitado. Parece haber consenso, entre quienes analizan el desarrollo de la investigación educativa que ésta tiene como tarea pendiente la necesidad de profundizar en la investigación pedagógica y los cambios que se producen en la institución educativa, específicamente, en el aula. La permanencia de formas tradicionales en las prácticas pedagógicas en los diferentes niveles educativos, indica un limitado desarrollo en la investigación sobre los procesos de formación y perfeccionamiento docente.

No obstante, se reconoce que estas cuestiones son tomadas en consideración por los pedagogos gracias a la obra de Juan Amos Comenius (1592-1670) en su *Didáctica Magna* en el siglo XVI, desde entonces comenzaron a difundirse las ideas fundamentales que conforman las bases esenciales de la Didáctica y la Pedagogía actuales y que permitieron organizar científicamente la enseñanza. Posteriormente estos postulados se han ido enriqueciendo con los aportes de numerosos investigadores que han profundizado en las vías y medios para desarrollar la clase, hasta lo que conocemos en nuestros días.

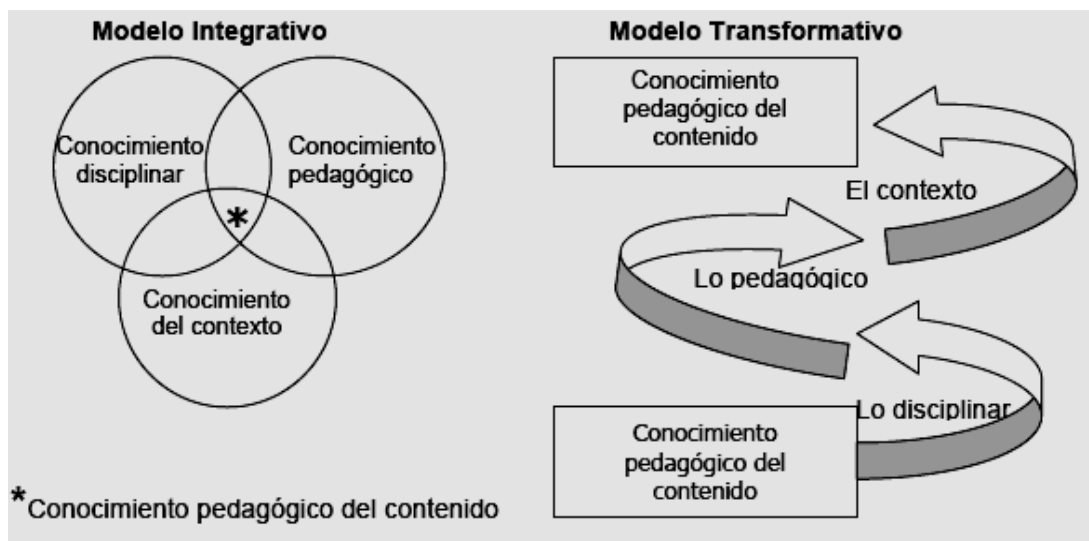


Ésta es una razón suficiente para el desarrollo de este trabajo, donde vamos a realizar mediante las técnicas de la investigación etnográfica el devenir en el aula de la presentación del tema de la biotecnología por dos profesoras universitarias.

Por otro lado, 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 del docente han sido áreas poco investigadas, pues, 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.

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). El CPC avanza como en una escalera de caracol al ser influida por estos tres elementos.



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

Para esta misma autora, 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 progreso 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.

## **Comenio y su Didáctica Magna**

La enseñanza escolarizada ocupa un papel muy importante en las diferentes sociedades desde la esclavista hasta nuestros días y en las formas en que se organiza el proceso de enseñanza y aprendizaje, transformándose en una verdadera necesidad para cumplir con las exigencias de la modernidad en la preparación de los estudiantes, desde la tendencia de enseñanza individual de carácter tecnológicos, caracterizado porque unas veces está centrado en el docente y otras es el estudiante.

La particularidad de diseñar y organizar el proceso para enseñar a un grupo de personas, hace que el conocimiento tenga un mayor alcance y “productividad” y que el docente se vea en la necesidad de demostrar la calidad de su preparación, el nivel científico de sus conocimientos y las habilidades didácticas que posee para transmitir aquellos. La clase constituye la forma fundamental de organización del proceso de enseñanza aprendizaje en todos los niveles de educación, en ella debe lograrse la unidad entre lo instructivo, lo educativo, lo desarrollado y otros aspectos de gran importancia como la comunicación interpersonal efectiva, el trato afable, el respeto mutuo y la tolerancia, el lenguaje adecuado, la presencia personal, el clima pedagógico adecuado y emocionalmente compatible, así como eliminar cualquier tratamiento discriminatorio e injusto a los estudiantes, entre otros aspectos. Como se menciono anteriormente, todas estas cuestiones son tomadas en consideración en la obra de Juan Amos Comenius (1592-1670) *Didáctica Magna* en el siglo XVI; también se menciono que desde entonces comenzaron a difundirse las ideas fundamentales que conforman las bases esenciales de la Didáctica y la Pedagogía actuales y que permitieron organizar científicamente la enseñanza. Posteriormente estos postulados se han ido enriqueciendo con los aportes de numerosos investigadores, entre ellos Shulman que han profundizado en las vías y medios para desarrollar la clase, hasta lo que conocemos en nuestros días.

Consideramos a Comenio como antecesor de la categoría de investigación CPC, propuesta por Shulman, de ahí la importancia de conocer un poco las ideas de Comenio.

Comenio estudió a los clásicos latinos y griegos, estudió, también, la historia de los pueblos; se formó en la Universidad de Herborn y en la Universidad de Heidelberg, en esta última, sobresalió en los estudios de las ciencias naturales que, en esa época, giraban alrededor de la Teología. Interesado en la Ciencia, leyó el manuscrito de Copérnico "las revoluciones orbitales de los astros", en donde se establece como centro del sistema planetario al Sol y no a la Tierra. Se considera que de estos conocimientos, Comenio dedujo que el centro del sistema escolar no era el maestro, considerado así en ese entonces, sino el alumno.

El método comeniano se base en tres pasos importantes que son: comprender, retener y practicar; quedando sintetizado en tres voces griegas que Comenio repetía a menudo: Autopsia, autocracia y autopraxia.

Comenio fue admirador de Erasmo Desiderio, humanista holandés que sostuvo que la educación debe comenzar en la *primera edad* y que debe respetarse la progresiva maduración de los niños; también reconoció la obra de Martín Lutero, inspirador de la Reforma protestante, basada en las ideas del humanismo, y de las cuales surgió la educación pública; admiró las obras de Rabelais Francois, sacerdote, médico y escritor francés, precursor del realismo pedagógico; conoció las obras de Ratke Wolfgang, pedagogo alemán, también precursor del realismo, quien ideó un sistema universal para la enseñanza de las disciplinas basado en la *gradualidad*; analizó los escritos de Lucio Anneo Séneca, filósofo y escritor romano, quien resaltó la importancia del maestro y de la necesidad de que éste conozca la individualidad del niño; compartió con Juan Luis Vives, pedagogo y humanista español, la propuesta de que, en la educación, se debe partir de la psicología de los niños y de las sensaciones; se ocupó también de la educación de la mujer. Comenio, también reconoció las obras y las aportaciones de los filósofos griegos como Sócrates; Platón, Aristóteles, Pitágoras, Cicerón, Eurípides y otros. Fue contemporáneo de Descartes (1596-1650); de Francis Bacon (1561-1626) y de Galileo Galilei (1564-1642). Tanto de sus antecesores como de sus contemporáneos, Comenio recuperó las aportaciones con las cuales fundamentó su *Didáctica Magna* (Chacon, 2004).

En esta obra realiza una crítica aguda a los problemas de la escuela y propone elementos para una enseñanza sistematizada, preocupada por el alumno y por los resultados formativos. Su utopía de una educación universal, en el sentido de enseñar todo a todos sin distinción, adelanta criterios para la formación de un sistema escolar que sólo se ha podido ir concretando siglos más tarde. La obra que nos legó trasciende a su tiempo. Después de más de tres siglos, muchas de sus preocupaciones e ideales educativos siguen siendo válidos para nuestra escuela, entre ellos: la educación igualitaria; la educación para la mujer; la enseñanza centrada en el alumno y sus características; la necesidad de un ambiente escolar estimulante y persuasivo para la enseñanza y el aprendizaje; la importancia de la organización de la escuela y de la clase; la necesidad del libro de texto; y la extensión de la escolaridad (Comenio, 2000).

Comenio propuso una enseñanza sistematizada y se preocupó porque el niño llegue a resultados formativos en la escuela. Comenio es el punto de encuentro entre el cristianismo, los postulados humanistas del Renacimiento y la naciente modernidad. Los cambios que propuso buscaron transformar la enseñanza para alcanzar un ideal de sociedad basado en la formación del Hombre,

no como ser particular, sino como deber ser, o sea, como Ser Humano, reconociendo que acciones de éste repercuten en la sociedad. Aunque no logró el ideal humano y social que se propuso, Comenio logró importantes cambios en la concepción de la educación, mismos que aún están vigentes. Se le conoce como el padre de la Pedagogía ya que sistematizó, por primera vez, todos los conocimientos existentes y la fundamentó para tratar de darle el carácter de ciencia. Como señaló Jean Piaget: "Al escribir su *Didáctica Magna*, Comenio contribuyó a crear una Ciencia de la educación y una técnica de la enseñanza, como disciplinas autónomas. Comenio es de esos autores que no es necesario corregir para modernizarlos, sino que basta solamente con traducirlos" (Comenio, 2000).

Comenio rompió con los sistemas del Escolasticismo y del Renacimiento; introdujo en la Pedagogía una nueva perspectiva, "...para esto, había que obligarle a salir de ese mundo de puros ideales, donde se le había mantenido hasta ese momento, para ponerle en contacto con la realidad y principalmente con la naturaleza, y de este modo las ciencias de la naturaleza cobran un interés pedagógico" (Durkheim, 1992, 355).

Si bien, el carácter científico de la Pedagogía no está resuelto, se dice que Comenio sentó las bases para considerar a la Pedagogía como una ciencia autónoma de la Filosofía, porque si bien la Pedagogía ya existía antes de Comenio, pero no como conocimiento independiente; sino como pensamiento, como ideas, como reflexiones acerca del Hombre, a partir de las reflexiones filosóficas. La Pedagogía, como disciplina, empezó a constituirse a partir de Comenio, particularmente, con la obra denominada *Didáctica Magna*; y aunque no puede decirse que Comenio le haya otorgado el carácter científico a la Pedagogía, si puede afirmarse que el mérito de él fue el de ordenar y sistematizar un conjunto de conocimientos con un objeto de estudio definido: la *educación del hombre*.

## **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 (buena parte de éstos han sido informados por Garritz y Trinidad (2004; 2006):

- 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 desarrollaron diferentes tipos de CPC: general, de dominio específico y de tópico específico, los cuales difieren en sus propósitos, usos y aplicaciones (Veal y Makinster, 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 que 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) De Jong, Ahtee, Goodwin, Hatzinikita y Koulaidis (1999), como resultado de un estudio internacional realizado con futuros profesores de química acerca de sus concepciones y preocupaciones en la enseñanza de la combustión, concluyen que a pesar de la diversidad de currículos nacionales y programas de educación para la enseñanza, los profesores en formación de diferentes países mantienen en común un gran número de concepciones y preocupaciones. De esta manera sugieren cuatro ideas a seguir en los cursos de formación del profesorado de ciencias:

1. Mejoramiento del conocimiento de los profesores acerca de las concepciones propias de los tópicos científicos escolares.
  2. Mejoramiento del conocimiento de los profesores acerca de las preconcepciones que tienen los estudiantes sobre los tópicos científicos.
  3. Mejoramiento del conocimiento de los profesores acerca de las dificultades esperadas en la enseñanza de los tópicos científicos.
  4. Mejoramiento del conocimiento de los profesores acerca de los planes de lección alternativos respecto de los tópicos científicos.
- f) 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.
- g) 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 (conocimiento disciplinario) 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.
- h) De Jong, Van Driel y Verloop (2005) 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.
- i) Un trabajo sobre este tema en el bachillerato es el de Treagust, Chittleborough 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)
- j) Vicente Talanquer et al. (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 “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).
- k) 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.
- l) 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 la 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.
- m) 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.

- n) En los últimos años, Talanquer (2005) se ha dedicado al desarrollo y la implementación de actividades diseñadas para el desarrollo del CPC de profesores de química en formación. Una de las tareas que él ha desarrollado para este fin, la ha denominado “Una Tabla Periódica en un Universo Paralelo” y es una actividad basada en el descubrimiento que, de acuerdo con los resultados de sus estudios, ayuda a los profesores en formación a integrar ideas centrales que previamente han mantenido como piezas aisladas de información; los hace conscientes de las muchas dificultades que los estudiantes pueden enfrentar cuando están tratando de entender conceptos químicos fundamentales; reconocer los problemas que ellos experimentaron al analizar fuentes múltiples de datos, determinar la información relevante e identificar las ideas centrales o métodos para ayudarlos a resolver un problema dado.
- o) Reyes y Garritz (2006) 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.
- p) 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 de grado para 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 pre-servicio 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.

- q) Moreland, Alister y Cowie (2006) hallaron un conjunto de siete “constructos” del CPC de los profesores de biotecnología, los que ya discutiremos posteriormente en el capítulo 5 de esta tesis:
- ✦ Naturaleza de la biotecnología y sus características;
  - ✦ Aspectos conceptuales, procedimentales, sociales y técnicos del tema;
  - ✦ Conocimiento del currículum, incluyendo los objetivos así como programas específicos;
  - ✦ Conocimiento del aprendizaje estudiantil sobre el tema, incluyendo el conocimiento existente, las fortalezas y debilidades, así como el progreso estudiantil;
  - ✦ Prácticas específicas de enseñanza y evaluación sobre el tema;
  - ✦ Entendimiento del papel y lugar del contexto; y
  - ✦ Ambiente de la clase y manejo en relación con el tema (manejo de recursos, equipo y técnicas).
- r) Talanquer, Morgan, Maeyer y Young, (2007) nos hablan de la importancia del CPC en el proceso de formación inicial de los profesores. Llegan a la conclusión de que el análisis de los cambios en las creencias y prácticas de los participantes en ese proceso formativo indican que la reflexión constante, la co-planeación y la co-enseñanza tiene un impacto positivo en las decisiones y en la práctica de los prospectos de profesor.
- s) Garritz y Trinidad (2006; 2007) escribieron un par de artículos que versan sobre el 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.
- t) Garritz, Porro, Rembado y Trinidad (2007) extienden el trabajo anterior adicionalmente a los diez profesores mexicanos con otras seis profesoras argentinas y hacen una comparación entre el CPC de cada uno de tres grupos de profesores (dos mexicanos y el otro argentino) con el que informan Loughran, Mulhall y Berry (2004).

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.

## ***Cómo documentar el CPC***

Como resultado de numerosos años de trabajo, de observación y de las conversaciones con docentes en cursos y talleres, Loughran y colaboradores elaboraron un formato que recoge aspectos importantes de la enseñanza de los docentes, que nos permiten capturar con éxito su CPC. Este formato se compone de dos elementos: el primero es lo que hemos llamado CoRe por su acrónimo en inglés (Representación del Contenido), que ofrece una visión general del contenido enseñado sobre un tema en particular; el segundo elemento es lo que hemos llamado PaP - eRs también por su acrónimo en inglés (Repertorios de la Experiencia Pedagógica y Profesional), que son ventanas (de algunos aspectos de la CoRe) en una situación de enseñanza/aprendizaje en donde es el contenido el que forma la pedagogía; versan sobre eventos concretos de la práctica de los profesores. Ambos instrumentos se acoplan, ya que algunos aspectos de los CoRe, son tratados en los PaP-eRs e ilustran cómo cierto conocimiento pudo realizarse en una práctica eficaz en el salón de clases. Los PaP-eRs, por lo tanto, se ligan al 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 (Loughran, Milroy, Berry, Gunstone y Mulhall, 2001; Loughran, Mulhall y Berry, 2004).

## **CoRe: La representación del contenido**

La CoRe proporciona una visión general de cómo un grupo de profesores conceptualizan el contenido de determinadas materias o tema. Una CoRe es desarrollada en un principio al pedirle a los maestros reflexionar (de forma individual) sobre lo que ellos consideran como las “ideas centrales” o “conceptos centrales”, relacionados con la enseñanza de un determinado tema, para un determinado grado, basadas en su experiencia. Estas grandes ideas son discutidas y refinadas entre los varios maestros que van a ser entrevistados con tal de lograr unas ideas centrales de consenso; luego, cuando se ha llegado a un acuerdo general se convierten en el eje horizontal o en las columnas de una CoRe (véase cuadro 1.1, al final del capítulo).

La CoRe es una matriz en cuyas columnas aparecen las ideas centrales para impartir el tema que han sido declaradas por los profesores y en las filas cada una de las ocho preguntas que vienen en el cuadro 1.1. 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.

A través de este proceso, la CoRe se convierte en una forma de generalizar el CPC de los docentes participantes, ya que vincula el cómo, por qué y para qué del contenido que se enseña de acuerdo con lo que es importante en la formación de los estudiantes y el aprendizaje personal docente. A continuación se explica cada aspecto de la CoRe.

### **Ideas / conceptos centrales**

El eje horizontal de un CoRe contiene las ideas centrales, que se refiere a las ideas que la ciencia según el profesor ve como cruciales para que los estudiantes desarrollen su comprensión del tema. Nosotros entendemos por ideas centrales las que están en el corazón del entendimiento y la enseñanza del tema; son los tópicos que forman parte del conocimiento disciplinario en los que el profesor entrevistado acostumbra dividir la enseñanza del tema específico. La clave es que en ese conjunto de ideas estén reflejadas nítidamente las más importantes del tema, incluido quizás alguno de sus precedentes.

En algunos casos, las ideas centrales en la enseñanza de un tópico específico de las ciencias pueden ser las mismas que para la ciencia misma, pero no son necesariamente sinónimo de la interacción entre el contenido y la enseñanza. No se ha definido una serie de grandes ideas, normalmente, en un determinado tema, se ha encontrado que los maestros en general, mencionan entre 5 y 8 ideas. Si las ideas o conceptos son pocas, significa que el conocimiento de ese tema puede ser englobado en uno sólo, mientras que si son demasiadas se sugiere que el tema puede ser desglosado en trozos de información que parecen ajenos. Por lo tanto, el desarrollo de las grandes ideas puede tomar un buen tiempo y requiere una considerable reflexión y debate.

### **Lo que se pretende que los estudiantes aprendan acerca de esta idea**

Este es el primer símbolo en el eje vertical de un CoRe y es un punto de partida para abordar las ideas. Según los creadores de la CoRe han encontrado que los profesores tienen dificultades para ser específicos sobre lo que un grupo particular de estudiantes deben ser capaces de aprender. Sin embargo, en contraste, los maestros sin experiencia en un tema determinado tienden a estar seguros de lo que los alumnos son capaces de lograr. Por lo tanto, es un buen punto de partida para desempaquetar la comprensión de los profesores de ciencias sobre la importancia de los contenidos.

### **¿Por qué es importante que los estudiantes la aprendan?**

En la multitud de definiciones curriculares a las que los docentes se enfrentan, decidiendo lo que van a enseñar, debe estar vinculada la razón por la que es importante que se les enseñe a los alumnos. Se sugiere que el éxito de los profesores se basa en su experiencia y conocimiento del tema en cuestión, así como conocer la pertinencia de este conocimiento en la vida cotidiana de

los estudiantes, a fin de que puedan crear maneras significativas de alentarlos a comprender la esencia de las ideas y conceptos. Sin embargo, a menudo, la razón por la cual es importante para los estudiantes conocer estas ideas y conceptos está vinculada a otros objetivos curriculares.

### **¿Qué más sabes acerca de esta idea? (lo que no tratarás con los estudiantes).**

Los profesores a menudo toman decisiones difíciles acerca de lo que debe ser incluido o excluido, a fin de que los estudiantes comiencen a desarrollar una comprensión del tema. Aunque el éxito de los profesores de ciencias es reconocer el valor de no ser simplista en la enseñanza del contenido, o mantener su complejidad, sino mantener el equilibrio entre ambos con el fin de evitar una confusión innecesaria ya que esto podría restar éxito al aprendizaje de los estudiantes. Adicionalmente, reconocer qué porciones avanzadas sobre el tema conoce el profesor nos permite saber su conocimiento más allá del que requiere estrictamente para dar su clase.

### **Dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea.**

Como Shulman (1986) y muchos otros han señalado, los profesores llegan a desarrollar y responder más fácilmente sobre los puntos anteriores, que acerca de las posibles dificultades a la hora de la enseñanza de un tema en particular. Ya que éste requiere de la investigación sobre las concepciones alternativas, así como de las limitaciones de los modelos y las analogías en la promoción de la comprensión o explicación de ciertos fenómenos. Los profesores expertos utilizan este conocimiento y la información para conformar cómo deben enseñar los conceptos y temas particulares. Sin esta función del CPC, se podría sostener que la enseñanza no es verdaderamente sensible a las opiniones constructivistas del aprendizaje y por lo tanto, no se refiere al procesamiento, la estructuración, la síntesis y la reconstrucción de los conocimientos de los estudiantes, sino más bien a la adición de nuevos «trozos» de conocimientos existentes en el aprendizaje, independientemente de sus opiniones y la comprensión de los contenidos.

### **Conocimientos acerca del pensamiento de los estudiantes que influyen en la enseñanza de esta idea**

Este aspecto de la CoRe es importante para ayudar a hacer explícito lo que los maestros han llegado a conocer a través de su experiencia en la enseñanza del tema, y la manera en que esos conocimientos influyen en su forma de pensar acerca de su enseñanza. El éxito de su plan de enseñanza depende de lo que han aprendido sus estudiantes, qué ideas en común tienen los estudiantes acerca del tema. También implica conocer las concepciones alternativas de los estudiantes, lo cual es un paso *sine qua non* para avanzar en el cambio conceptual.

### **Otros factores que influyen en su enseñanza de esta idea.**

Este punto está dirigido a desempaquetar los conocimientos del docente acerca de los estudiantes, así como sus conocimientos pedagógicos en general, con el fin de explorar la forma en que estos podrían influir en la construcción de su enseñanza.

## **Procedimientos de enseñanza (y razones particulares para su uso)**

En la expresión “procedimientos de enseñanza” es importante diferenciar entre los distintos aspectos de la planificación para la enseñanza de la materia. Mitchell y Mitchell (2005), distinguen entre las actividades de enseñanza, los procedimientos y las estrategias. Sugieren que un profesor puede muy bien usar una actividad en un tema y, como tal, la actividad puede aplicarse a una situación especial. Pero los procedimientos de enseñanza son tácticas en la que los maestros eligen cuándo, cómo y por qué utilizar, a fin de promover los distintos aspectos del aprendizaje. Por otro lado, una estrategia incorpora un enfoque global, como por ejemplo el de la construcción en un aula, por lo que hay que tomar en cuenta y controlar los riesgos del intercambio intelectual (Mitchell & Mitchell, 1997).

En general, la familiaridad con una serie de procedimientos de enseñanza es un aspecto importante del CPC, porque la experiencia en la enseñanza guiará la elección de los procedimientos que se ajusten a las condiciones de aprendizaje, y sabrán cómo hacer uso de ellos para obtener los resultados deseados. Así como hacer los ajustes y adaptaciones necesarios, a fin de satisfacer las necesidades del contexto de la época o de las circunstancias (Loughran, Berry y Mulhall, 2006). Es evidente que los procedimientos de la enseñanza por sí sola no pueden garantizar el aprendizaje, pero los docentes informados y reflexivos pueden utilizar en forma apropiada, en el momento apropiado, el procedimiento que puede influir en el pensamiento del estudiante y puede muy bien promover un mejor entendimiento del tema (Leach & Scott, 1999).

## **Determinar las formas específicas de evaluar la comprensión o la confusión de la idea en los estudiantes.**

Un control constante (de manera formal e informal) que elaboran los profesores, sobre la comprensión y el progreso de los estudiantes. Este punto está diseñado para explorar cómo los docentes abordan este aspecto en la enseñanza del tema, con el fin de recoger las distintas perspectivas sobre la eficacia de su enseñanza, así como los ajustes a su forma de pensar acerca de las mismas o similares situaciones en el futuro.

Al crear o trabajar con un CoRe, es importante reconocer que algunas secciones contienen más detalle que otras. No se pretende que un CoRe deba tener una cantidad prescrita de la información, sino contiene sólo la cantidad de la información y las ideas propuestas por los que participan en su formación y, de hecho, en algunos casos, algunas de las casillas pueden quedar vacías. Sin embargo, debido a la forma de representación que tiene, permite cambios o complementos con otra idea. La CoRe permite tener una base sólida de la visión general del CPC de los maestros para un tema, es decir, aporta conocimientos en las decisiones que los docentes toman en el momento de la enseñanza de un tema en particular, incluidos los vínculos entre el contenido, los estudiantes y los profesores.

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. Es importante reconocer que la CoRe es ambas cuestiones, a la vez: es un documento que permite comprender cómo el profesor piensa abordar sus clases y que permite mostrar dicho conocimiento de forma de poderlo representar.

Como los puntos de la columna 1 (cuadro 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, un CoRe derivado a partir de un grupo de profesores de ciencia no se debe ver como estático o como la representación única/mejor/correcta de ese contenido. Es una generalización necesaria, pero incompleta, resultado 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 diverso de CoRes es fácilmente identificable (y distintamente diferente a la unidad) cómo diversos profesores de la ciencia conceptúan el contenido de maneras diversas pero igualmente válidas (éste es el caso en el concepto de ‘reacción química’ explorado con profesores australianos por Mulhall, Berry y Loughran, 2003).

## **PaP-eRs: Repertorios de la experiencia pedagógica y profesional**

Un PaP-eR es una narración de una clase particular, del contenido que se enseña. Está diseñado deliberadamente para desempaquetar el pensamiento de un maestro acerca de un aspecto particular que sobresale en su CPC a fin de dar a conocer lo que el docente desarrolla en su práctica. Los PaP-eRs están destinados a representar el razonamiento del profesor, es decir, el pensamiento y la acción de un maestro de ciencias, sobre un contenido específico. A manera de descripción los PaP-eRs relatan, de forma accesible y significativa para el lector, la forma como el profesor elabora e interactúa en la clase, esto con el fin de que el lector y el propio profesor reflexionen sobre su práctica y se abran a la posibilidad del cambio (Mulhall y otros, 2003).

Los PaP-eRs pueden 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, charla entre dos o más profesores, 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.

La «voz» de un PaP-eR varía dependiendo de lo que está siendo retratado. Por ejemplo, algunos PaP-eRs proceden de la perspectiva del estudiante, otros de la del maestro, algunos adquieren la forma de una entrevista, otros la observación en el aula; también sus propósitos son variados, algunos pretenden hacer ver el carácter problemático de un determinado concepto, mientras que otros destacan la preocupación por el Plan de estudios o de las ideas propias de un profesor. Como consecuencia de ello, el formato de un PaP-eR responde a diferentes tipos de situaciones; se trata de llamar la atención sobre casos concretos que podrían ser fácilmente pasados por alto.

En general, un PaP-eR es uno de los muchos recursos de investigación en la enseñanza de la ciencia, diseñado para enlazarse con uno o más aspectos específicos del CoRe, que ofrece la posibilidad de captar la naturaleza holística y la complejidad del CPC que el CoRe no muestra.

Los PaP-eRS parecen ser una forma razonable de sugerir (de forma concreta y sin dejar de lado la complejidad) y acceder a la base del conocimiento de la enseñanza. No cabe duda de que mucho de lo que comprende el conocimiento del maestro está implícito. Los docentes rara vez se dan la oportunidad de reflexionar sobre su práctica, pues no es parte de sus funciones asignadas. Más, en cuanto al Plan de estudios entregado por los profesores a los estudiantes, por lo general, representan los documentos específicos que bloquean los contenidos de la enseñanza. Ya que el tipo de asesoramiento que éstos proponen no suele ser estratégico, pues a menudo sólo se limita a enunciar “lo que funciona” o “lo que debe trabajar en la siguiente clase” (Appleton, 2002).

Una característica inmediata de la estructura de un CoRe es la manera en que alienta a los profesores a problematizar el contenido y la enseñanza. El impacto global de los recursos que se sugieren en éste, provoca que se desarrolle el pensamiento de los docentes sobre lo que es importante en la enseñanza de un tema y por qué y, aún más, que los maestros consideren su práctica actual en relación con las posibilidades de un desarrollo futuro.

Durante mucho tiempo, en la enseñanza se ha hecho una simple distinción entre la teoría, como la torre de marfil y la práctica como tierras bajas pantanosas (Schön, 1983). Como consecuencia de ello existe una brecha entre ambas partes, razón por la que a menudo los docentes limitan la influencia de la teoría en su práctica. Sin embargo, algunos han gastado considerable tiempo y energía tratando de vincularlas de forma más significativa. Por lo que hoy existe el reconocimiento de que "necesitamos ayudar a los maestros a pensar acerca de sus prácticas y de las razones detrás de sus acciones a la luz de la manera en que los alumnos aprenden y, en relación con los conocimientos de la disciplina" (Bullough, 2001).

Se unen a los CoRe los PaP-eRs, estos dos instrumentos se acoplan, ya que algunos aspectos de la 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 al 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 el cuadro 1.1 para una representación esquemática del acoplamiento entre el CoRe y los PaP-eRs, las líneas de los PaP-eRs a diversas filas y columnas en el CoRe ilustran las ideas particulares/conceptos/contenidos que son examinadas).

En muchos sentidos, la combinación de CoRe (s) y PaP-eRs más que un recurso es una invitación a los docentes para comenzar a identificar y reflexionar sobre la que hay que saber, y pensar más cerca de la enseñanza de un nuevo tema (por ejemplo, "¿Cuáles son las grandes ideas para la enseñanza de este tema, a este grupo particular de estudiantes?"; "¿Qué debo esperar que el alumno aprenda?"; "¿Por qué?"; "¿Qué procedimientos de enseñanza puede ayudar a este grupo de estudiantes a entender esta idea?"; etc.). Además, CoRes y PaP-eRs actúan como disparadores para animar a otros profesores para comenzar a aceptar el concepto del CPC en su propia práctica.

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 del CoRe es crucial para 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 1.1 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. El 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).

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/temas que pertenecen al 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 1.1) 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 el 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 cuestiones 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 de 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 ofrece 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.



En conjunto con los PaP-eRs, el 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 este CoRe a la vida (según lo sugerido en el cuadro 1.1) y verter la nueva luz en la naturaleza compleja del CPC para los profesores y los investigadores. Este uso del 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.

Cuadro 1.1. 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.

Ideas / conceptos centrales de la 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 a 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	6. ¿Cuáles otros factores influyen en la enseñanza de esta idea?		PaP-eR 4
	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?		

## CAPÍTULO 2. Antecedentes

### *Introducción*

Esta tesis tiene como antecedente un trabajo titulado “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” (Velázquez, 2007). En dicho trabajo se siguió la metodología de Loughran, Mulhall y Berry (2004) para obtener y caracterizar el “Conocimiento Pedagógico del Contenido” (CPC) de profesores de diferentes niveles con relación al tema de la biotecnología para ser impartido en el bachillerato. Para lograrlo, se combinaron dos métodos de investigación, el de la “Representación del Contenido” (CoRe) de Loughran *et al* (2004) —que fue 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 ayudó a clasificar, construir y representar los compromisos epistemológicos y ontológicos de la forma de pensar de los profesores, por medio de sus PCs.

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, las que se han incorporado en el cuerpo de este capítulo.

Igualmente, recogimos una serie de recomendaciones para la enseñanza de cada una de estas ideas en el mismo nivel del bachillerato, expresadas en diferentes momentos en los CoRe de los cuatro profesores y que aparecen al final del presente capítulo.

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.

## *El cambio conceptual como evolución conceptual*

Uno de los dominios en los que más se ha 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 Gómez Crespo y Sanz, 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, lo mismo que Talanquer 2005, 2006a, 2006b y 2007, con su imagen del químico intuitivo).

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, Gómez Crespo y Sanz, 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, 2001) 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. Aquí 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 la meta de la educación. Ésta 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 (1992) 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 ilustran 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 (2007) 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.

La evidencia empírica sobre la imposibilidad de erradicar de los estudiantes sus concepciones alternativas o concepciones intuitivas, así como las múltiples evidencias de la complejidad de su pensamiento, de la notable influencia del contexto y de la inconsistencia e inestabilidad de sus ideas y probablemente, también, de la relevancia de sus aproximaciones epistemológicas en la construcción de concepciones científicas, han obligado a los investigadores en el campo del desarrollo conceptual a *construir* modelos distintos al de las concepciones alternativas que puedan dar cuenta de esta complejidad.

La idea de las representaciones múltiples que pueden construirse alrededor de un mismo concepto no es nueva en el campo y trabajos como el de Mortimer (1995), quien toma la idea de los ‘perfiles epistemológicos’ de Bachelard (1968), o bien las concepciones múltiples propuestas por Taber (2001), los modelos múltiples propuestos por Clement y Stenberg (2002), así como las trayectorias conceptuales propuestas por Scott (1992) y Petri y Niedderer (1998) son ejemplos que permiten hablar de una transformación en la conceptualización del *cambio conceptual* como un proceso en el que las concepciones científicas no *sustituyen* a las concepciones cotidianas y en el que la transformación no es necesariamente radical, sino mucho más ligada al contexto y la experiencia de los sujetos.

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 el campo de la ciencia, tal como el desarrollo de la teoría sobre la estructura de la materia. Así, es necesario preparar a los estudiantes para una empresa constantemente variable si nos referimos a introducirlos 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” (Pozo, 2007). Sin embargo, se 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 o diversas. 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 o intuitiva) 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 los 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.

### *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 o alternativas. Difere 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 posterior, a partir de las ideas de Bachelard, Mortimer (1995) 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 se diferencian de la noción filosófica de Bachelard (1968), pues la intención es encontrar un modelo para describir cambios en pensamientos individuales, como resultado del proceso de enseñanza.

En *La filosofía del No* 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 suficiente, 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 zonas de las formas individuales de pensamiento, pues pertenecen a un intelecto colectivo.

Bachelard (1968) ilustró su noción con el concepto de la masa. La siguiente tabla 2.1 ilustra las categorías que éste utilizó para analizar este concepto.

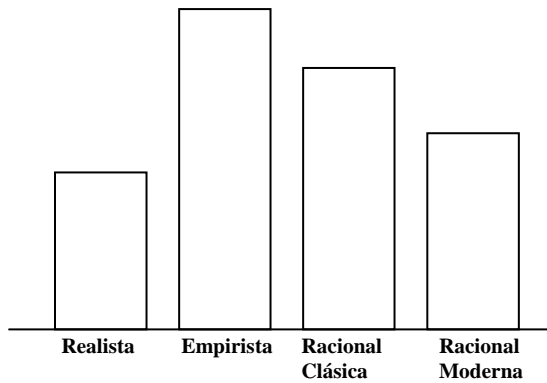
El perfil epistemológico, en cada concepto, es diferente de un individuo a otro. Es influenciado fuertemente por las diversas experiencias que cada persona tiene, por sus diversas raíces



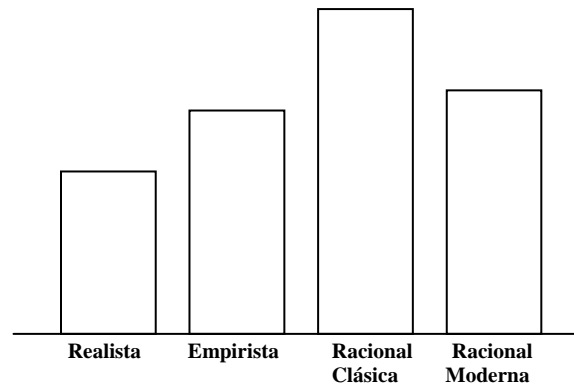
culturales. Las figuras 2.1 y 2.2 ilustran dos perfiles epistemológicos de personas diferentes, relacionados con el concepto de masa. La altura de cada sector en un perfil corresponde a la extensión en la cual esta “manera de considerar” está presente en el pensamiento del individuo, que es definido por su fondo cultural y por las oportunidades que el individuo ha tenido que utilizar cada división del perfil en su vida. La altura mayor de un sector es diferente para los dos individuos mostrados. Tenemos que tener cuidado en interpretar esta 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 sus actividades diarias. Un perfil hipotético de un físico (figura 2.2) puede ser totalmente diferente. El sector empírico de su perfil es más débil que el de la primera persona, 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 del químico porque él está más al corriente de la teoría de la relatividad y de sus implicaciones.

Tabla 2.1. Categorías utilizadas por Gastón 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 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”



**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 han utilizado la masa en un sentido metafórico en su lengua diaria, él nunca hablaría sobre una “masa de papeles en la cartera”. En estos sentidos, la masa es claramente realista y ésta es una característica importante que puede distinguir al químico y al físico, con un estudiante, ya que los dos profesionales son conscientes de su perfil y pueden utilizar cada noción en el contexto apropiado, mientras que el último no logra hacerlo.

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 precedentes. 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 la persona 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 pensamiento, 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 único son las mismas. El perfil conceptual es, por lo tanto, dependiente del contexto, puesto que se arraiga fuertemente en el fondo distintivo del individuo y del contenido, puesto que se 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 industrial occidental, las divisiones científicas del perfil son bien definidas por la historia de las 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 pensarse 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 tomando en consideración el PC tenemos que determinar las diversas divisiones del perfil para cada concepto e identificar los obstáculos epistemológicos y ontológicos a los que el estudiante se enfrenta. 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 información, no sólo para esta clase de nivel elemental sino también para los niveles más 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, elicitación 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 pueden arreglar en una secuencia de pasos: para hacer la agenda explícita; para tratar los obstáculos y las características epistemológicas del conocimiento científico a 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 concepto científico; para generalizar las nuevas ideas y dar a los estudiantes la oportunidad de generalizarlas, y para llamar a los estudiantes a reflexionar sobre sus propias ideas, a que las comparen con las ideas científicas y a estar consciente 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 tengan que restringir el dominio de un viejo concepto científico, conforme aprenden y sean enterados de un nuevo nivel de su perfil. Esto es lo que sucede, por ejemplo, cuando el estudiante 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 se refleje en sí misma. En opinión de Piaget (1977), depende de la capacidad del individuo de funcionar en el segundo nivel, funcionando sobre una operación, lo que significa que el individuo tiene que adquirir la capacidad de analizar sus pensamientos (ser metacognitivo) y nunca más seguir sumergido 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 las suyas propias, 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, 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, ello demanda su uso consciente. En estas nuevas situaciones hay una tendencia fuerte para que un estudiante utilice los conceptos anteriores, los que pertenecen 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 con una nueva, 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 el pensamiento del sentido común y su modo de 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 comparten 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 han sentido alcanzado de este proceso podrían reconocer diversos dominios de cada idea así como su marco jerárquico, donde algunas ideas explican otras.

Recientemente, Coutinho, El-Hani y Mortimer (2007) analizan en un capítulo del libro editado por Pozo y Flores las siguientes zonas del perfil conceptual del concepto de vida:

Podemos ver cómo el propio autor del modelo del perfil conceptual encuentra siete zonas plausibles para un concepto complejo como es el de la vida. Los autores toman como punto de partida la hipótesis de que el concepto de vida es polisémico, es decir, que tiene diversos significados, por lo cual admite un perfil conceptual. Parten de tres dominios genéticos: el dominio socio-cultural, que parte del concepto de la vida y su historia; el dominio ontogenético, a través de una compilación de las concepciones alternativas estudiantiles sobre el concepto; y el microgenético, reuniendo datos empíricos a través de cuestionarios.

El perfil conceptual que construyen estos autores presenta tres zonas principales y varias otras subsidiarias: a) externalista, que soporta la idea de que una cuestión externa da la vida a los seres vivos; b) internalista, en la que la vida es entendida como un proceso relativo a la organización de la materia y c) relacional, en que la vida es comprendida como una relación entre entidades y/o sistemas.

Tabla 2.2. Zonas del perfil conceptual del concepto de vida

Zona del PC	Expresiones
Agente	Tiende, hace, transforma, permite, produce.
Artificialismo	Don, donación, Dios, referencias a la vida humana y a sus estados de espíritu y alma.
Esencialismo Macro	Propiedades macroscópicas de los seres vivos (nacimiento, reproducción, movimiento, crecimiento, nutrición, etc.).
Esencialismo Micro	Propiedades microscópicas de los seres vivos y su composición (metabolismo, celularidad, DNA, RNA, proteínas etc.).
Finalismo	Armonía, expresiones teleológicas (fin, finalidad)
Mecanismo	Referencia a mecanismos y máquinas. Se hace una explicación en términos de componentes articulados como en una máquina.
Relacional	Referencia a interacciones y relaciones.

En concreto, lo que propone el modelo del cambio conceptual para la enseñanza 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.

En el trabajo de tesis que se realizó (Velázquez, 2007), no se consideró el modelo del perfil conceptual desde el punto de vista del aprendizaje, con todo lo que se acaba de mencionar hasta aquí, sino que se construyó el perfil conceptual para el profesor, a partir de su propia descripción de sus objetivos de enseñanza y de cómo construye, representa y evalúa los conceptos a aprender en su clase. Es un poco como Mortimer (2001) lo ha utilizado recientemente, para analizar el lenguaje empleado en las discusiones y argumentaciones en la sala de clase, es decir, para investigar la producción de nuevos significados en las clases de ciencias considerando que existe una relación entre modalidades de pensamiento y formas de hablar. En nuestro caso hemos hecho algo similar, pero no considerando a los alumnos, sino a su profesor.

### *La biotecnología en la educación*

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, 2000).

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).

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 y Aubusson, 2004).

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. En este sentido, se han realizado diversas investigaciones que apoyan la enseñanza de la biotecnología en el ámbito formal.

Michael, Grinyer y Turner (1997) publican un trabajo en donde consideran el tipo de identidades construidas por los propios maestros para la biotecnología y sus estudiantes. Sobre la base de información de los estudios de la comprensión pública de la ciencia, analizaron las opiniones de los docentes sobre la biotecnología y la enseñanza de la misma. Estas opiniones son en parte derivadas de algunos cuestionarios que los docentes respondieron, así como de la observación participante que se efectuó sobre ellos, aunque la principal fuente de los datos se centra en las discusiones del grupo. El análisis muestra que los profesores tienen opiniones ambivalentes acerca de la biotecnología y de su papel. Por ejemplo, por un lado, la ciencia y la biotecnología son "impuras" en el sentido de que son parte del mundo de la política y la ética. Dentro de este controvertido dominio, los maestros vieron su papel como el de garantizar 'equilibrio' entre ambas dimensiones, a favor y en contra de la biotecnología, en las que los estudiantes están expuestos. Por otro lado, el razonamiento de que ciencia y la biotecnología son "puras", parte de la idea de que en este ámbito se produce el conocimiento científico. Por lo tanto, la biotecnología, para estos autores, es “intelectualmente interesante en sí misma”. Sugieren que esa ambivalencia no es necesariamente un problema, que refleje tendencias sociales más amplias.

En el estudio de Conway (2000) se plantean dos interrogantes para la enseñanza de la tecnología (específicamente para la Ingeniería Genética): ¿Qué aspectos de la capacidad tecnológica puede ser enseñado y aprendido que ayuden a las próximas generaciones a desarrollar un juicio de valor que les permita llegar a decisiones moralmente responsables para un futuro sostenible? ¿Qué estrategias de enseñanza y de aprendizaje pueden desarrollar las aptitudes y sensibilidades que se necesitan? La autora plantea que lo que se requiere es implementar un plan de estudios que trate no sólo de los conocimientos y habilidades (ya que son importantes para la comprensión y la



capacidad), sino también que tome en cuenta actitudes, valores y creencias. Ella insiste en que la fuerza del diseño y la tecnología de la educación tienen que ver con el mundo real, y debe alentar a los niños a resolver problemas reales de manera creativa, darles la oportunidad de desarrollar una amplia gama de habilidades, y aprender a recurrir a una amplia gama de conocimientos. Con respecto al impacto ecológico se puede hacer crecer la preocupación y la valoración de todos los seres vivos, sus necesidades y sus relaciones recíprocas. Si se presiona un poco más, los alumnos pueden aprender a distinguir entre los problemas técnicos (lo que es posible) y las cuestiones éticas (lo que debería ser hecho) y dedicarse al debate de sus juicios éticos. Cuando el diseño y la tecnología se enseñan con estos resultados de aprendizaje en mente, se contribuye a la preparación de los jóvenes para los juicios éticos a que se enfrentan, tales como la ingeniería genética y otras nuevas tecnologías.

Recientemente Sáez, Gómez y Carretero (2008) realizaron un estudio en una muestra de 770 estudiantes de 13 escuelas secundarias, en donde identificaron y exploraron los diferentes contextos culturales en los que la enseñanza y el aprendizaje de la biotecnología se inserta, que se refieren principalmente a las nuevas actitudes y valores de los estudiantes con respecto a tales cuestiones. Los resultados identifican cuatro grandes valores: el "principio de la física", el "principio de la asistencia social", el "principio de la solución tecnológica" y el "principio de las decisiones individuales". Este estudio ha demostrado que las personas entrevistadas hacen una valoración moral de carácter general sobre la biotecnología. Ellos apoyan sus aplicaciones en los seres vivos de acuerdo con el grado de parentesco con los seres humanos. Utilidad es uno de los mejores valores considerados en el apoyo a aplicaciones de la biotecnología, con una cierta ambigüedad al distinguir entre proceso y producto. Así, cuando las personas entrevistadas evalúan las aplicaciones de la biotecnología que son los productos, se llevará a cabo una valoración social y personal de la necesidad o utilidad del producto. Cuando se refiere a los nuevos alimentos, por ejemplo, parece que las personas entrevistadas para esta necesidad no están claramente definidas. Existe también, la incertidumbre que se plantea en el debate público acerca de las consecuencias ambientales y sanitarias de estos productos, mientras que cuando se refieren a aplicaciones médicas y la percepción personal de la utilidad de la protección de la salud personal llega a ser muy evidente que contrastan de manera significativa con las acciones de los mismos Organismos con otros fines. Por otra parte, los maestros desempeñan un papel como facilitadores de la información y el debate, pero su imagen de autoridad se convierte en un problema cuando los estudiantes consideran lo que el profesor realmente piensa acerca de estas cuestiones controvertidas. La imparcialidad intencionada, no pretende influir en las ideas y reflexiones de los estudiantes, sino que la asimetría del conocimiento altera este objetivo.

Simonneaux (2001) presenta un trabajo en donde se analiza el impacto de un juego de roles convencionales en un debate entre los estudiantes, con la argumentación sobre el tema de la transgénesis animal. Los estudiantes se enfrentan a una situación de ficción, pero imaginable. Tienen que decidir si aprueban o no una gigantesca granja de salmón transgénico. El valor fundamental de las estrategias didácticas en esta cuestión radica en su potencial para abrir la escuela al entorno de una dimensión que va más allá de la adquisición de conocimientos, por la socialización de estos conocimientos y contextualizar y debatir las cuestiones que se derivan de ella. El objetivo fundamental es, por tanto, ayudar a los estudiantes a convertirse en miembros plenos y activos de la sociedad. Este estudio se basa en observaciones de situaciones reales en el aula, más que en las situaciones que se crean específicamente para propósitos de investigación. El autor encontró algunas diferencias significativas entre los argumentos presentados por los

estudiantes en cada variante, que le permiten concluir que este tipo de estrategia didáctica en clase, ya sea a través del juego de rol o debate, parece ser una manera útil de ayudar a los estudiantes a desarrollar sus argumentos. A pesar de que algunas de las expresiones utilizadas por los alumnos muestran una falta de comprensión conceptual de la biotecnología, esto no les impide tomar parte activa en los debates y argumentar.

Dawson (2007) realizó un estudio en donde el objetivo fue examinar el desarrollo de la comprensión y las actitudes de los estudiantes de la escuela secundaria acerca de los procesos de la biotecnología, así como el progreso a través de este nivel educativo. En un estudio de caso transversal, se realizaron entrevistas escritas y encuestas a estudiantes de 12 a 17 años. Los resultados indican que la capacidad de los estudiantes para ofrecer una definición generalmente aceptada y ejemplos de la biotecnología, clonación y alimentos genéticamente modificados es relativamente pobre entre los estudiantes de 12-13 años de edad, pero mejora en los estudiantes de más edad. La mayoría de los estudiantes aprobó el uso de la biotecnología de procesos con la participación de los microorganismos, plantas y seres humanos y desapruueba el uso en animales. En general, las actitudes de los estudiantes de 12 a 13 años de edad son menos favorables que los estudiantes de más edad, independientemente del contexto.

Por otro lado, las aplicaciones de la biotecnología se utilizan en diferentes ámbitos, desde la industria química a la agricultura y de los diagnósticos médicos y los productos farmacéuticos a los sectores ambientales, y sus repercusiones son objeto de mucho debate. La argumentación es clave para la acumulación de conocimientos y es un aspecto crucial de la educación científica democrática. El papel de los educadores es cómo desarrollar habilidades en los estudiantes que les permitan identificar y determinar la validez de sus puntos de vista emocionales, y de los argumentos utilizados por los científicos, maestros, otros estudiantes y de ellos mismos. Simonneaux (2002) presenta un método para el análisis de la didáctica de las estrategias que se han presentado a los estudiantes para desarrollar habilidades para argumentar en el área de la biotecnología. El análisis se centra sobre las características sociales en juego y sobre los procedimientos recomendados, el objetivo no es hacer juicios de valor, pero se trata de elaborar herramientas de análisis para apoyar a los diseñadores y usuarios de materiales de enseñanza en la toma de sus decisiones. En este trabajo se pone de relieve la importancia de los valores de los estudiantes en sus argumentos. La calidad de los argumentos parece depender del contexto dado, en la solicitud objeto de examen y en la estrategia didáctica que se utiliza (y en particular la aportación multidisciplinaria suministrada).

Chowning (2002) reporta el desarrollo de un modelo para un nuevo tipo de asociación entre la biotecnología y la biomedicina con la colaboración local de las empresas, las universidades, instituciones de investigación, y las escuelas secundarias. Este esfuerzo resultó en un nuevo tipo de feria de las ciencias en donde a través de la diversidad de talentos y habilidades de los estudiantes se promueve la educación de la biociencia. Esta autora concluye que acontecimientos como la Expo permitirá a los estudiantes aprender acerca de la biotecnología mientras desarrollan los proyectos que son de interés y relevancia para ellos. Este modelo para un nuevo tipo de ciencia representa justo lo que los educadores han aprendido tanto acerca de la importancia de abordar los distintos estilos de aprendizaje de los estudiantes y la facultad de hacer participar a la comunidad de profesionales en la educación.

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.

En este sentido, Gilbert, Boulter y Rutherford (1998a y b) nos plantean que los “modelos pueden ser ideas, objetos, eventos, sistemas o procesos” e identifican cuatro tipos de ellos: mental, expresado, de consenso y de 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 et al. (1998) 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, como características desde los novatos hasta los expertos:

- Nivel 1, los modelos fueron pensados como copias de la realidad;
- 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;
- 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 en la clase 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.

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 la forma de los microorganismos (Johnson y Stewart, 2001).

Los procesos de la biotecnología son complejos, por lo que se recomienda el uso de modelos que identifiquen etapas, y que posteriormente éstas 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 sí son medios para acercarse a problemas intelectuales (Baker, 2001).

## **Limitaciones en la enseñanza de la biotecnología**

Aznar Cuadrado (2000), Johnson 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 la genética y 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 por 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 tratan de explicar los conceptos científicos que intervienen en la herencia de una forma simplista, ello 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 fomentan muchas preconcepciones. Por ello recomiendan 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 aprendidos previamente. 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, 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 en el albinismo y la 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) a 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 causa 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 científicamente 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.

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.

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 estima Moses (2003) se proporcionan 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, dando datos de lo que 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 con quienes hacen la 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 la comunicación. 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 varios años. En general, estos laboratorios están montados sobre el 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 puede 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.** Paneles 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 a la opinión pública materias de preocupación actual. Al arreglar conferencias de consenso sobre tópicos relacionados con la ciencia, se invita al público y periodistas a 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.

## **La biotecnología en el Plan de Estudios del CCH, su baja cobertura, los problemas existentes y las oportunidades perdidas**

En 1996 el Plan de Estudios del CCH (Colegio de Ciencias y Humanidades) fue actualizado, en él se marca su organización por áreas, y se plantea como idea fundamental la integración de conocimientos, en contraposición clara con la tendencia a la dispersión existente en otros modelos. Para lograr lo anterior, es imprescindible que, a partir del análisis de los límites



formales de las disciplinas, se busque trascenderlos, para lograr una formación unitaria o integral, más acorde con la complejidad de lo real y con el proceso del conocimiento.

En la epistemología actual, se imponen consideraciones interdisciplinarias que nos obligan a considerar al sistema científico como no lineal, sino más bien como una espiral sin fin, para no reducirnos a las numerosas interconexiones entre sus elementos.

En el Bachillerato del Colegio, las distintas materias dentro de las áreas no son una agrupación arbitraria ni mucho menos meramente administrativa y práctica: en su inserción en el Plan de Estudios a través de las áreas, se conciben las asignaturas, en las cuales se manifiestan escolarmente las materias, como manifestaciones de la cultura básica que la institución debe transmitir. A esta cultura contribuyen las asignaturas con aportaciones que le son específicas, o bien que comparten con las demás asignaturas de la propia área –en lo que se refiere, por ejemplo, a enfoques y métodos propios del campo disciplinario-, y de las restantes áreas del Plan de Estudios.

Con respecto al Área de Ciencias Experimentales, el Plan de Estudios puntualiza: “En la actualidad, el desarrollo de la ciencia y la tecnología hace necesaria la incorporación de estructuras y estrategias de pensamiento apropiadas a este hecho, en las formas de hacer, de ser y de pensar del estudiante. Estas formas le permitirán desarrollar un pensamiento flexible y crítico, de mayor madurez intelectual, a través de conocimientos básicos que lo lleven a comprender y discriminar la información que diariamente se le presenta con visos de científica; a comprender fenómenos naturales que ocurren en su entorno o en su propio organismo; a elaborar explicaciones racionales de esos fenómenos; a valorar el desarrollo tecnológico y su uso en la vida diaria, así como a comprender y evaluar el impacto ambiental derivado de las relaciones humano-ciencia y tecnología-naturaleza.”

El conocimiento científico es parte de la cultura de nuestro tiempo y del medio donde cotidianamente nos movemos, por lo que no puede ser un anexo de la cultura básica que se busca formar y recrear en el proceso educativo, sino uno de sus elementos principales, ni tampoco constituir una serie de aprendizajes sin aplicación a la vida diaria. Por ello, en el Área de Ciencias Experimentales se pretende que la formación científica básica del bachiller sea útil para cualquier ciudadano del mundo actual, en la medida en que incorpore nociones y conceptos de ciencia, sus formas de proceder, actitudes características, la terminología científica, sus aplicaciones tecnológicas, y contribuya, así provisto, a desarrollar una relación más armónica entre su sociedad y el ambiente.

Para estos efectos, se concibe a las ciencias y a las formas como construyen sus cuerpos de conocimientos como procesos dinámicos y globales, en constante evolución.

Los conocimientos científicos se estructuran después de haber pasado por el tamiz de la crítica racional y la verificación, pero, aunque la ciencia se propone dar una explicación objetiva y racional de la naturaleza, sus avances están permeados por el contexto social e histórico donde surgen, y sus interpretaciones son modificadas por las corrientes de pensamiento vigentes. Esta estructura de los conocimientos científicos siempre está abierta a las modificaciones que resulten de los avances de la humanidad en cualquier esfera del pensamiento, de donde se desprende el carácter antidogmático del conocimiento científico.

En conclusión, el alumno aprende a aprender en el Área de Ciencias Experimentales, en la medida en que se atiende a lo básico en conocimientos y metodología científica, de manera que pueda seguir aprendiendo en cada disciplina, con énfasis en la aplicación de los conocimientos y en el ejercicio de actividades intelectuales y destrezas.

Sin embargo, y pese a todo lo antes expuesto, el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), no contempla a la biotecnología dentro de sus programas actuales de química, aunque sí la conserva como un tema de la Biología I (Ingeniería Genética y sus aplicaciones). Esto ocurrió cuando en 2003 se revisó el programa de Química y se decidió cancelar el tema de la Biotecnología en esta asignatura. Ello es sin duda una desventaja en el proceso formativo de los estudiantes ya que:

- 1) No se presenta en los cursos de química un caso en el que sea tan claro diferenciar nítidamente las actividades y conocimientos científicos de los tecnológicos, como dos acciones paralelas y concurrentes, aunque de naturaleza singular. La conclusión que se alcanza con el estudio de la biotecnología es que la ciencia y la tecnología tienen propósitos diferentes: la primera trata de ampliar y profundizar el conocimiento de la realidad; la segunda, de proporcionar medios y procedimientos para satisfacer necesidades;
- 2) Se pierde una justificación para integrar las actividades científicas con las tecnológicas, utilizando en ello el carácter social de las aplicaciones de la biotecnología;
- 3) Por lo tanto, el estudiante no logra apreciar cómo el conocimiento científico y tecnológico se convierten en una de las claves esenciales para entender la cultura contemporánea, por sus contribuciones a la satisfacción de las necesidades humanas;
- 4) Se pierde la oportunidad de hablar de valores y de ética en la práctica biotecnológica, en la que aparecen mezclados: a) valores constitutivos de la tecnología –tales como racionalidad técnica, «virtuosismo» tecnológico, eficiencia, estética, economía, etc.–; b) valores contextuales –como, por ejemplo, razones de beneficio económico, bienestar social, prestigio nacional o industrial, poder político, militar o empresarial, la influencia del género, etc.–; c) valores que subyacen en la elección de los problemas a resolver con la tecnología, en el propio diseño tecnológico y en los criterios que se utilizan para evaluar los resultados de la opción elegida (Acevedo, 1998).

Cabe hacer mención, que el 1996 cambió el Plan de estudios del CCH y en ese momento el tema de biotecnología sí formó parte de los programas de estudio de la asignatura Química IV, que se imparte en el último semestre del bachillerato. Pero en el 2003 los programas fueron sujetos a un ajuste, y en ese momento se decidió eliminar dicho tema. La justificación que algunos profesores dan es que, por ser la biotecnología el último tema del programa, era imposible llegar a abordarlo; ya que los contenidos eran muy extensos, de tal forma que si nadie alcanzaba a ver el tema era mejor eliminarlo. Otros profesores afirman que, la mayoría de ellos no manejaba el tema, ya que no habían sido formados dentro de él, por lo que se les dificultaba, y aunque les parecía importante para la cultura básica del bachiller, nadie promovió (o al menos no lo realizó con la fuerza suficiente) encontrar otra forma de resolver o adecuar los contenidos. Es importante mencionar que no existe una versión oficial o cuando menos por escrito sobre la justificación de la eliminación del tema.

Tomando en cuenta las pretensiones del Plan de estudios del CCH, y en particular las del Área de Ciencias Experimentales, nos percatamos que el tema de biotecnología puede apoyar de manera directa a la realización de las mismas. Por ello consideramos que es importante que dicho tema forme parte de los programas de estudio y por ende de la cultura básica del bachiller, pues todo lo concerniente a los procesos implicados en la biotecnología tiene cada vez mayor presencia en la sociedad actual y se hace necesario que los ciudadanos dispongan de una formación adecuada, para que sean capaces de elaborar y emitir opiniones propias sobre este particular.

La biotecnología constituye un ejemplo ideal de conexión entre cuestiones científicas, desarrollo tecnológico y contexto social de la ciencia por varias razones: en primer lugar no cabe duda de que las modificaciones que puede introducir y de hecho está introduciendo en nuestras vidas y en el medio ambiente interesan, no sólo al alumnado sino al público en general; en segundo lugar ilustran claramente la relación entre la llamada ciencia pura y las aplicaciones tecnológicas; en tercer lugar pone de manifiesto la conexión existente en la actualidad entre los intereses comerciales y políticos y la investigación científica y tecnológica, ya que una de las dimensiones de la controversia sobre biotecnología tiene que ver con aspectos como la pretensión de patentar genes humanos o el control de organismos transgénicos por parte de poderosas multinacionales (Muñoz, 2004).

El desarrollo sostenible tiene que ser tratado desde diversos puntos de vista, pero una estrategia muy básica es la educación. La mayor parte de la mala aceptación de la biotecnología se origina a causa de la ignorancia. Es necesario que las personas se hagan conscientes de este tema como de muchos otros, de su importancia en la vida actual y futura. Todas las formas de educación: formal, no formal e informal deben ser utilizadas porque se deben llegar a todos los sectores.

La educación formal puede asegurar que todos los matriculados en la escuela reciban los conocimientos, habilidades y la motivación para apropiarse del tema. Este tipo de educación tiene un gran potencial debido a las muchas horas de contacto que están disponibles para la formación del estudiante. Aquellos que liderarán las naciones en el futuro deben estar bien preparados.

Sin embargo, los líderes y adultos de hoy no deben ser descuidados. Ellos pueden no tener una educación formal en este campo que es relativamente nuevo. El entrenamiento corto, no formal, es apropiado por las limitaciones de tiempo de estas personas ocupadas. Los seminarios y talleres pueden ser muy centrados en su contenido y perspectiva. Pueden ser adaptados a grupos específicos y pueden tener una aplicación inmediata.

Los medios de comunicación tienen el potencial para llegar a grandes cantidades de personas. El desafío es mayor por cuanto la audiencia es amorfa, anónima. Es difícil determinar quién está recibiendo los mensajes sobre biotecnología. La comunicación es en un solo sentido. La reacción es rara, y mucho menor el cambio de ideas. Es más, hay mucha competencia con los mensajes comerciales y otros. Las presentaciones deben ganar la atención de un público que preferiría no escuchar malas noticias o noticias amarillistas.

No obstante, la única educación que reciben los estudiantes del CCH en este tema, es en Biología I, con el tema “La Ingeniería genética y sus aplicaciones”. A este tema se le asignan alrededor de 12 horas en el programa y es el último del programa de Biología I, por lo que muchos profesores dicen que no les alcanza el tiempo para verlo con los alumnos; algunos lo cubren con un trabajo

documental y otros simplemente no lo ven; de ahí la insistencia de que este tema sea nuevamente incorporado a los programas de estudio del Colegio, ya que lo que nos presentan actualmente resulta insuficiente.

Por otro lado, la biotecnología es un campo en pleno desarrollo, un campo que no existía o estaba iniciándose cuando buena parte del profesorado de ciencias finalizó su formación académica. Es por ello que los profesores requieren de preparación en este tema, a través de la educación. Presentar a los profesores el CPC de la biotecnología, es un buen sistema para capacitarlos en él.

### *El conocimiento pedagógico de la biotecnología representado a través del perfil conceptual de Mortimer*

En la investigación de Velázquez (2007), se trató el desarrollo conceptual en términos de construcción y discriminación de significados y se olvidó de reemplazar concepciones, una visión que nos recuerda el enfoque conductista de instalar y extinguir conductas en el repertorio del aprendiz. El estudio está dirigido hacia el profesor, se trabajó con dos académicos del nivel medio superior y dos del nivel superior. En adelante nos referiremos como “las profesoras 1, 2, 3 y 4”, por confidencialidad, para no dar información certera acerca de su sexo. La opinión de estas profesoras sirvió para conocer de forma general las ideas que, ellas consideran, deben ser tomadas en cuenta para la enseñanza de la biotecnología en el bachillerato y éstas se tomaron como base para la construcción de su CPC. De esta manera, las ideas centrales de este estudio fueron obtenidas por consenso como las siguientes:

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 los docentes construyeron sus CoRes (representación del contenido) una de las herramientas para capturar el CPC descritas en el capítulo anterior. 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. Las frases que ellos escribieron en los CoRe se clasificaron conforme a los perfiles conceptuales de Mortimer (1995).

Se empleó 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. También se tomó en cuenta una de las más importantes doctrinas acerca de las categorías, la de Kant, que se refiere al *a priori*, en el que se hace referencia a los objetos de la intuición en general, considerándolos como funciones lógicas. El sistema kantiano de las categorías comprende las categorías de *cantidad* (Unidad, Pluralidad, Totalidad); las de la *cualidad* (Realidad, Negación, Limitación); las de la *relación*, Inherencia y subsistencia (*Substantia et accidens*); las de causalidad y dependencia (Causa y efecto), la de comunidad (acción recíproca entre el agente y el paciente); de la *modalidad* (Probabilidad-imposibilidad, existencia-no existencia, Necesidad-contingencia)(Kant, 1996, 70).

Para Kant, las categorías son los conceptos puros del entendimiento que se refieren *a priori* a los objetos. Como las categorías pueden referirse a objetos se entiende a éstos como aquello en cuyo concepto queda reunido lo múltiple de una intuición dada, no tomado de ninguna experiencia.

Kant se refiere a las representaciones sintéticas y dice que para que éstas puedan coincidir con sus objetos, necesariamente deben salir al encuentro, es decir, referirse unas a otras, para que, a su vez, la representación haga posible al objeto, porque si sucede al contrario, la relación es empírica. Para que sea posible el conocimiento de un objeto, según Kant, se requiere de la intuición, por la cual es dado el objeto, pero sólo como fenómeno. Kant define a las categorías como "conceptos de un objeto en general, por medio de los cuales la intuición de éste es considerada como *determinada* con respecto a una de las *funciones lógicas* en los juicios. Así la función del juicio categórico es la de la relación del sujeto con el predicado, por ejemplo, todos los cuerpos son divisibles (Kant, 1996, 79).

Otras de las doctrinas importantes acerca de las categorías son la de Hegel y la de Marx. Hegel dice que las categorías son las formas racionales que constituyen el espíritu humano en su desarrollo y que, por tal motivo, pueden llamarse el sistema de la razón; Marx, por su parte, señala que las categorías son la expresión teórica del desarrollo histórico de las relaciones de producción, correspondientes a una determinada fase. Las categorías son las herramientas mediante las cuales un objeto es pensado. Las categorías se utilizan por los sujetos teorizantes como herramientas para apropiarse de lo real y para explicar lo que ese objeto real es.

"Como herramienta de pensamiento las categorías adquieren un uso epistemológico y como conceptos, una función ontologizadora. En el primero de los casos son asumidas como lógica de descubrimiento; en el segundo, como lógica de constatación de un discurso sustantivo ante un entramado teórico preestablecido"(Covarruvias, 1995, 135).

Las categorías como herramientas de pensamiento de carácter epistemológico sólo pueden ser construidas por las conciencias teorizantes, pues es lo que diferencia al modo teórico de otros modos de apropiación de lo real.

Tomando como base lo anterior, se manejaron cuatro zonas del perfil conceptual que abarcan: un enfoque meramente perceptivo o intuitivo, uno contextual, uno empírico y uno totalmente racionalista. La tabla 2.3 define cada una de estas zonas.

Tabla 2.3. Zonas utilizadas por Velázquez para analizar el perfil conceptual del estilo de enseñanza de profesores sobre el concepto de biotecnología

Zona	Definición
<b><i>Perceptiva/intuitiva</i></b>	En esta zona se sitúan las ideas que los profesores emiten de forma espontánea, que corresponden a impresiones inmediatas, a 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”
<b><i>Contextual</i></b>	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”.
<b><i>Empírica</i></b>	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”.
<b><i>Racionalista</i></b>	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”.

## Perfil conceptual

En la figura 2.3 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 las cuatro profesoras 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 con 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 26% al 38% aproximadamente.

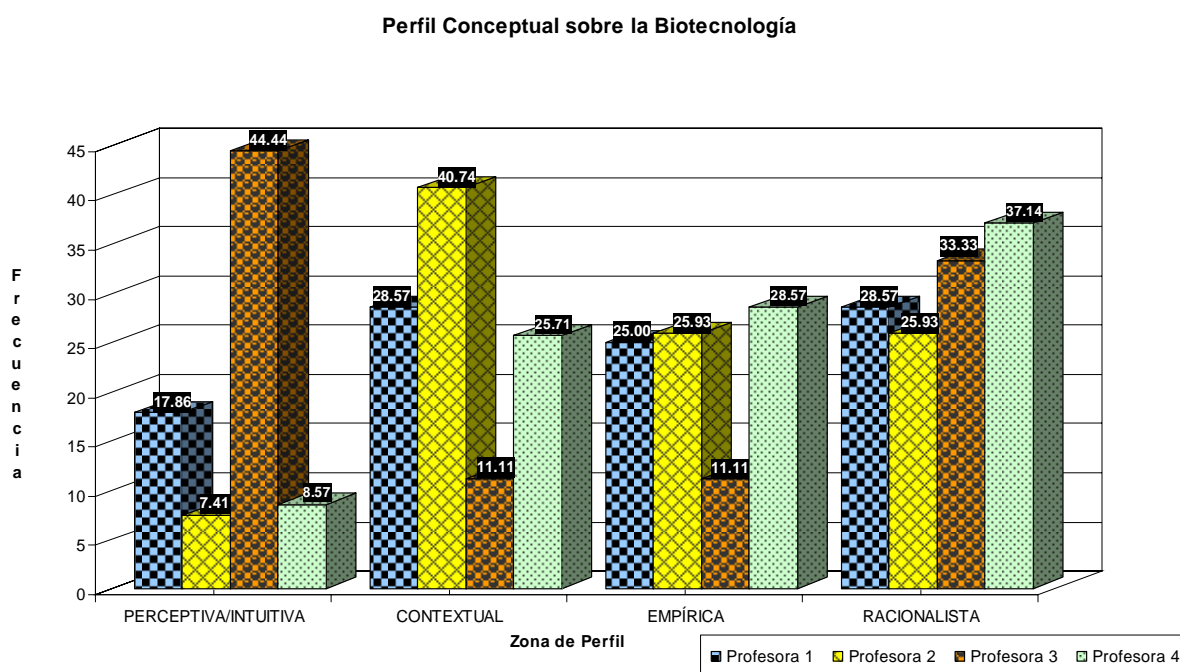


Figura 2.3

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. Por ejemplo, la profesora 2 tiene una fuerte influencia de la zona contextual, mientras que la profesora 3 la tiene de la zona perceptiva/intuitiva. Se trata por lo tanto de diferentes formas de dar la clase. 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.

Cabe mencionar que la calidad académica de las cuatro profesoras es inobjetable y que todas ellas son consideradas como excelentes (como se planteó en Velázquez, 2007). Sin embargo, se observó diferencia en los perfiles conceptuales de las cuatro, 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.

## *Consideraciones finales*

Como se ha mencionado en el desarrollo de este trabajo, capturar el CPC de una profesora 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, Mulhall y Berry (2004), permitió capturar de forma satisfactoria el CPC de cuatro profesoras para el tema de la biotecnología. A través de esta metodología se lograron conocer las ideas centrales que las profesoras consideran importantes para la enseñanza de este tema en el bachillerato, pero no solamente las ideas de forma aislada, sino también sabemos por qué para ellas 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 sus 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 conciente 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 de 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 concientes 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 sea 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 una forma sea mejor que la 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.

Sin embargo, los resultados y conclusiones que se formularon en esta investigación, nos arrastran inevitablemente a varias preguntas, entre las que se encuentran las siguientes: ¿Cómo conducen su práctica en el aula, estas profesoras? ¿Qué tanto de lo que nos platicaron en la CoRe lo trasladan a sus clases? ¿De qué forma se hace presente en el salón de clases su perfil conceptual? Si todas utilizan las cuatro zonas del perfil conceptual, ¿cómo se manifiesta a nivel medio superior y a nivel superior? ¿Qué diferencias existen? Esperamos dar respuesta a estas preguntas en los siguientes capítulos.

## CAPÍTULO 3. Metodología

### *Introducción*

La investigación educativa es un campo muy amplio, delimitado por varios subcampos en donde se enfrentan distintas disciplinas y variadas posturas teórico metodológicas (cuantitativas o cualitativas; experimentales o comprensivas; positivistas o constructivistas) que tienen como tarea analizar, explicar o interpretar problemáticas específicas. Esta diversidad de perspectivas y disciplinas no representa una anomalía, menos aún una crisis de la investigación educativa, sino su estado normal (Piña, 1997).

Nos dice Pablo Latapí, en la Conferencia de clausura del congreso del COMIE (2007): “La educación, más que una ciencia, es como un punto de encuentro de muy diversas disciplinas: sociología, economía, estadística, psicología, antropología social, administración, historia, ingeniería de sistemas y otras”. Otra muestra acerca de lo complejo del término “educación” nos la da la siguiente cita de Francisco Giner de los Ríos (1905; nacido en 1839, muerto en 1915), “la educación es una acción universal, difusa y continua de la sociedad (y aun en medio de todo), dentro de la cual la acción del educador desempeña la función reflexiva, definida, discreta, propia del arte en los demás órdenes de la vida, de excitar la reacción personal de cada individuo y, aun de cada grupo social para su propia formación y cultivo; todo ello mediante el educando mismo y de lo que él de suyo pone para esta obra, ya lo ponga espontáneamente, ya en forma de una colaboración también intencional.”

A fines de la década de los años setenta del siglo pasado, el panorama de la investigación educativa incluyó nuevos enfoques, lo que llevó a la búsqueda de aquellas posturas teóricas que posibilitasen una perspectiva metodológica distinta, a fin de poder estudiar la escuela por dentro, con toda la complejidad que en ella se expresa. Se trató, ante todo, de destacar la vida que despliegan los actores en su ambiente escolar, en las características concretas (y no en las supuestas) que aparecen dentro de cada ámbito escolar. Para realizar esta tarea ha sido fundamental dejar de lado los grandes conceptos que dan cuenta de lo estructural, para buscar autores que han abordado la vida cotidiana desde una perspectiva teórica, como aquellos que han elaborado una reflexión epistemológica para la aprehensión de la vida cotidiana en espacios específicos, sin ignorar la lectura de antropólogos que iniciaron con la investigación etnográfica. Para el final de la década de los noventa, algunas ideas muy difundidas que se emplean para caracterizar a la investigación educativa desde la perspectiva etnográfica señalan que se trata de una opción metodológica (no sólo una técnica), que para la interpretación de una problemática de la vida cotidiana escolar apela a diferentes disciplinas, y primordialmente, a sus distintos enfoques teóricos. Esto parece indicar que hay estudios etnográficos que se apoyan en la fenomenología de Schutz; otros más en el interaccionismo simbólico de Goffman, como algunos más en la posición marxista de Heller, o en la sociología comprensiva de Weber, hasta los que gravitan en la perspectiva antropológica de Geertz (Piña, 1997).

Sin embargo, si se analizan algunas referencias bibliográficas sobre trabajos etnográficos (Inclán, 1992), o algún libro o revista que reúna varias investigaciones de este tipo (Calvo, 1992; Rueda,

1994) se observará que la variedad de temáticas y de tratamientos teóricos metodológicos hacen que la investigación etnográfica se muestre rebelde de ser definida.

Según María Bertely y Martha Corenstein (1994) hay investigaciones etnográficas cuyos productos son descriptivos y anecdóticos, como otros que son interpretativos y hermenéuticos; por eso hay una gran variedad de metodologías. Lo común parece ser la estrategia seguida en la investigación (trabajos de campo con una estancia prolongada para construir preguntas con sus posibles respuestas, por medio de registros y entrevistas), pero aparecen diferencias con respecto a la teoría, los conceptos, los supuestos que guían a la indagación empírica y a la interpretación o texto final que presentan. Sin embargo, esto complica la situación. Si por investigación etnográfica se entiende la obtención de información mediante el trabajo de campo, con el uso de entrevistas y el registro de observación, entonces puede decirse que abundan las investigaciones etnográficas. Por el contrario, si se busca además interpretar la construcción de la vida cotidiana de los actores, esto es, aprehender el sentido de las acciones sociales y todo lo que implica una descripción densa, entonces algunas investigaciones no logran esto, no obstante que se autodenominen etnográficas.

En el caso concreto de esta investigación, se realizará un trabajo de campo, que contemple la observación del investigador a profesoras, dentro del aula, apoyándose con la filmación de algunas clases determinadas; el propósito es indagar cómo construye sus clases un docente en particular, es decir, cómo iluminan las decisiones que sostienen las acciones del profesor, previstas para ayudar a los principiantes a entender mejor el contenido. Estas acciones nos permitirán armar los Repertorios de experiencia Profesional y Pedagógica (PaP-eRs) de dos profesoras, una del nivel medio superior y otra del superior para el tema de biotecnología. Como se aclaró en el capítulo 1, 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 del CoRe es crucial para 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.

Loughran, Berry y Mulhall (2006, P. 25) llaman a un trabajo de este tipo como “Folio de Recursos” (Resource Folio), ya que el conocimiento de un profesor sobre la docencia de un campo determinado contiene su CoRe y los PaP-eRs asociados, “los que juntos crean representaciones complementarias del CPC de profesores exitosos acerca de la enseñanza de un concepto particular a un conjunto particular de estudiantes de una manera particular, por razones pedagógicas profundas.”

Una vez aclarado lo anterior y con la intención de no parecer pretensiosos a los ojos de algunos autores, declaramos que en este trabajo se obtendrá información por medio de las técnicas que comúnmente utiliza la etnografía, dejamos a la consideración del lector, la clasificación de este trabajo como estudio etnográfico. Sin embargo, quisieramos acentuar que el libro de Martyn Hammersley y Paul Atkinson. (1995) *Ethnography: Principles in Practice*. Publicado en New York por Routledge es bastante popular sobre los principios de la etnografía, en esta segunda edición con un análisis que toca el difícil balance entre el rigor intelectual y la sensibilidad

intuitiva del “arte” y la “artesanía” de observar vidas humanas. Al comenzar con la frase “¿qué es la etnografía?” los autores capturan la complejidad de la investigación etnográfica, discutiendo los aspectos centrales del proceso: diseño, acceso, relaciones del campo, métodos de recolección de datos y análisis, escritura, y aspectos éticos. Por otra parte Sara Lawrence-Lightfoot y Jessica Hoffman Davis (1997) ofrecen un retrato escrito sobre cómo acceder a la indagación y la documentación en la etnografía que combina una “descripción sistemática y empírica con una expresión estética. El texto es construido como un “paso de dos” (pas de deux) entre una investigadora educativa (Lawrence-Lightfoot) y un educador artesano (Hoffman- Davis), modelando de esta manera el carácter multidimensional de una indagación social efectiva.

### *¿Qué es la investigación etnográfica?*

Inclán (1992) señala que el enfoque etnográfico en educación tiene sus antecedentes en la antropología y en la sociología. Considera que en México se han presentado dos variantes de investigación educativa: la antropológica y la etnográfica. La peculiaridad de la etnografía educativa es que busca indagar en los significados de las situaciones cotidianas que se presentan en las escuelas. Por tal motivo hace énfasis en el estudio de lo micro, en el análisis cualitativo y en la recuperación del sujeto. Para acercarse a la realidad empírica, los investigadores delimitan un universo de estudio, realizan observaciones por periodos prolongados que describen completa y detalladamente, y efectúan entrevistas estructuradas y no estructuradas. Estas técnicas de investigación, considera Inclán, se emplean simultáneamente, pero la observación directa es el medio privilegiado.

En el planteamiento de Inclán, la etnografía se entiende como una metodología de trabajo de campo, que emplea distintas técnicas para la obtención de información empírica y que, a lo largo de la investigación, construye sus categorías analíticas paulatinamente. Sin embargo en sus conclusiones, agrega que el trabajo teórico, lo que podría entenderse como el aspecto conceptual, se hace indispensable.

Rockwell (1991; 1994) considera que en la investigación etnográfica el trabajo de campo es indispensable para que el investigador mantenga una relación prolongada con los actores que participan en un espacio social. Durante su estancia, el investigador se adentra y se familiariza con las prácticas sociales que ahí se recrean, a la par que inicia su análisis sobre los acontecimientos relevantes para su trabajo, esto es, inicia la construcción de categorías analíticas. El trabajo de campo no está desfasado del análisis de la información y de su interpretación. De acuerdo con esto, la etnografía no es una simple técnica, es una estrategia metodológica que permite obtener información empírica en el espacio en donde se desenvuelven los acontecimientos estudiados, “documentar lo no documentado”, permitiendo así una elaboración cualitativa del contexto escolar estudiado; sus resultados se exponen en un texto que describe densamente la especificidad del lugar.

Quedan dos interrogantes por responder: ¿qué es una relación prolongada en la comunidad de estudio? Y ¿qué significa descripción densa? Respecto a la relación prolongada, ésta se entiende como una permanencia relativamente larga del investigador en la comunidad de estudio. Cada

investigador define el lapso que permanecerá incorporado en cada institución escolar, dependiendo de la complejidad del objeto, de su disponibilidad de tiempo, de sus recursos económicos y de la hospitalidad de los actores involucrados (directivos, inspectores, profesores, estudiantes). Lo fundamental para el etnógrafo es tener claro que, independientemente del tiempo de estancia, él no debe participar, ni juzgar, ni intervenir en los problemas, conflictos y decisiones de las personas involucradas, porque se trata de un observador a quien le interesa comprender la perspectiva que se despliega en ese escenario social.

Con referencia a la segunda condición, la cosa es más complicada porque la descripción densa es un trabajo de investigación especializado. La descripción densa (Geertz, 1991) es la interpretación de la trama de significados que se construyen en un espacio social específico, esto es, la interpretación del sentido. La descripción ligera por el contrario, se queda principalmente en la exposición de anécdotas. En consecuencia no todo trabajo que se diga etnográfico confecciona una descripción densa. Rueda (1997: 41) habla de la elaboración de descripciones detalladas y profundas de las actividades diarias de los sujetos estudiados en correspondencia a lo que otros autores llaman descripción densa.

Paradise (1994) considera la expansión y la popularización de la etnografía ha llevado a una diversidad de enfoques en el uso del término. Para algunos investigadores, la etnografía es una metodología con “m minúscula”, que consiste en una serie de técnicas para obtener, analizar y exponer datos; su objetivo, la descripción de un grupo, de sus tradiciones y de sus prácticas más significativas. Lo limitado de este enfoque, escribe Paradise, es que el etnocentrismo del investigador aparece a lo largo de la investigación, bajo la máscara del sentido común. El investigador forma parte de un ambiente social específico, tiene, en consecuencia, una particular visión del mundo; por lo tanto introduce en sus técnicas de recolección de información los indicadores que supone adecuados para emprender un trabajo de investigación. De esta manera sus preconcepciones orientan el ángulo para la recolección y la mirada para el posterior análisis del material empírico. No es causal que este tipo de investigadores estudien lo que para su cultura resulta raro, curioso o exótico. La simple recolección y análisis de datos representa una posición teórica y cultural implícita.

Por el contrario y siguiendo a Paradise, la etnografía como Metodología con “M mayúscula”, no se limita a utilizar las técnicas tradicionalmente empleadas por la antropología para hacer descripciones sobre los escenarios socioculturales extraños para el antropólogo, sino que busca el significado de las acciones de los actores involucrados. En otras palabras, no son las costumbres y las tradiciones como acontecimientos extravagantes los que le interesan al investigador, sino el sentido que éstas tienen para los actores involucrados en esas prácticas; de igual manera, no es una descripción simple sino una descripción densa la que posibilita aprehender el sentido de lo que ocurre. Esta autora agrega que la etnografía educativa no se vincula con ninguna teoría o teorías especiales, porque lo más trascendente metodológicamente es la construcción del conocimiento a partir de la vivencia de los actores y no desde un concepto consagrado, dentro de una teoría o disciplina. Por eso algunos investigadores escogen la etnografía precisamente por esa perspectiva holística e interpretativa que orienta al trabajo de campo y a la clase de descripción, que resulta, sin tener que aferrarse a una teoría o procedimiento analítico en particular (Paradise, 1994: 74).

Como vemos, el panorama conceptual de esta perspectiva es bastante complejo. No existe una sola caracterización de la investigación etnográfica, sino variantes de ésta. Todas comparten la realización de trabajo de campo y el empleo de instrumentos para obtener información de tipo cualitativo, pero sus diferencias dependen del texto que elaboran: descriptivas, descripción densa o descripción analítica. También se presenta el caso de investigaciones cualitativas que no se asumen como etnográficas, lo que demuestra que el panorama es aún más amplio.

Una constante que se expone en todos los autores es la importancia de la interpretación. En otras palabras, apuntan que no basta con describir lo que se observa sino en interpretar el significado simbólico de las acciones construidas en un grupo, acciones que tienen una carga cultural porque forman parte de los significados venerados por sus actores. El significado carece de sentido explícito para quien vive inmerso en ese ambiente, porque se trata de lo familiar. De igual forma para el investigador que no logra eliminar sus prejuicios y todo su sentido común es difícil, incluso imposible, aprehender el significado de las acciones de aquellos a quienes investiga. Las manifestaciones sociales no se expresan en sí mismas sino que son interpretadas, de manera similar a como se interpreta el mensaje escrito en una lengua que no se conoce.

## ¿Qué es la etnografía?

La etnografía desde una perspectiva clásica es “el estudio descriptivo y clasificatorio de las civilizaciones (costumbres, creencias, prácticas religiosas, instituciones, estructuras políticas y económicas, técnicas, artes, etc.), en particular en las arcaicas, lo que supone trabajo y observación “sobre el terreno” (Morfoux, 1985: 116). Si partimos de esta definición, nos encontramos con una mirada objetivante de la etnografía, pero por demás ilustrativa de la evolución de este concepto, una visión clásica que tiene sus raíces la Europa del siglo XIX, más específicamente en Inglaterra y Francia; como lo expresa Galindo (1998: 349): África y Asia se convierten en los terrenos de exploración y descripción preferidos, así como cualquier forma socio-cultural que aparezca como salvaje o no moderna. En ese momento (finales el siglo XIX, y primera mitad del siglo XX), Europa trata de rescatar sus raíces en la vida contemporánea de los otros, o sólo catalogar en formas museográficas aspectos extraños y pintorescos.

De esta definición obtenemos varios elementos: la objetividad de la mirada, un observador *acausal* (que no afecta, ni es afectado), el trabajo de campo en el aquí y ahora. La objetividad de la mirada, en la etnografía así concebida, parte de la observación hecha por un sujeto ideal. Pues, desde una perspectiva clásica, es un sujeto que observa un objeto en una supuesta dicotomía que no existía y que nos empeñábamos en creer. Pero la idealidad de esta observación se ve interrumpida cuando podemos aceptar que las configuraciones del investigador como sujeto, nublan su descripción de aquello que ve, uno que otro prejuicio se evade, su intento de aprehender lo observado está pintado en una escala de grises. De ahí la importancia de su formación. Galindo nos dice: (1998: 350).

La etnografía depende menos de instrumentos de registro y medición que otras formas técnicas de investigación, aquí el investigador está en el centro, de su formación depende todo, la diferencia entre novato y experto es enorme y definitiva. El oficio depende del observador, ahí su enorme riqueza y su limitación. El etnógrafo requiere de tiempo para su formación, y sólo mejorará



técnicamente con los años, con la experiencia reflexiva de aplicar la mirada y el sentido una y otra vez en el ir y venir de la vivencia de percepción consciente, atenta y crítica.

El indagador, por más que quiera no es ajeno al contexto que observa, y éste no le perdona su presencia, percibe los efectos de su observación y se lo hace saber; existe entonces, una dialéctica, una mutua afectación recíproca de la interioridad y exterioridad en el paso del “uno” al “nosotros”, en las configuraciones que hacemos de los otros a partir de la imagen que nos regresa de ellos.

Otro elemento de la definición anteriormente citada, es que dicha observación se realiza sobre “el terreno”. Esta característica es fundamental en la etnografía pues se trata de una observación fáctica de la cual el investigador es testigo. Pero también es testigo no sólo de lo que ve sino de lo que escucha, de los discursos implícitos, de lo que hay de latente en lo manifiesto, de las dinámicas subjetivas del discurso de los otros, de sus testimonios y sus actos. Así el oficio de la mirada y el sentido, se convierte también en un oficio de escucha desprejuiciada que va del sentido común y la opinión, a la escucha y la intuición analizada. Mirar y escuchar son ahora las posibilidades de un indagador analítico (diremos “mirada y escucha”).

El oficio del etnógrafo comienza muchas veces en la mirada dirigida hacia el otro, este ejercicio se realiza en silencio, permitiendo que la percepción registre la escena (configuración de un momento específico) y el escenario (contexto) del sujeto-objeto de la investigación. El etnógrafo debe reconocer la situación de observación, pero necesita ir más allá para captar desde la escucha y la mirada el *discurso* del otro. El investigador debe agudizar la concentración en su mundo interior para escuchar y observar, entonces, realizar un viaje al mundo del otro y de este modo comprenderlo.

No se trata sólo de una mirada silenciosa y cautiva, pues en este contexto comienza a ser esencial todo lo que el sujeto percibe y escucha. Así, la mirada, la creación de imágenes, de mundos posibles se complementan en la armoniosa conjunción de la palabra (conversar). No sólo se ve, también se *escucha*, y aquello que vemos y describimos, pasa por el discurso que el otro ha construido a partir de la imagen que ha logrado configurar en nosotros. Los sujetos silenciosos hablan, expresan sus sentires, describen sus imágenes y las configuraciones de aquello que ven (la entrevista, historias de vida), actualizan sus vivencias en un acto de palabra esperando ser escuchados. Así tenemos dos direcciones, una dirección que es la mirada a la exterioridad desde la configuración de nuestra interioridad; la otra, una mirada hacia la exterioridad desde la interioridad de otros (entrevista, grupos de discusión, talleres).

Pero, no sólo se describe, se hacen categorías, se buscan explicaciones, hacemos conjeturas de aquello que vemos y observamos. Se espera de nosotros que encontremos generalidades, que modelemos teorías sobre aquello que percibimos. En otras palabras, que analicemos. No sin razón, la etapa posterior a la descripción es el análisis y la interpretación.

Aprender a escucharse, a observarse y aprender del otro, es pues un oficio del investigador el cual ha de transmitir. Permitirse saber cuál es su posición, qué modifica en el entorno, en el discurso, en el proceso de los otros con su presencia e incluso saber qué comparte y difiere de esos otros. Por medio de una actitud investigadora se pretende obtener un saber para la formalización de la investigación; pero además, se privilegia por parte del investigador que con su hacer le posibilite

al sujeto-objeto de la investigación el poder saber también de su proceso investigativo por medio de su propio relato. Este saber puede tener como efectos la modificación de su posición y la articulación simbólica de sus posibles problemáticas.

Podemos decir entonces, que la etnografía tiene dos posibles dimensiones: una orientada a la metodología (orientación metodológica) y otra al método (orientación analítica). En la primera, la etnografía retomando a Galindo (1997, 184-185) es “un conjunto de técnicas de registro de información sobre la vida social. Este conjunto de técnicas se enlazan en un tronco teórico-descriptivo que va ordenando la composición del mundo social en categorías. La etnografía es una guía del trabajo de campo, de registro y análisis de la información sobre la organización de la composición social”. Es un proceso recursivo, no lineal y multicausal, pues a la vez que se observa y explora se construyen categorías de análisis que llevan a conjeturas parciales sometidas posteriormente a un nuevo análisis a partir de nuevas observaciones (acción-reflexión-acción).

Perspectiva de primer orden. Desde otra perspectiva, como método, la etnografía implica la dimensión del sujeto como un observador. En este sentido lo que se pretende realizar desde una investigación etnográfica (de orientación analítica) es la transmisión de una actitud investigativa por parte del investigador hacia el sujeto-objeto de la misma.

De esta forma, cuando se dice que es un proceso de investigación de segundo orden se quiere hacer énfasis en que el sujeto-objeto de la investigación no es un sujeto informante; como sí ocurría en la etnografía “ortodoxa”, o de primer orden. En los nuevos modelos etnográficos son procesos estructurantes que tienen dos finalidades: una de ellas es obtener la información necesaria del mundo social del sujeto investigado, y la otra es poner dicha información como objeto de análisis para el sujeto-objeto de la investigación. Esto le permite a los sujetos participantes en la investigación crear estrategias de solución a las problemáticas de su contexto (acción participación).

## *Reflexiones metodológicas*

### *a) Construcción del objeto de investigación.*

Para el caso del trabajo etnográfico se reconoce el peso de las preconcepciones personales y teóricas, así como la presencia de algunas preguntas generales iniciales, pero se intenta controlar y explicitar los supuestos, reconceptualizándolos a partir de las situaciones estudiadas y los hallazgos construidos a lo largo del proceso de investigación. Aun cuando no es posible hablar de un trabajo puramente "inductivo", la vigilancia en torno a nuestros puntos de vista hace posible la recuperación de las categorías sociales de los sujetos estudiados y el establecimiento de una síntesis comprensiva que, a final de cuentas, se constituye en un constructo analítico.

El planteamiento hipotético-deductivo supone, a la inversa y como su nombre lo indica, la definición de una hipótesis inicial y el seguimiento de pasos graduales en la delimitación de un marco teórico preestablecido: el desarrollo de un diseño, la comprobación o negación de las hipótesis planteadas, y el planteamiento de tesis o conclusiones en torno al campo problemático elegido. Mostrar estas diferencias no supone que neguemos la riqueza formativa que implica el

desarrollo de investigaciones de este corte para quienes se inician en la investigación o pretenden profundizar en la operación de conceptos previamente construidos. Al mostrar los contrastes intentamos, más bien, mostrar la relevancia de los estudios interpretativos, cualitativos y/o etnográficos para el análisis de situaciones escolares donde la interpretación del mundo significativo de los actores es de fundamental importancia.

En etnografía, el no plantear desde un principio hipótesis emanadas directamente de un marco teórico no impide el establecimiento de algunas preguntas tentativas cuyas respuestas van adquiriendo sentido y son modificadas a partir del análisis de la información recopilada. Este análisis no se funda en "recetas" rígidas y estereotipadas, pero sí implica un alto grado de sistematicidad y cuidado. Los pasos y procesos que han de ser considerados como parte de este trabajo varían de un etnógrafo a otro y, sobre todo, del campo problemático, de las funciones institucionales de investigador, y de las condiciones materiales en que este trabajo se desarrolla.

#### *b) Niveles de Análisis.*

A continuación se desglosan las tareas específicas involucradas en cada uno de los niveles de análisis, conforme estima María Bertely (1994). En el primer nivel se procede a:

1. Identificar un campo problemático vinculado a la práctica docente cotidiana.
2. Establecer las dimensiones intervinientes y de interés (curricular, institucional, sociocultural, pedagógico-didáctica, histórica).
3. Elegir el espacio y los sujetos que se consideran más adecuados a los fines de la indagación.
4. Realizar registros de observación y entrevistas abiertas en y con los espacios y sujetos elegidos.
5. Desarrollar registros ampliados como la primera aproximación analítica al campo problemático.
6. Analizar formalmente la información subrayando, preguntando y conjeturando.
7. Construir las primeras categorías de análisis o categorías empíricas rudimentarias clasificando por "temas" los conjuntos de preguntas y conjeturas.
8. Realizar lecturas teóricas que apoyen la profundización y problematización del campo.

Entre éste y el segundo nivel de análisis se construye un "primer puente analítico" cuyo objeto es definir y replantear el campo problemático a partir de la elaboración de esquemas. Después de éstos, se depuran las dimensiones del problema y se afinan las preguntas iniciales, se denominan las unidades de análisis referidas a las categorías sociales identificadas a partir de la revisión de los registros, se da inicio a una incipiente triangulación teórica, y se establecen ciertas unidades de observación. Es importante, en este momento, construir mediaciones analíticas entre las dimensiones y las categorías de análisis; esto supone identificar su peso y relación.

En el segundo nivel de análisis se procede a:

1. Clasificar la información de acuerdo con las unidades de observación (Algunos autores conciben a los sujetos de la investigación etnográfica como informantes clave del fenómeno en estudio. Otros autores señalan además que los participantes cumplen una función activa: no sólo son dadores de información sino que inclusive forman parte del equipo de investigación. En una situación educativa los informantes de interés generalmente pueden ser los estudiantes. Pero es imposible observar detenidamente a cada uno de ellos. Es por ello que hay que puntualizar en qué condiciones serán sometidos

a observación. Por ejemplo, ¿se trabajará con los individuos de un sólo salón de clase, o de varios? Si son varias aulas, ¿se observarán simultáneamente? ¿Durante todo el día o sólo una parte de la clase?, ¿se observarán sólo mientras trabajan en el aula o también mientras realizan otro tipo de actividad fuera del aula? Preguntas como éstas podrán orientar la recolección de información del etnógrafo. Además de los estudiantes, el investigador etnográfico puede observar a otros integrantes como docentes, administrativos, personal de aseo, personal de vigilancia, quienes pueden suministrar información relevante dependiendo del objeto de estudio)

2. Analizar en profundidad cada bloque re-clasificándolo de acuerdo con las unidades de análisis y triangulando con los conceptos derivados de las lecturas realizadas.
3. Realizar una segunda etapa de trabajo de campo a partir de observaciones y/o entrevistas focalizadas.
4. Analizar la información empírica retroalimentando o modificando las clasificaciones analíticas iniciales.
5. Construir nuevos esquemas donde se establecen tanto los distintos niveles de abstracción de los conceptos utilizados, como las escalas de análisis.

Entre éste y el tercer nivel se construye un "segundo puente analítico" cuyo objetivo es definir con claridad, a través de esquemas, tanto el campo problemático, como los ejes, las categorías, los niveles, y las escalas de análisis.

El tercer nivel de análisis está íntimamente relacionado con la redacción de ensayos. Es a partir de ellos que se profundiza en los ejes y categorías de análisis integrando las categorías sociales de los participantes, los conceptos desarrollados por el investigador, y las nociones teóricas "presentadas". El producto de este trabajo es el informe final o el avance de investigación.

Este proceso sistemático se va modificando y recreando sobre la marcha y es lo que puede constituir parte de lo que se define como la construcción paulatina de un objeto de investigación. Una expresión básica de este proceso es el comprobar que los hallazgos derivados de la investigación dan cuenta de una realidad bastante distinta a lo que habíamos supuesto en un principio y, a la vez, mucho más rica de lo esperado.

### *c)) El investigador como sujeto y objeto de conocimiento.*

El ser sujeto y objeto de investigación no es privativo del trabajo etnográfico sino del campo de las ciencias sociales en general. El sujeto que investiga asume que su propia experiencia social puede ser tratada como un campo de análisis y reflexión, en pocas palabras, como un objeto de investigación. En ciencias sociales, quien investiga el comportamiento de otros se investiga a sí mismo simultáneamente. En apariencia, esto es menos evidente en el campo de las ciencias naturales donde los métodos descriptivos sugieren una separación entre el sujeto que conoce y el objeto por conocer.

El etnógrafo, más que concebirse como "mosca en la pared", debe tener presente este doble papel y establecer una vigilancia permanente en torno a sus prenociones y supuestos personales y teóricos. Tal actitud no implica la negación de los propios marcos significativos. Esto, considerando que la interpretación sintetiza, a final de cuentas, tanto el horizonte significativo del investigador como del sujeto investigado en una "fusión de horizontes" (Heckman, 1984). En este sentido, la puesta en práctica de la investigación suele modificar ambos horizontes construidos.

Para ello se requiere de una formación y experiencia en el campo de la investigación etnográfica donde, más que negarse la propia subjetividad, se hace de ella un elemento adicional a tomar en consideración en el proceso analítico.

Para el maestro de grupo, cuya práctica profesional se relaciona más con la enseñanza que con la investigación educativa, el discernimiento entre su papel como sujeto y objeto de investigación resulta particularmente problemático. Las exigencias y expectativas institucionales propias de su trabajo diario en las escuelas, su alto grado de involucramiento en el objeto de estudio, y el conjunto de concepciones y nociones de sentido común en torno a la definición de su quehacer cotidiano, no permiten la aplicación mecánica y espontánea del método etnográfico a su práctica profesional. Implementar investigaciones de este corte, por parte de los maestros, supone la apertura de espacios académicos donde puedan adquirir una formación metodológica y teórica apuntalada vía el diálogo permanente con investigadores experimentados.

Esta es una de las formas de propiciar en los maestros la sistematización y generación de hábitos reflexivos. Sin ello, el discernimiento entre el sujeto y objeto de investigación, y la posibilidad de superar el sentido común y lo aparente, difícilmente puede lograrse.

### *Niveles de generalización*

Se suele afirmar que, en tanto se focalizan situaciones, sujetos y procesos particulares – considerando que el etnógrafo está interesado en los significados específicos y locales-, este tipo de investigaciones no puede generalizar sus hallazgos y tiene que circunscribirse a estudios "en pequeño" que dan cuenta de anécdotas y descripciones desarticuladas de los procesos sociales, políticos y culturales más amplios.

La postura de Rockwell nos conduce a reconocer la incidencia de la "totalidad" "en" los casos estudiados. Estos, aun cuando no son reflejo o simple reproducción de dicha totalidad, se construyen en referencia a ella. Para Dell Hymes, el objeto de la etnografía es particularizar la generalidad más que generalizar la particularidad. Ambos autores, por lo tanto, reconocen la presencia de escalas sociales estructurales. Es en relación con la manera en que éstas se recrean en la cotidianidad de cada situación escolar, en cada salón de clases, con cada maestro y grupo de alumnos, que el objeto adquiere, en parte, sentido y significado. Por su parte, Clifford Geertz sostiene que la descripción etnográfica de situaciones particulares conduce a que conceptos generales, o megaconceptos sociales, como "ideología", "revolución", "ethos", y por supuesto "cultura", dejen de ser "meras elocuencias aisladas".

Sin embargo, para evitar el relativismo cultural a que conducen los rezagos positivistas y funcionalistas del trabajo etnográfico –lo cual supone en parte que las categorías, los usos y las prácticas sociales sean expresiones subjetivas de un discurso propio, legítimo y consciente, alejado de las determinaciones sociales–, es necesario desmontar los elementos políticos, ideológicos y alienantes presentes en las percepciones que los actores tienen en torno a su accionar social. Adentrarnos en el mundo de los protagonistas nos lleva, entonces, a plantear el problema de la hegemonía y contra-hegemonía, a considerar el modo en que se construyen tanto

el consenso como el disenso y, en pocas palabras, a enmarcar nuestras interpretaciones dentro de los espacios de confrontación política donde se ponen en juego los significados localmente contruidos (Comaroff, 1991). No en vano los investigadores interpretativos, cualitativos y/o etnográficos se constituyen en "portavoces" de los grupos subalternos, de los marginados sociales, de los indígenas, de las mujeres, de los niños, y de los maestros, entre otros.

Además de esto, la realización de un mayor número de investigaciones etnográficas puede llevarnos a identificar algunos de los problemas medulares que atañen al ámbito educativo. Estaríamos hablando entonces de una especie de etnología donde la comparación posibilitaría tanto la detección de recurrencias y excepciones, como la producción de argumentos sólidamente documentados que puedan reorientar algunas de las políticas educativas de nuestro país.

### *Descripción de la metodología seguida en esta investigación*

En el trabajo de Velázquez (2007), que antecede a esta investigación, se analizaron los CoRe -con relación a la enseñanza del bachillerato del concepto de la biotecnología- de cuatro profesoras, y posteriormente, estas académicas se categorizaron de acuerdo con el modelo del perfil conceptual (MPC) de Mortimer (1995). En la presente indagación tomamos la decisión de utilizar la segunda herramienta de Loughran, Mulhall y Berry (2004), los Repertorios de Experiencia Profesional y Pedagógica (PaP-eRs, por su acrónimo en inglés) para complementar el análisis del Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) de dos de las profesoras, las que aparentemente poseen los ReCos más parecidos de acuerdo con el análisis de Mortimer. Pensamos que de esa forma podríamos hacer el análisis completo que proponen Loughran et al., para comprender toda su metodología. Desafortunadamente una de las profesoras a quienes aplicamos los PaP-eRs sí daba clase en el bachillerato, pero la otra no, lo hace en la licenciatura. No obstante decidimos continuar con la investigación, pensando en que saldrían incongruencias entre la ReCo y el PaP-eR, como fue el caso de la profesora del nivel universitario. Adicionalmente, pudimos comparar el diferente (podríamos decir inconmensurable) tipo de PaP-eR de una y de otra profesora. La del nivel de bachillerato se quedó en las expresiones propias de la educación de contexto, con las experiencias de la vida diaria, mientras que la del nivel superior profundizó notablemente en el tema científico y tecnológico de la biotecnología, con una multitud de representaciones con esquemas y fórmulas complejas.

Se realizará con estas académicas un trabajo de campo, que contemple la observación del investigador dentro del aula, tratando de seguir todas las recomendaciones para una investigación etnográfica. Dado que el programa de estudios tanto del CCH como el de la Facultad de Química se plantean por semestres, lo que quiere decir que, sólo por ese espacio de tiempo se garantiza la estancia de los mismos alumnos y condiciones de trabajo en el aula, el lapso de permanencia del investigador será de un semestre para cada caso. Consideramos que este tiempo será suficiente para que el investigador se percate de la manera general en que se desarrollan las clases dentro del salón de clases. Sin embargo, la temática de los CoRe que se analizarán de estas profesoras, sólo corresponderán a algunas clases de su programa de estudios, es decir sólo algunas clases se relacionan con nuestro tema de estudio, por lo que éstas serán filmadas y posteriormente transcritas, con el propósito de indagar cómo construye sus clases cada docente en particular, es

decir, cómo iluminan las decisiones que sostienen las acciones del profesor, previstas para ayudar a los principiantes a entender mejor el contenido. Estas acciones nos permitirán informar los Repertorios de experiencia Profesional y Pedagógica (PaP-eRs) para cada profesora.

Cuadro 3.1. Descripción de las académicas que participaron en los PaP-eRs

Académica	Descripción
Profesora del nivel superior: Maricarmen	Doctora en biotecnología, es investigadora del Departamento de Alimentos y Biotecnología, de la Facultad de Química de la UNAM donde labora como profesora de carrera Asociada “C” de tiempo completo; 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.
Profesora del nivel medio superior: Refugio	Maestra en Ciencias: Enseñanza e historia de la biología. Es profesora de carrera Asociada “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.

Posteriormente, los PaP-eRs de cada profesora se analizaron e interpretaron por separado y en dos etapas. La primera etapa, contempló el estudio de cada PaP-eR para elaborar categorías de análisis como los puntos estratégicos que la docente utiliza para impartir el tema de biotecnología; se incluirá en esta primera etapa, la retroalimentación del PaP-eR a la profesora para que opine acerca del mismo y nos mencione qué es lo que piensa cuando imparte cada contenido; y la segunda, pretende indagar la forma en que se vincula el desarrollo de la clase con los perfiles conceptuales de Mortimer (1995) que la docente manifestó en su CoRe.

El análisis e interpretación de los PaP-eRs en la primera etapa consiste básicamente en construir una tabla con dos columnas, en la primera columna aparecerá el PaP-eR en sí, subrayando el punto específico que se analizará, y en la segunda, el análisis o interpretación que esté haciendo la profesora para ese punto en particular.

En la segunda etapa, también se analizaron e interpretarán, los mismos PaP-eRs, sólo que ahora se hará algo similar a lo reportado en Velázquez (2007) para establecer los perfiles conceptuales de Mortimer, utilizados en el salón de clase por la profesora, es decir, se definirán las mismas zonas del perfil conceptual (perceptiva/intuitiva, contextual, empírica y racionalista) definidas en Velázquez (2007) y se clasificará cada párrafo de los PaP-eRs según la zona que corresponda de acuerdo a la tabla 2.3.

Finalmente se hará una comparación de los PaP-eRs de los dos niveles estudiados, el superior y el medio superior.



## CAPÍTULO 4. Resultados

### *Introducción*

Esta investigación se inicio con un trabajo de campo que consistió en observar dentro del aula, a dos profesoras, una del nivel medio superior, de la asignatura de Biología I y otra del superior, de la asignatura de Biotecnología, por espacio de un semestre. Algunas clases de éstas académicas fueron filmadas, aquellas que se relacionaban específicamente con las ideas reportadas en Velázquez (2007), referentes al “Conocimiento Pedagógico del Contenido” (CPC) de profesores de diferentes niveles con relación al tema de la biotecnología. Para el caso de la profesora del nivel medio superior se filmaron tres clases y para el nivel superior cuatro, lo que hacen un total de siete clases, las que posteriormente fueron transcritas. El propósito de la observación, fue indagar cómo construye sus clases un docente en particular, es decir, cómo iluminan las decisiones que sostienen las acciones del profesor, previstas para ayudar a los principiantes a entender mejor el contenido. Estas acciones nos permiten reportar, los Repertorios de experiencia Profesional y Pedagógica (PaP-eRs) de ambas profesoras. 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, por ello se presentan los siete PaP-eRs, uno de ellos se encuentra en este capítulo, a manera de ejemplificar lo que llamamos PaP-eR y los otros seis se localizan en la parte de anexos. Esta colección de PaP-eRs unidos a diversas (pero probablemente traslapadas) áreas de la CoRe son cruciales para 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.

Posteriormente, los PaP-eRs de cada profesora se analizaron e interpretaron por separado y en dos etapas. La primera etapa, contempló el estudio de cada PaP-eR para elaborar categorías de análisis como los puntos estratégicos que la docente utiliza para impartir el tema de biotecnología. Cabe aclarar, que los PaP-eRs se presentan en una tabla de dos columnas, en la primera columna se encuentra el PaP-eR, en donde se subrayan los puntos que se consideraron para el análisis y categorización de los mismos. En la otra columna se presenta, precisamente, el análisis y categorización de los puntos subrayados en los PaP-eRs.

También se incluye en esta primera etapa, la retroalimentación de los dos primeros PaP-eRs de la profesora del nivel superior, es decir, se le dieron a conocer a la académica de este nivel los PaP-eRs que se obtuvieron de sus clases para que ella expresara sus comentarios, reflexiones y pensamientos. El propósito de esta actividad, es realizar un proceso de investigación etnográfica de segundo orden, en donde se hace énfasis que el sujeto-objeto de la investigación no es un sujeto informante, sino que se pone a su disposición la información como objeto de análisis para el sujeto-objeto de la investigación. Esto le permite a los sujetos participantes en la investigación crear estrategias de solución a las problemáticas de su contexto (acción participación). El primero de estos PaP-eRs forma parte de este capítulo, el segundo se encuentra en la parte de anexos.

En la segunda etapa se pretende indagar la forma en que se vincula el desarrollo de la clase con los perfiles conceptuales de Mortimer (1995) que la docente manifestó en su CoRe. Por lo que se procedió a clasificar cada una de las frases que las profesoras emitieron en sus PaP-eRs, en las diferentes zonas del perfil conceptual: perceptiva/intuitiva, contextual, empírica y racionalista de acuerdo a la tabla 2.3, algo similar a lo reportado en Velázquez (2007) para establecer los perfiles conceptuales de Mortimer, estos datos se presentan en el capítulo siguiente.

Finalmente, se realiza una comparación de los PaP-eRs de los dos niveles estudiados, el superior y el medio superior, al igual que en el punto anterior los datos se presentan en el capítulo siguiente.

## *Repertorios de experiencia Profesional y Pedagógica (PaP-eRs) del nivel medio superior*

Profesora:	Refugio
Nivel:	Bachillerato
Escuela:	Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM. Plantel Azcapotzalco
Asignatura:	Biología I
Tema	La ingeniería genética y sus aplicaciones
Ubicación:	Unidad 3, de Biología I del programa de estudios del CCH, tercer semestre
Grupo:	315
Horario:	Martes y jueves de 13:00 a 15:00 h, y viernes de 13:00 a 14:00 h
Observaciones:	El grupo cuenta aproximadamente con 10 alumnos que asisten regularmente, sin embargo son poco participativos. Probablemente estas características se deban a que es un grupo de recursamiento y el horario es intermedio entre los dos turnos, ya que asisten alumnos de ambos. En términos generales las clases se efectúan de manera similar a lo que podríamos llamar el estilo de la profesora (P). Ella utiliza en todas sus clase además del pizarrón, computadora y cañón. Así mismo el comportamiento de los alumnos no varía, se muestran como siempre, poco participativos, pero atentos y respetuosos.

### PaP-eR 1. Nivel medio superior

<i>Clase 1</i>	<i>Análisis</i>
<p>La clase inicia con el planteamiento de tres preguntas por parte de P:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>¿Es posible modificar los genes de un organismo?</u></li> <li>2. <u>¿Qué es un organismo transgénico? Dar ejemplos.</u></li> <li>3. <u>¿Existe algún mecanismo para modificar los genes? Explica</u></li> </ol> <p>Después de un tiempo prudente (aprox. 10 min) pide las respuestas a los alumnos. La respuesta del grupo a la primera pregunta fue “sí”, por lo que ella pregunta</p> <p>P: <u>¿cuál ha sido el medio por el que ustedes se han enterado de que efectivamente si se pueden modificar los genes de un organismo o de un ser vivo?</u></p> <p>Al no escuchar ninguna respuesta <u>ella los anima dándoles algunas opciones y preguntándoles uno a uno,</u></p>	<p>Realiza preguntas sobre los contenidos científicos y definiciones.</p> <p>Realiza preguntas</p> <p>Trato personalizado</p>

<p>entonces algunos estudiantes responden que en la televisión, otros dicen que en revistas y hasta hay alguien que dice que por intuición.</p> <p>Un estudiante comenta que los vegetales son cada vez más grandes. Entonces <u>P aprovecha para hablarles de la selección natural y, sobre todo, de la selección artificial.</u> Les explica que la selección artificial es un proceso que llevan a cabo los humanos para seleccionar ejemplares de su interés, donde tratan de conservar en los descendientes de éstos, las características que les interesan. <u>Les da algunos ejemplos como el de las vacas que producen gran cantidad de leche y cómo los ganaderos tratan de preservar esta característica en sus descendientes; o bien la forma en que se han ido obteniendo las variedades de maíz.</u> P continúa diciendo que, los humanos han modificado directa o indirectamente a los organismos desde tiempos ancestrales, a través de la selección artificial, pero que esta manipulación no se trata de una manipulación directa sobre los genes. Que la manipulación directa sobre los genes se dio recientemente a partir de los años 70s pero que actualmente se ha generalizado. <u>Ella dice que la manipulación directa de la información genética, es algo relativamente nuevo y se ha llevado a cabo con la finalidad de incidir directamente sobre la información genética de los organismos y modificarla, que este tipo de manipulación es conocida como ingeniería genética.</u></p> <p>Refugio concluye la primera pregunta explicando que de alguna forma la manipulación directa es el origen de la biotecnología y que la ingeniería genética es una parte de esta última.</p> <p><u>Para continuar la clase P pide al grupo que den sus respuestas a la segunda pregunta ¿qué es un organismo transgénico?,</u> las respuestas de los alumnos versan sobre las siguientes opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Son organismos cuyos genes han sido modificados</li> <li>Son organismos que les cambian sus genes para modificar sus características</li> <li>Son organismos genéticamente alterados</li> </ul> <p>La maestra acepta las respuestas de sus alumnos, les precisa que sí es posible modificar genéticamente a un organismo y que a éste se le conoce como transgénico, ya que se le han insertado genes de otra especie o fuente, les enfatiza que su idea de organismo transgénico estaba muy cercana en todos los casos; ahora les <u>pide que den algunos ejemplos de este tipo de organismos.</u> Los estudiantes mencionan a los vegetales, a las tortugas ninja y a la clonación; entabla un diálogo con un alumno:</p> <p>P: ¿es en serio lo de las tortugas ninja? (pregunta ella riendo)</p> <p>E<sub>1</sub>: sí, claro</p> <p>P: las tortugas ninja son personajes ficticios</p> <p>E<sub>1</sub>: no, no puede ser (comenta riendo)</p> <p>P: bueno pero según tu idea de las tortugas ninja ¿Qué genes serían alterados?</p>	<p>Utiliza brevemente el enfoque histórico.</p> <p>Da ejemplos sobre casos específicos de selección artificial, dentro de un enfoque contextual, tipo CTS.</p> <p>Explica. Empieza a contestar las tres preguntas iniciales.</p> <p>Realiza preguntas</p> <p>Pide ejemplos</p>
---	--

<p>E<sub>1</sub>: no se a mí no me gustaban y no las veía  P: bueno, pues las tortugas ninja no son buen ejemplo, son personajes fantásticos creados por la imaginación, pero creo que tus creencias infantiles se han venido abajo</p> <p><u>Luego explica que la clonación es un proceso diferente a la transgénesis, ya que en ésta no se manipulan directamente a los genes, pero que sí es una aplicación de la ingeniería. Genética, pero que más adelante se mencionará el caso de la clonación.</u> En eso un estudiante pregunta  E<sub>2</sub>: ¿Es posible encargar un hijo seleccionando sus características?  P: sí fijate que hay una película de Discovery Channel donde parece que ya hay algún índice de esto, pero <u>no se sabe que tan rápido se pueda lograr hacer un bebé al gusto...</u> para ello sería necesario saber exactamente la función de los 30 000 genes con los que cuenta nuestra especie; por lo tanto ahora con el proyecto del genoma humano se hizo un mapeo y ya se sabe la secuencia de bases nitrogenadas de nuestro ADN, así como cuántos genes tiene el genoma humano. Aunque todavía se está estudiando la función de cada gen. Para tener un bebé sobre pedido primero debería suceder esto, pero claro podría ser una posibilidad...</p> <p>Posteriormente, enciende el proyector y aparecen por escrito una a una las preguntas planteadas, en eso <u>da el nombre del tema que se abordará y lo sitúa en el programa.</u> Retoma las preguntas revisadas y dice que hoy en día casi todas las personas saben la respuesta correcta a las primeras dos preguntas por que probablemente lo han visto o leído en los medios de comunicación masiva, pero que la respuesta a la última pregunta sólo se puede hacer si se cuenta con ciertas bases científicas, ya que el ciudadano común carece (en promedio) de bases para entender la creación de un organismo transgénico, entonces pregunta  P: ¡a ver ustedes! <u>¿qué contestaron sobre el mecanismo para modificar los genes? (pregunta a unos cuantos, por su nombre)</u>  E<sub>1</sub>: Yo puse radiación  E<sub>2</sub>: Añadiendo otro tipo de genes  E<sub>3</sub>: Modificando los genes</p> <p><u>Ella explica, que recordemos que para tener un organismo transgénico hay que insertarle un gen de otra especie, por lo que en el caso de las radiaciones hay que distinguir entre un organismo modificado genéticamente y un organismo que ha sufrido alguna mutación, que no son lo mismo, son cosas diferentes. En las mutaciones sí existe una alteración de los genes pero ésta no es provocada directamente sino que es aleatoria, y que incluso las mutaciones también se pueden provocar por medio de sustancias químicas u otros factores. Les pide que revisen los ejercicios que realizaron sobre la síntesis de proteínas, que en los dos últimos se trata el caso de las mutaciones.</u> Les declara que ahora en lo que se van a centrar es la transgénesis</p>	<p>Explica la diferencia entre clonación y transgénesis.</p> <p>Resuelve dudas sobre “hijos hechos a la medida”.</p> <p>Ubica el tema en el programa</p> <p>Realiza preguntas Personaliza</p> <p>Explica</p> <p>Conecta con temas</p>
--	---

y empieza a mostrarles algunas imágenes.

En la imagen 1 muestra una planta de tabaco que si se ilumina con un tipo de luz especial como la ultravioleta emite luz, algo que en condiciones normales no lo puede hacer, no es propio de su especie, pero que por transgénesis se le insertó un gen que transmite [produce luz por fluorescencia] luz porque ahora produce una proteína que es luminiscente

P: ¿saben de algún organismo que de forma natural emita luz?

E<sub>1</sub>: algunos hongos

E<sub>2</sub>: las luciérnagas

E<sub>3</sub>: medusas

P: algunos peces como en la película de Nemo, donde el pez de las profundidades quiere comerse al papá de Nemo ¿la vieron?

## Planta de tabaco transgénico

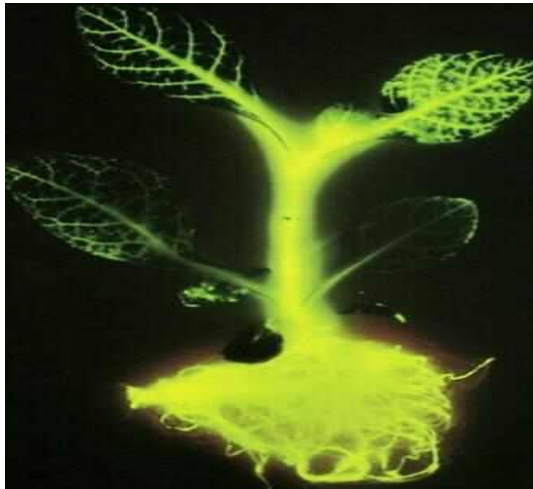


Imagen 1

Planta de tabaco con gen de bioluminiscencia que produce una proteína fluorescente

anteriores

Realiza preguntas

Muestra imagen

Después explica que a esta propiedad se le llama bioluminiscencia, y en los organismos que la producen de

Explica

forma natural tiene una función específica

P: ¿para qué creen que las luciérnagas emiten luz?

E<sub>1</sub>: para reproducirse

P: exacto, es el macho el que emite luz para atraer a la hembra, es una adaptación de esta especie

Entonces aclara que lo interesante es que por medio de la manipulación genética, los humanos pueden producir un carácter en un organismo que de forma natural no lo tiene, entonces por ingeniería genética se ha insertado un gen de luminiscencia a la planta de tabaco, por esta propiedad sabemos que es un organismo transgénico, pero en muchos otros organismos no hay forma de saber, si son transgénicos a simple vista. Ahora muestra una imagen donde aparece un ratón normal y otro que es luminiscente (imagen 2), en la siguiente imagen (3) aparece un conejo con esta misma propiedad y unos cochinitos albinos.

## Organismos transgénicos



**Conejo albino transgénico con proteína verde fluorescente**



**Cerdito transgénico (izquierda) con proteína verde fluorescente**

Imagen 2

Realiza preguntas

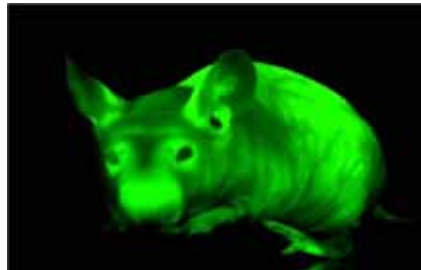
Conecta el tema con la imagen mostrada

Muestra imagen

## Ratones transgénicos luminiscentes



Ratón desnudo sin gen de luminiscencia



Ratón desnudo transgénico con gen de luminiscencia

Imagen 3

Comenta que algo importante es que el gen por sí mismo no produce luminiscencia sino la proteína que codifica. También dice que quizá el grupo se pregunte para qué sirve estar haciendo animalitos luminiscentes, y aclara, para hacerlo notorio, que ella ha escogido ejemplos en donde la transgénesis se ha manifestado en el fenotipo de un organismo, pero que no siempre es así; que existen muchos organismos que han sido modificados genéticamente y que a simple vista no lo podemos saber. Después muestra una imagen (4) de una medusa que produce en forma natural el gen de la luminiscencia y de donde se ha aislado para insertarlo a los animalitos mostrados.

P: Como ven, el gen original de luminiscencia se ha obtenido de una especie y se ha introducido en otra diferente...entonces qué es lo que vamos a ver en esta clase, bueno...primero esto de la transgénesis muchachos es una aplicación de la ingeniería genética, pero decíamos que la ingeniería genética es parte de lo que se conoce como biotecnología, que ha sido algo que surgió desde hace mucho tiempo. Por cierto no se si alguno de ustedes pudiera decir lo que entiende por el término de biotecnología ¿a qué les recuerda?

E: ...algo que tiene que ver con tecnología y con seres vivos

Muestra imagen

Conecta el tema con la imagen

Ubica los ejemplos con el tema

Pregunta sobre definición de biotecnología.



Medusa que  
contiene una  
proteína  
fluorescente

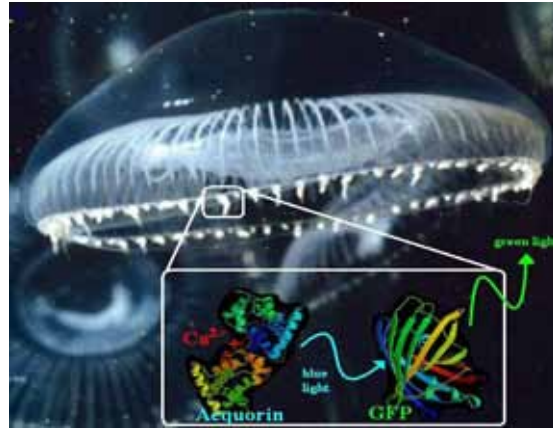


Imagen 4

Al ver P que nadie más hace el intento por comentar algo dice

P: bueno volvamos a la tercera pregunta, entonces ¿cómo pueden modificarse los genes? (aparece la pregunta en la pantalla)

No espera a que contesten, inmediatamente cambia la imagen por una donde aparece un esquema (imagen 5), que muestra dos cadenas de ADN y explica sobre él que, para que se puedan modificar los genes hay que tomar la cadena de ADN normal (la señala en el esquema) e insertarle el gen que se obtuvo de la medusa (la señala en el esquema) que así se expresará una nueva proteína que en la cadena normal no se expresaba; dice que ahora sí estamos hablando de una aplicación o proceso de la ingeniería genética. Nuevamente explica de forma continua el esquema y finalmente dice que para que se puedan dar los efectos fenotípicos que se vieron en los animalitos hay que modificar la secuencia original del ADN.

P: Entonces como dice ahí (señala la pantalla) los genes de un organismo se pueden modificar gracias a la ingeniería genética. Vamos a ver ahora los conceptos de ingeniería genética y de biotecnología

Muestra imagen

Pregunta

Explica el esquema y lo conecta con el tema

Los genes de los organismos pueden alterarse gracias a la **ingeniería genética**

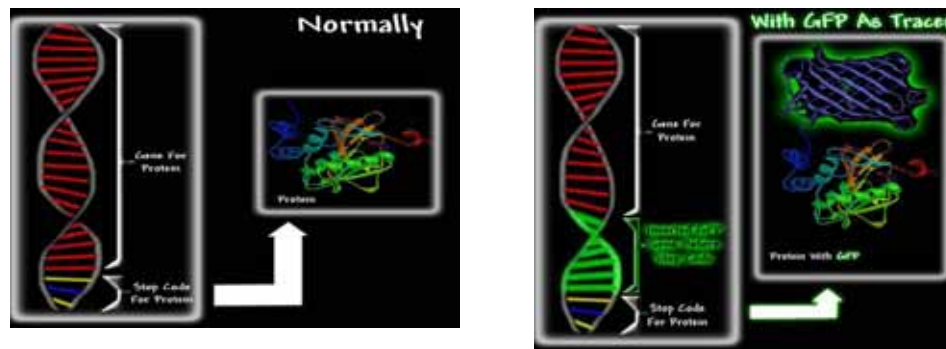


Imagen 5

Aparece en la pantalla lo siguiente

La **ingeniería genética** y la **biotecnología**

- La **ingeniería genética** forma parte importante de la **biotecnología** moderna.

Lee las transparencias y explica que, se refiere a la biotecnología moderna porque antes de la ingeniería genética ese término se relacionaba comúnmente con la industria de los vinos y las fermentaciones, es decir la utilización de seres vivos para fines determinados. En la actualidad la biotecnología sólo se entiende si se habla de la ingeniería genética, aunque no es la única rama importante.

Muestra imagen

<p>Posteriormente dice que existe un caso que quiere mencionar en ese momento y les pregunta  <u>P: ¿alguien sabe cuál es el tratamiento para los pacientes diabéticos que son dependientes de insulina?</u>  Ella insiste en su pregunta, pero al ver que nadie responde dice que a estos pacientes se les administra insulina para regular los niveles de glucosa en la sangre; antiguamente se les administraba insulina proveniente de otras especies como la del cerdo (que es muy parecida a la del humano), pero que actualmente se fabrica insulina humana y pregunta  <u>P: ¿cómo creen que se pueda fabricar esta insulina humana fuera del cuerpo humano? ¿a través de qué proceso?</u> Recordemos que la insulina es una proteína.</p> <p>En ese momento [se corta la grabación porque se termina la pila] ella trata de explicar los pasos que se deben seguir en el proceso de creación de un organismo transgénico. [Cuando se retoma la grabación] <u>está explicando sobre unos esquemas este proceso.</u> El esquema (imagen 6) muestra las enzimas de restricción cortan en sitios específicos la cadena de ADN, tanto en el ADN de la célula humana como en el ADN de la célula bacteriana y dice que como corta en el mismo sitio entonces es posible unir esos dos segmentos por una simple regla de apareamiento. Enfatiza que este es el proceso del ADN recombinante y que como ven sólo se puede hacer con una enzima de restricción. <u>Una alumna pregunta que si siempre se va a cortar en la misma secuencia y ella contesta que para este caso si, que la enzima EcoR1 siempre cortará en la misma secuencia pero que para otra enzima la secuencia será diferente.</u> Este sólo es un mecanismo de corte para esta enzima, pero que más adelante ellos van hacer un ejercicio de un plásmido recombinante. Entonces dice  <u>P: Se acuerdan que el primer paso era aislar el ADN y cortarlo a través de las enzimas de restricción, ahora el segundo paso, ese ADN recombinante (señala el esquema) hay que insertarlo en un vehículo para transportarlo hacia las células donde se quiere insertar ese gen.</u></p>	<p>Pregunta</p> <p>Pregunta</p> <p>Explica</p> <p>Resuelve dudas</p> <p>Entra en temas difíciles, como el de las enzimas de restricción.</p>
---	--

## Enzimas de restricción

Ejemplo del mecanismo de corte de la enzima **EcoRI**

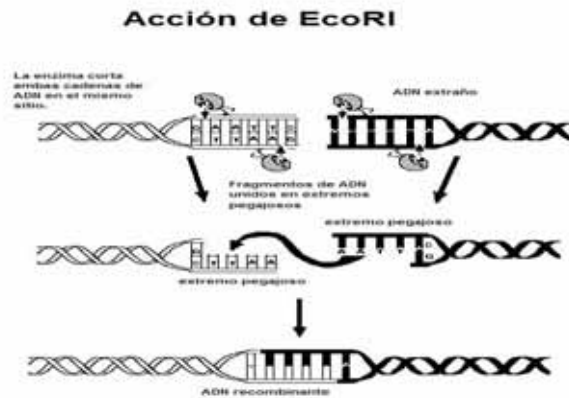


Imagen 6

En ese momento cambia la transparencia y aparece lo siguiente

### 2) Los **vectores** transfieren al **ADN**

- Para que los fragmentos de **ADN** puedan insertarse en la **célula huésped** necesitan **recombinarse** con "algo".
- Ese algo es un **Vector**.
- Un **vector** es el medio a través del cual el **ADN** donante se **transfiere** a la **célula huésped**.

Muestra imagen

Ella lee trata de precisar los términos que se encuentran en ella como por ejemplo lo de la célula huésped. Después dice que más adelante van a ver los tipos de vectores, y la próxima clase van a ejemplificar con unos vectores que se llaman plásmidos. Da un tiempo para que los alumnos copien las transparencias y luego la cambia y aparece en ella lo siguiente

**Tipos de vectores**

- **Mecánicos:**
  - **Micropipetas**
  - **Balas** cubiertas de ADN disparadas por "**pistolas de genes**"Introducen ADN donante directamente en el núcleo de las células.
- **Biológicos**
  - **Virus**
  - **plásmidos**

Ella explica las transparencias diciendo

P: En el caso de los mecánicos, las micropipetas son tubitos hiperdelgaditos con los que directamente se inyecta, en este caso el ADN recombinante, es un proceso un poco más laborioso y se usa para ciertos casos y para ciertos organismos... El otro caso (señala balas en la pantalla) son balas microscópicas que se recubren con ADN y son disparadas por pistolas de genes, literalmente se llaman pistolas porque tienen la apariencia de pistolas y esas balas pequeñas que contienen genes se insertan directamente en las células, es un procedimiento interesante, pero éstos son medios mecánicos. Los biológicos son los virus y los plásmidos... vamos a ver ahorita el caso de los plásmidos. Fíjense que los medios mecánicos son más precisos que los biológicos que son más indirectos, aquí dice (señala la pantalla) que los mecánicos introducen el ADN directamente en el núcleo de las células.

Cambia la transparencia y aparece una que dice

Explica.

Emplea por primera vez la analogía de la pistola que dispara genes.

## ¿Qué son los **plásmidos**

- Un **plásmido** es un anillo pequeño de ADN.
- Se encuentran en las **células bacterianas**.
- **Transporta genes diferentes** a aquellos que se encuentran en el **cromosoma** de la bacteria.

Se introduce al tema de los plásmidos.

Ella lee la transparencia y explica que muchos de estos plásmidos les confieren a las bacterias ciertas propiedades

P: ¿han escuchado sobre ciertos tipos de bacterias que son resistentes a los antibióticos? ...Esta característica de resistencia muchas veces se las da el plásmido, las bacterias tienen su propio ADN, pero el plásmido les da cierto ADN pequeño circular que ahorita vamos a ver en una fotografía, esta información que proviene del plásmido les da esta característica, entonces las bacterias no se mueren con los antibióticos, creo que este es el ejemplo más común de lo que hace un plásmido. Lo más interesante es que los plásmidos se pueden transmitir de bacteria a bacteria, este proceso se llama conjugación, aunque no lo vamos a ver a detalle, lo mencionamos. Entonces “los plásmidos transportan genes diferentes a aquellos que se encuentran en el cromosoma de la bacteria” (al decir esto, aparece en la pantalla)... por lo tanto las bacterias pueden adquirir esta propiedad de resistencia si se pasan este plásmido de bacteria a bacteria. Esto es algo importante porque los humanos que se dedican a la manipulación genética, han aprovechado esta propiedad natural de los plásmidos bacterianos para usarlos como vehículos para transportar genes...

Pregunta sobre aspectos contextuales, tipo CTS.

Explica

Luego cambia de transparencia y aparece un esquema de un plásmido (imagen 7), el que explica haciendo énfasis en dónde se sitúa el cromosoma de la célula y dónde el plásmido. También en el esquema aparece una amplificación del plásmido y ella dice que éste es una doble cadena de ADN más pequeña que el ADN bacteriano principal, pero que también lleva genes, información genética que les confiere propiedades, como puede ser la resistencia a los antibióticos. Después hace referencia a las clases de reproducción, donde ya vieron, se hace este tipo de transferencia de información genética, llamada conjugación. Ésta se hace por

Explica

Conecta con temas anteriores

medio de dos tubitos donde la información genética de una célula puede viajar hacia la otra o viceversa, ella precisa que es por este medio por donde viajan los plásmidos y se puede transportar su información genética de bacteria a bacteria.

## Plásmidos

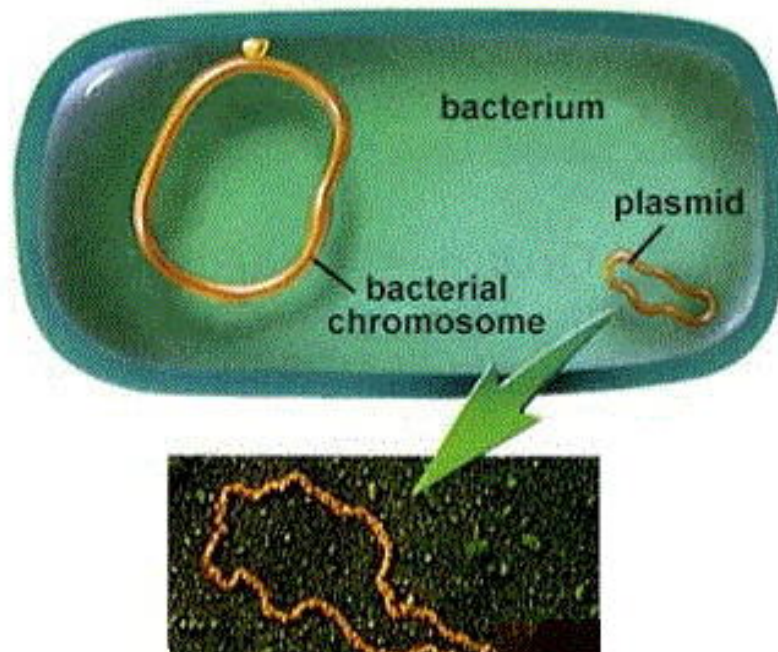


Imagen 7

Muestra imagen

P: Ahora vamos a ver cómo se pueden unir los genes, precisamente en estos vectores, el ADN del plásmido puede cortarse con la ayuda de las enzimas de restricción,... igual que como vimos en el esquema anterior. Las enzimas de restricción pueden cortar en los plásmidos y abrirlos, si el ADN estaba en forma circular, se puede cortar en un punto (entonces pasa a la siguiente transparencia)

## Unión de genes

- El ADN del **plásmido** puede cortarse con ayuda de las enzimas de restricción.
- Si el **plásmido** y el ADN donante se cortan con la misma **enzima de restricción**, las "*puntas pegajosas*" de ambos harán juego y luego se unirán, de manera que el anillo del **plásmido** se vuelve a cerrar.

Ella lee la lámina y dice

P: entonces cómo es que se puede usar el plásmido como vehículo si se corta con la misma enzima de restricción que el ADN donante se generan las mismas puntas pegajosas por lo tanto se pueden unir, ahorita lo vamos hacer en el ejercicio...

Da el tiempo suficiente para que los alumnos copien el contenido de la transparencia y pregunta si hay dudas. Los alumnos no responden y ella dice

P: recordemos que estamos en la segunda etapa, pues la primera se trataba de cortar en fragmentos el ADN donante con las enzimas de restricción,... la segunda parte es formar el ADN recombinante, es cuando unimos esos ADNs de diferentes fuentes, déjenme pasar a la siguiente...

Cambia de lámina (imagen 8) y ahora muestra una que tiene dos esquemas y señalando el esquema dice

P:... ahí están representaciones esquemáticas, este circulito está representando al plásmido, este (señala otra parte del esquema) es el sitio de reconocimiento de la enzima, se acuerdan que hablamos de la EcoR1, bueno, si esta enzima reconoce este sitio, es decir la secuencia de bases de las que hablabas (le dice a una alumna) cortara y ven como se abre el plásmido (señala en el esquema el plásmido abierto), entonces si tengo ya aislado, con la misma enzima de restricción, el fragmento de ADN que quiero insertar acá entonces se pueden unir siempre y cuando tengan las mismas puntas

Aparece por primera vez la analogía de las "puntas pegajosas". La explica diciendo "si se corta con la misma enzima de restricción que el ADN donante se generan las mismas puntas pegajosas por lo tanto se pueden unir".

Ubica las explicaciones con el tema

Explica el esquema

Aquí hay otra vez la analogía del pegado de los extremos de polinucleótidos por medio de su



pegajosas y en qué consiste eso, pues que la secuencia de bases aquí (dice señalando una punta del plásmido) sea complementaria con ésta (señala el fragmento de ADN), Y luego hay otras enzimas que se llaman ligazas que usan los ingenieros genéticos, que lo que hacen es por decir, unir esos pedazos. Entonces ya tengo un plásmido recombinado que se puede introducir a células para que se expresen los genes que nosotros estamos introduciendo.

comparación con "puntas pegajosas idénticas".

## Vectores biológicos : plásmidos

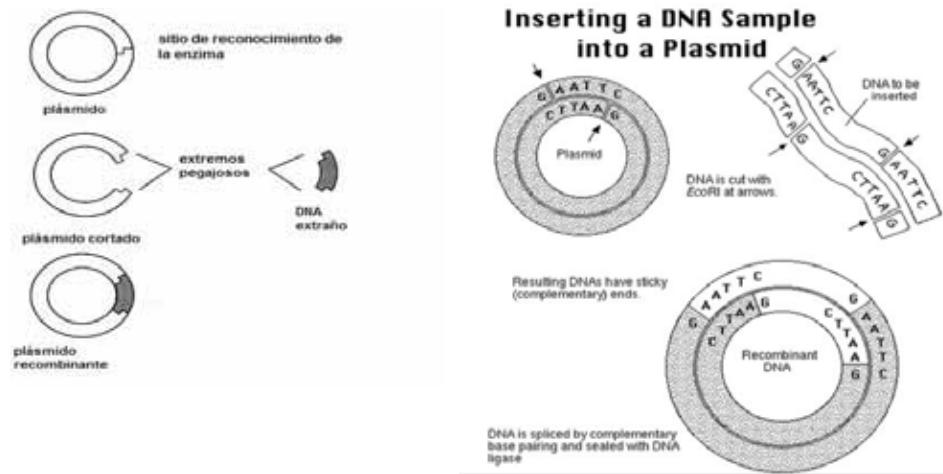


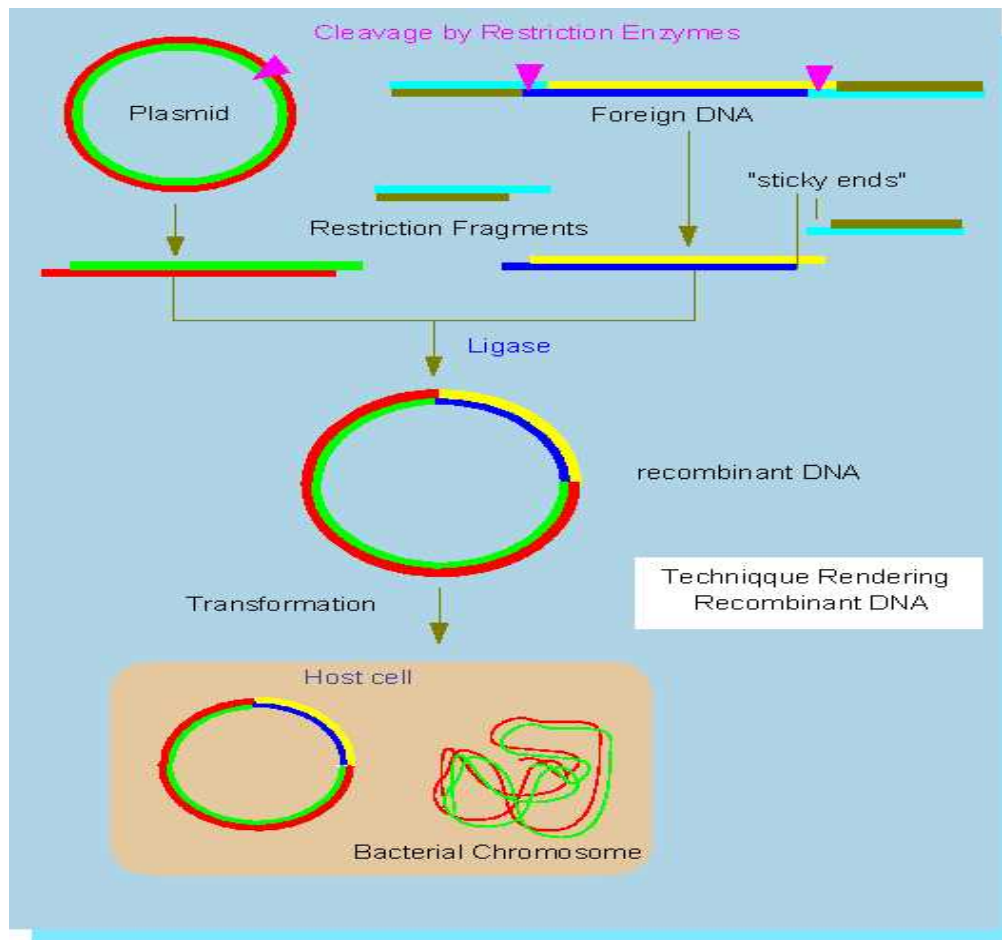
Imagen 8

Después se refiere al otro esquema, lo señala y dice que es lo mismo que el anterior, lo explica apoyándose en el primero. Muestra otro esquema similar (imagen) y dice que éste representa el caso de la insulina, explica el esquema haciendo notar cada etapa del proceso de transgénesis, tocando incluso la tercera etapa que no ha explicado, finalmente dice que esta célula producirá la insulina que necesita el humano. Luego muestra otra transparencia que dice

Muestra imagen

Conecta las imágenes mostradas

## Vectores biológicos : plásmidos



Muestra imagen

### 3) Transferencia del ADN recombinante a una célula huésped

- Después de que el ADN donante se une al vector: plásmido o virus, el ADN recombinado se **transfiere** a la célula huésped.
- Cuando la célula huésped se prepara para dividirse, copia el ADN recombinante junto con su propio ADN.
- El proceso de hacer copias adicionales de ADN recombinante es una forma de **clonación**.
- Los clones son copias genéticamente idénticas.

Aquí está la analogía entre clonación y "copiado".

Enseguida da lectura a la transparencia y la explica, regresa al esquema anterior y vuelve a remarcar lo que ya había explicado para la tercera etapa, vuelve a la última lámina y señalando el término clonación, dice

P: ...aquí hay un concepto que es necesario aclarar, que es diferente... (lee) "El proceso de hacer copias adicionales de ADN recombinante es una forma de clonación", entonces se habla de clonación de genes que no es lo mismo que la clonación de organismos. El caso de la clonación de organismos... No se si alguno de ustedes tiene idea de cómo se clonó la famosa ovejita Doly...

Explica

Un estudiante trata de decir su idea al respecto, pero ésta no es lo suficientemente clara, por lo que Refugio dice

P: ... lo que hicieron fue sacar el núcleo de las células de una oveja adulta, bueno aislaron las células, creo que en este caso fue de las células mamarias, luego ese núcleo se introdujo en el óvulo de otra ovejita, pero a ese óvulo lo que hicieron fue que primero le quitaron el núcleo y le introdujeron el núcleo de otra ovejita... de tal manera que cuando esta ovejita recibe en su óvulo el núcleo de la otra oveja, en realidad el nuevo embrión y el nuevo feto provenían del núcleo de la otra ovejita, entonces en realidad Doly es un clón, una copia genética de la ovejita que le donó el núcleo, no de la ovejita que se embarazó de ella, la que sirvió en realidad como incubadora ... esto que les estoy diciendo es el proceso básico de la clonación de organismos; es diferente a este concepto de clonación. En este caso la clonación de genes se refiere a hacer muchas copias de ADN recombinante a partir de un vector que puede ser un virus o un plásmido...

Conecta el tema con el contexto, tipo CTS.

Se refiere a la analogía entre clonación y copiado.

Aparece al final de la lámina la frase

“Los clones son copias genéticamente idénticas”

Entonces ella lee esto y aclara que hay que diferenciar los clones de genes de los clones de organismos. Después pasa a otra lámina, donde muestra un esquema (imagen 10) que se titula “clonación de ADN en un plásmido”, ella explica el esquema diciendo

P: ...aquí están todas las etapas de inserción de un gen... tenemos aquí (señala) lo que hacen las enzimas de restricción, cortar el ADN extraño y unirlo al vector, el vector es un plásmido, luego se introduce este plásmido en células. Aquí lo interesante es que estas células que contienen el plásmido al dividirse van a originar muchas células que van a tener ese ADN recombinante...

## Clonación de ADN en un plásmido

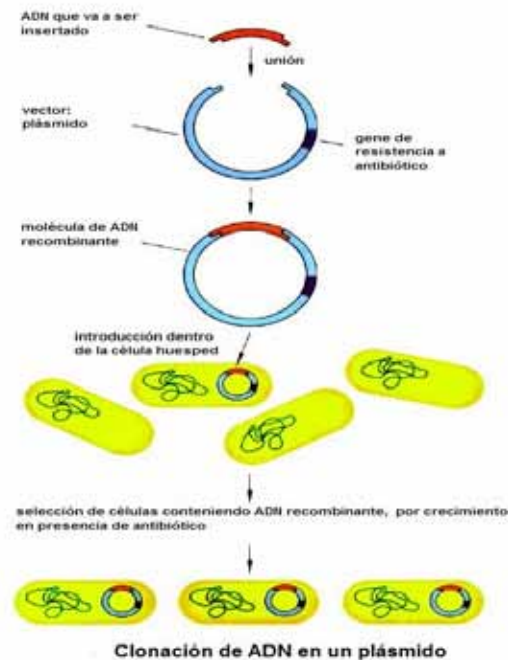


Imagen 10

Explica  
Recopila los puntos importantes

Muestra imagen

Continúa explicando y pregunta si hay dudas o preguntas, al ver que los estudiantes no responden continua diciendo

P: ... ahora vamos a ver el caso de las plantas, en este caso lo que hacen los científicos es que no les insertan los genes directamente a las plantas adultas, lo que generalmente se hace, es hacer un cultivo de las células en el laboratorio, entonces se van a formar nuevas plantas a partir de esas pocas células y a través de ésta técnica de cultivo de tejidos vegetales en laboratorio se pueden originar plantas transgénicas...

Cambia la transparencia y le da lectura al contenido de la nueva

### La clonación de genes

- Cada molécula de **ADN recombinante** genéticamente idéntica es un **clon de genes**.
- La **clonación de genes** permite producir múltiples copias del **ADN** deseado.
- La **clonación de genes** es un una herramienta importante para la **ingeniería genética**.

Dice que con esto concluye la parte que se refiere básicamente a la técnica de creación de ADN recombinante y que la próxima clase verán algo de las aplicaciones de este conocimiento. Les pide que se lleven para fotocopiar un artículo precisamente sobre las aplicaciones, que lo lean y subrayen las ideas más importantes, pues lo trabajarán la siguiente clase. Espera un momento para que los alumnos copien la última transparencia

Introduce técnicas novedosas.

<p>y les dice que para terminar la clase van a ver algunas animaciones. <u>Entonces carga el programa de las animaciones, y con esto les muestra cómo es que las enzimas de restricción cortan las cadenas de ADN, siempre que encuentran una secuencia específica de bases; ella hace énfasis en que los cortes son de forma escalonada para poder generar esas <u>puntas pegajosas</u>. La animación muestra cómo se efectúa el corte con tres enzimas de restricción diferentes. Más adelante la animación muestra cómo es que esos cortes se encuentran y se empalman en sitios también específicos, después que estos se unen aparece una enzima (la ligasa) que por decirlo de alguna manera sella esas uniones.</u></p> <p>También en animación ella muestra como se forman los plásmidos recombinantes. <u>Cabe mencionar que en todas las animaciones Refugio reitera las explicaciones que dio en los esquemas.</u> Por último les recuerda que el gen que nos interesa que se exprese, va a generar un producto y que ese producto siempre será una proteína, como en el caso de la insulina. Para cerrar la clase les dice</p> <p>P: ... la próxima clase iniciaremos con la actividad de crear un plásmido recombinante, después les haré una pequeña presentación de los organismos transgénicos y cerraremos con la discusión de este artículo...</p>	<p>Muestra animaciones</p> <p>Se vuelve a referir a las “puntas pegajosas”.</p> <p>Reitera los puntos más importantes</p> <p>Se trata del artículo “Los cerdos y el maíz transgénico”, que apareció publicado en la revista ¿Cómo ves? El autor es el Dr. Agustín López Murguía ....</p>
--	--

## *PaP-eRs del nivel superior, vistos desde el pensamiento y reflexión de la profesora*

Profesora:	Maricarmen
Nivel:	Licenciatura
Escuela:	Facultad de Química, UNAM
Asignatura:	Biología
Tema	Regulación de la actividad enzimática. Regulación de la expresión genética
Ubicación:	Tema VI Coordinación del metabolismo microbiano, de la asignatura de Biología, del plan de estudios para la carrera de Químico en Alimentos, de la Facultad de Química de la UNAM
Grupo:	01
Horario:	Lunes y miércoles 18:00 a 20:00 h.
Observaciones:	<p>El grupo cuenta aproximadamente con 30 alumnos que asisten regularmente. Los alumnos se mantienen atentos y receptivos, sin embargo, son poco participativos, probablemente porque la dinámica de la clase no les exige mucha participación. En términos generales la clase se efectúa de manera similar a lo que podríamos llamar el estilo de la profesora (P). Ella utiliza en todas sus clases además del pizarrón, proyector de acetatos; generalmente el pizarrón lo utiliza para anotar algunos puntos que desea destacar, hacer ejercicios numéricos o escribir datos que considera de interés. En cuanto al proyector, éste lo utiliza para proyectar esquemas, imágenes o figuras. Sus clases son por lo general expositivas, sin mucha participación de los estudiantes (Es). Aunque guía el desarrollo de las mismas con preguntas, comúnmente no espera respuesta de los alumnos. Así mismo el comportamiento de ellos no varía, se muestran como siempre, poco participativos, pero atentos y respetuosos. Las clases inician con puntualidad y se acostumbra tomar un receso de 10 min a la mitad de ellas.</p> <p>Es importante mencionar, que una vez que se formularon los PaP-eRs 1 y 2 de esta profesora, se le dieron a conocer para que ella opinara sobre lo que se dijo en su clase. Al parecer ella acepto con agrado, todo el contenido de los PaP-eRs, además nos anoto sobre ellos, los comentarios, observaciones o reflexiones que éstos le promovieron. A continuación se muestra el primer PaP-eR de Maricarmen y sobre éste, lo que ella comenta. También nos hizo comentarios sobre el segundo PaP-eR.</p>

## PaP-eR 1. Nivel superior

### Clase 1

En varios momentos, utilizo una interpretación antropomorfa al hacer referencia a los eventos metabólicos que ocurren en las células, como si éstas fueran capaces de tomar decisiones como nosotros lo hacemos. Utilizo este recurso para que los alumnos vean estos eventos como algo más cercano a ellos y que sea más fácil de comprender. De hecho, muchas respuestas celulares tienen un comportamiento apegado a nuestra lógica y forma de actuar como seres humanos.

Algunos de esos compuestos, que forman parte del metabolismo celular, también son de interés industrial, esto es que se requiere que se produzcan a gran escala.

Ella inicia situando el tema que va a tratar “Coordinación del metabolismo microbiano”, dice que platicará sobre el tipo de regulación que hay, para que la célula pueda saber en qué invertir su energía, que las células lo que procuran es ahorrar energía, tratan de no gastarla innecesariamente. Lo que la célula hace es determinar de alguna forma, qué hay alrededor de ella, cuáles son sus necesidades, cuál es el estado metabólico interno; y de acuerdo con eso la célula ya va a saber qué hacer.

Dice que lo que va a revisar ahora es cómo se llevan a cabo esos mecanismos de regulación, porque lo que no se quiere es que produzcan proteínas o metabolitos sin control; hay varias formas en que la célula regula su actividad metabólica. Entonces principalmente podemos hablar de dos tipos de mecanismos: la regulación de la actividad enzimática y la regulación de la expresión génica.

También dice que la célula ya tiene las enzimas necesarias para una ruta biosintética ya sea anabólica o catabólica, ya las tiene sintetizadas, entonces lo único que hace es lograr que esas proteínas funcionen más o menos rápido de acuerdo a lo que necesite. Que se puede hablar de dos tipos de regulación: positiva y negativa. Es positiva cuando tiene que acelerar el metabolismo y negativa cuando lo tiene que hacer más lento, entonces la regulación positiva se llama activación y la regulación negativa se llama inhibición (al mismo tiempo va escribiendo esto en el pizarrón).

Continúa diciendo que la forma de regular la actividad de una enzima tiene que ver con la estructura tridimensional que tenga la enzima y con el tipo de compuestos que puedan estar asociados a la proteína, habla de dos

El objetivo de este tema es que los alumnos sepan que desde el punto de vista de la biotecnología, lo que interesa es que las células, en este caso de microorganismos, produzcan el compuesto de interés en grandes cantidades y en el menor tiempo posible.

En condiciones nativas, las células tienen mecanismos que regulan la producción de todos los compuestos que se requieren para vivir, con el fin de producir sólo lo que necesitan, no más.



mecanismos principales, lo que es la regulación alostérica que tiene que ver con la estructura de la proteína, y lo que tiene que ver con modificaciones químicas de la proteína que la van hacer más o menos activa, entonces muestra el siguiente acetato,

*Table 1. Examples of covalent modification of bacterial enzymes and other proteins*

Enzyme	Organism	Modification
Glutamine synthetase	<i>E. coli</i> and others	Adenylylation
Isocitrate lyase	<i>E. coli</i> and others	Phosphorylation
Isocitrate dehydrogenase	<i>E. coli</i> and others	Phosphorylation
Chemotaxis proteins	<i>E. coli</i> and others	Methylation
P <sub>II</sub> <sup>a</sup>	<i>E. coli</i> and others	Uridylylation
Ribosomal protein L7	<i>E. coli</i> and others	Acetylation
Citrate lyase	<i>Rhodospseudomonas gelatinosa</i>	Acetylation
Histidine protein kinases	Many bacteria	Phosphorylation
Phosphorylated response regulators	Many bacteria	Phosphorylation

<sup>a</sup>See Figure 6.

Dice que es un ejemplo de regulación por modificación química, hace hincapié de que se trata de casos que están relacionados con *Escherichia coli* y les recuerda que este organismo es uno de los más estudiados. Dice que uno de los tipos de modificaciones químicas más comunes es la fosforilación. El que la proteína esté fosforilada o no va a hacer que tenga una determinada actividad, que pueda ir más rápido o más lento, incluso que tenga otras actividades además de la catalítica. Les pone un ejemplo que tiene que ver con la fosforilación de la membrana, les muestra otra figura y dice.

Lo que sucede en las células nativas no corresponde a lo que se espera desde la perspectiva de la producción industrial, a través de la utilización de microorganismos, de acuerdo a lo expuesto inicialmente. Por lo que es necesario que se hagan modificaciones de estos sistemas de regulación para que las células se comporten como unas verdaderas fábricas, sin estar autolimitadas.

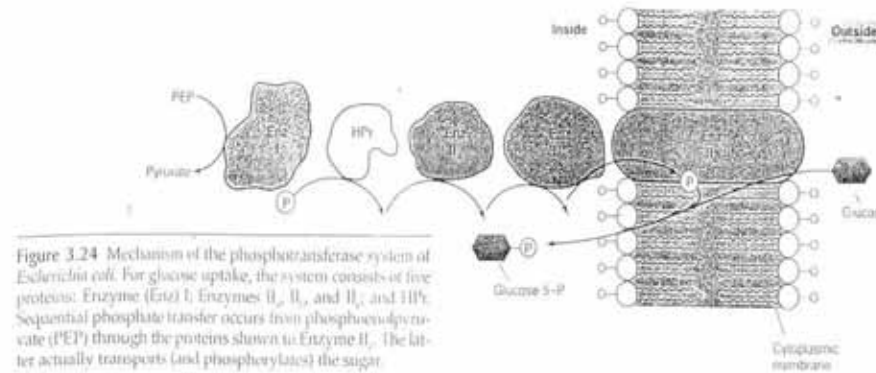


Figura 1

P: este es un sistema que existe para regular la entrada de azúcares a las células, se llama “el sistema de fosfotransferasa o sistema PTS”, ¿qué es lo que pasa con este tipo de transporte?, vean (señala en la imagen), ustedes tienen aquí en la membrana celular una proteína, que es proteína de transporte pero además tiene otra función, vean aquí está la glucosa que cuando entra, gracias a la ayuda de esta proteína se fosforila, entonces no es una permeasa común y corriente sino que es una fosforilasa ya que está llevando a cabo la fosforilación de esta fuente de carbono a glucosa 6 fosfato, entonces cuando esta glucosa entra se fosforila, ahora la pregunta es ¿de dónde salió ese grupo fosfato que se le está pegando a la glucosa? Es una historia muy larga que viene desde el fosfoenol piruvato. El fosfoenol piruvato va a fosforilar a esta primera enzima que se llama enzima 1,... (explica cada paso y lo va señalando en el esquema). Vamos a analizar lo que pasa cuando existe glucosa en el medio de cultivo, pues pasa lo que está aquí, cada vez que entra una glucosa, ésta se fosforila. Si tomáramos una foto instantánea de cuál es el estado de las proteínas correspondientes a este sistema fosfotransferasa (PTS) veríamos algo como lo que está aquí, que prácticamente todas están desfosforiladas porque todas le están transfiriendo el grupo fosfato a la que sigue, hasta que la última que es la de membrana se la pase a la glucosa. Ahora ¿qué pasa si no hubiera glucosa en el medio?, pues que todas estarían fosforiladas porque ésta no tiene a quién pasarle el grupo fosfato porque todas están fosforiladas...cuando todas están fosforiladas la señal es, no hay glucosa porque no hay a quién pasarle el grupo fosfato, aquí una

Cuando les describo el sistema PTS, la respuesta celular es acelerar o retardar el metabolismo en función de la presencia de un azúcar de fácil consumo que le aportará energía. El fenómeno es como si la célula decidiera que sustrato consumir primero, como si prefiriera o tuviera la capacidad de elegir entre varios de acuerdo a su gusto o antojo. Cuando el fenómeno tiene su explicación en una serie de eventos bioquímicos muy complejos, que se basan en el estado de fosforilación de ciertas proteínas que actúan en cadena.

Entonces, primero los acerco al sistema de manera que comprendan el fenómeno en general, y después voy detallando, ya desde una óptica científica, los eventos bioquímicos.

proteína importante es ésta que está en blanco que es la HPr. Cuando la HPr está fosforilada pasan una buena cantidad de cosas, por ejemplo se acuerdan ¿cuál era la función del AMP cíclico (AMPc) ? (en esta ocasión se queda callada esperando alguna respuesta)

E: le llaman segundo mensajero

P: ¿por qué?

E: porque traduce la señal que recibe la membrana a un traductor y después esa señal pasa al AMPc y el AMPc puede activar otras señales.

P: exactamente, pero no es que pase a un traductor, todas son proteínas... (ella continúa la explicación y trata de abordar otro ejemplo diciendo) El siguiente ejemplo tiene que ver con la regulación alostérica, ¿se acuerdan qué es el alosterismo o con qué está relacionado?

E: tiene que ver con la estructura de la proteína,...se modifica la estructura de la proteína

P: entonces el alosterismo tiene que ver con cambios en la estructura tridimensional de la proteína, ...

Maricarmen explica a detalle cómo influye en una proteína el alosterismo, el sitio catalítico de una enzima y las condiciones en que se encuentre la misma, para determinar su activación o inhibición. Con la ayuda de un esquema (Figura 2), ella muestra ejemplos de cómo podría ser la regulación de enzimas que participan en rutas anabólicas de metabolitos de diferente naturaleza.

Trato de abordar cada tema de lo general a lo particular. Debido a que este es un curso del penúltimo semestre de la carrera, se que ellos ya han llevado asignaturas donde les han dado las bases para entender los temas que revisamos en el curso. Específicamente para poder inscribirse en esta materia, tuvieron que haber acreditado microbiología y bioquímica, pero en la seriación de las materias esto ocurrió un año y medio o dos atrás, respectivamente; por lo que algunos de los conceptos, que ya manejan, están medio "enterrados" en su bagaje de conocimientos.

COORDINATION OF METABOLIC REACTIONS

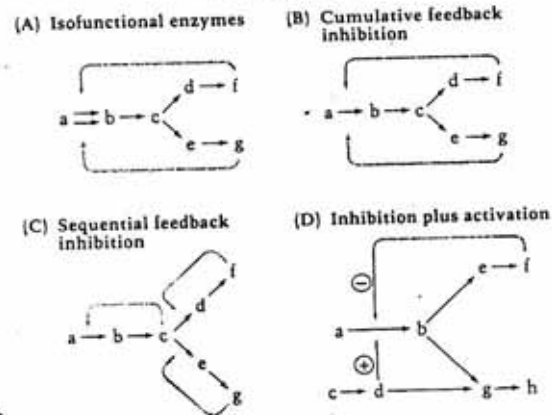


Figure 3

Patterns of feedback inhibition found in bacterial biosynthetic pathways. (A) Isofunctional enzymes for the regulated reaction allow differential feedback effects by the two pathway end products. (B) Cumulative feedback inhibition involves multiple allosteric sites on the regulated enzyme, assuring that there will be some activity unless all of the end products are in excess. (C) In sequential feedback inhibition, different end products operate separately on the various branches of the pathway. (D) Inhibition plus activation uses both positive ( $\oplus$ ) and negative ( $\ominus$ ) allosteric effectors to coordinate complex pathways.

Figura 2

El esquema muestra varios incisos, por lo que la profesora va a tratar de ir explicando cada uno de ellos.

P: vamos a comenzar con el caso "A" (se refiere al inciso "A" del esquema) donde tenemos una ruta metabólica donde sus productos finales son f y g. Ahora no nos interesa cómo se llaman, pero el precursor de la ruta es el metabolito a. Vean que cuando la concentración del producto llega a ser tan alta que indica que ya no se está consumiendo por la célula, esa es la señal que necesita la célula para decir "lo tengo que dejar de producir porque ya no lo necesito, tengo en exceso que ya no se está consumiendo entonces ya no vale la pena estar invirtiendo energía en algo que no ocupo. Vean cuando el metabolito f aumenta tiene un efecto alostérico sobre una de las enzimas que catalizan la primera reacción, en este caso hay dos enzimas que catalizan esa primera reacción, por ello nos ponen (se refiere a lo que dice el encabezado de este inciso) que es el caso de enzimas isofuncionales. Las enzimas isofuncionales son las que catalizan la misma función pero son diferentes, díganme ¿por qué pueden ser diferentes si catalizan la misma reacción? (ella espera que

Se que debo traer al presente (desenterrar) varios conocimientos y que además debo integrarlos y relacionarlos con otros, que en algunos casos son nuevos. Algo que también he observado que sucede, y que de hecho me pasó a mí como estudiante, es que existe la tendencia de organizar mentalmente los conocimientos en compartimentos separados de acuerdo a la asignatura que se trate, y rara vez se interconectan. En otras palabras, lo que se aprendió de microbiología está en un cajón, separado del de bioquímica y éstos a su vez separados, y por mucho, de lo que se aprendió de química orgánica, fisicoquímica, etc. Cuando lo que sucede en la realidad es que la explicación a un fenómeno celular, por ejemplo, tiene que ver con todo eso.

alguien responda, al ver que nadie lo hace, cambia la pregunta). ¿creen qué sea fácil que exista este tipo de enzimas? (al ver que nadie responde dice) pues sí, es bastante común, porque lo único que necesitamos es que el sitio activo sea igual o sea que catalicen la misma reacción, necesitamos tres aminoácidos (a.a.) que cuando quedan organizados en el espacio queden cercanos sin importar que otras cosas más haya en esa proteína. Entonces puedo tener proteínas diferentes con pesos moleculares diferentes, con puntos isoeléctricos diferentes, no importa si catalizan la misma reacción estamos hablando de enzimas isofuncionales, de isoenzimas. En este caso vemos que hay dos isoenzimas que catalizan esa primera parte, quiero que observen dos cosas una que cuando aumenta la concentración del metabolito f o g, la segunda es que va a tener efecto sobre la primera enzima de la ruta, en este caso estamos hablando que hay dos, bueno el metabolito f modifica la actividad de la primera enzima y el metabolito g la de la segunda, entonces se puede dar el caso de que f esté en exceso y g no, el efecto global que voy a ver es que se va a ir más lenta la vía pero no se va a detener al 100%.

De la misma forma P explica los incisos B; C y D. Al finalizar su explicación dice:

P: Hasta aquí ¿tienen una pregunta o duda? ¿Sí queda clara esta parte? (al ver que nadie responde continúa) bueno ahora le vamos a poner nombre, pero no se trata de que se lo aprendan, lo que quiero es que vean en qué rutas metabólicas existen estos fenómenos y cuál es su sentido a nivel de fisiología celular de los cambios que se están dando. Vamos a ver ejemplos que tienen que ver con rutas catabólicas (coloca en el proyector otra acetato que muestra otro esquema).

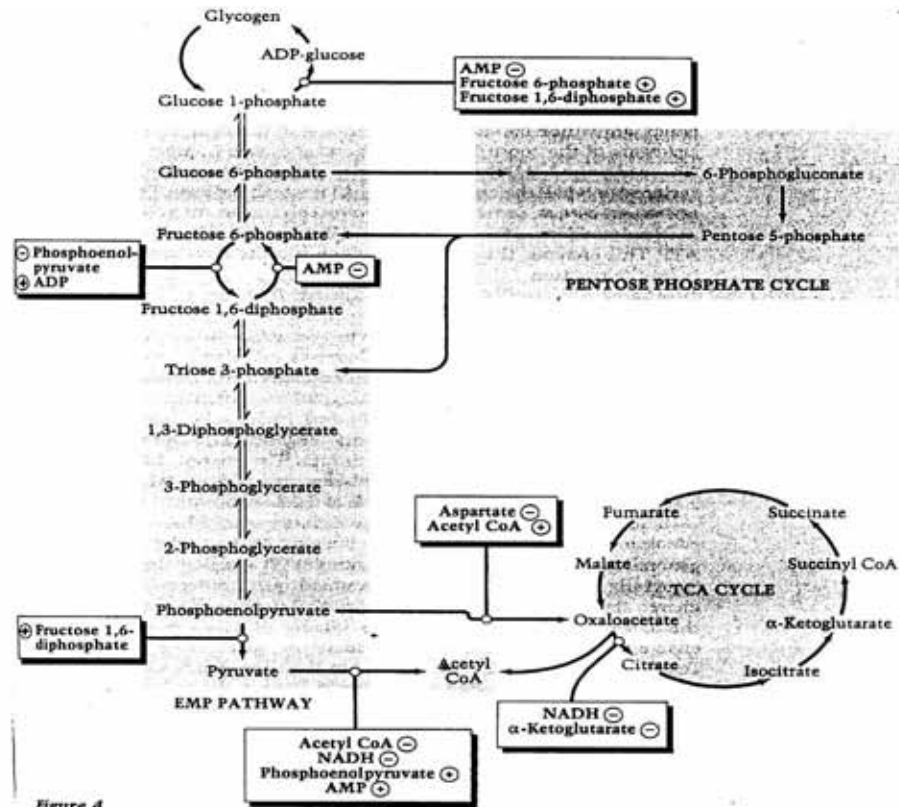


Figure 4  
Central pathways of fueling reactions showing some of the allosterically controlled steps. ⊖, negative allosteric effector, ⊕, positive allosteric effector.

Figura 3

Ella explica el esquema diciendo:

P: Las rutas donde estamos utilizando una fuente de carbono para obtener energía, vean lo que tengo aquí (señala el esquema) glucólisis y ciclo de Krebs, eso de aprenderse las rutas se me hace inútil, lo que prefiero que veamos es la estrategia, lo que quiere hacer la célula... lo que me toca revisar con ustedes es la regulación. En esta ruta hay puntos que están finamente regulados como el de fructuosa 6-fosfato a

Esto representa para mi un gran reto, pues implica que debo de ser capaz de traer al presente algún conocimiento que ya tienen, pero además los debo de encausar para que hagan ellos sus propias conexiones (que vayan “atando cabos” como suelo decirles), a la vez que debo añadir algunos elementos nuevos para que el resultado final sea el entendimiento de un sistema complejo que ahora va a ser utilizado con un fin que va más allá del conocimiento básico, ya que se pretende utilizar como un sistema de producción a nivel industrial.

fructuosa 1,6-difosfato, tienen pasos que regulan para un sentido y para el otro. Eso quiere decir que es un paso crítico, ese paso es importantísimo y por ello es sujeto a regulación, igual de fosfoenol-piruvato a piruvato y aquí hay algunos otros dentro de lo que es ciclo de Krebs y para la producción de oxaloacetato. Veamos qué pasa aquí resulta que en el sentido hacia el ciclo de Krebs el fosfoenol-piruvato inhibe porque es el producto final, pero cuál es el sentido de que inhiba, aquí el ejemplo que siempre les pongo es el segundo piso a la altura de San Jerónimo, todos vienen por el segundo piso hacia San Jerónimo, pero al llegar hacia la bajada todo se reduce a dos carriles y además vienen muchos coches por lo que se va lento, lento, entonces qué pasa aquí (señala la imagen) si ustedes tienen un exceso de fuente de carbono todo se va a ir a exceso de velocidad hasta llegar al cuello de botella que es el fosfoenol-piruvato, que es la entrada hacia el ciclo de Krebs, entonces cuando eso sucede, cuando ya hay embotellamiento el fosfoenol-piruvato dice “espérense tantito, váyanse más lento porque no me doy abasto”, entonces esto es la señal de que se debe ir más lento, por eso inhibe en esta parte. En cambio el ADP activa porque a él le falta, hay tanto ADP que entonces lo que falta es el ATP, entonces todo se activa lo más rápidamente, para generar intermediarios reducidos que son los que se van a ir a fosforilación oxidativa y a síntesis de ATP ¿sí?... (así continua su explicación)

Después la P trata el caso de una ruta anabólica, para lo cual coloca una imagen nueva y explica.

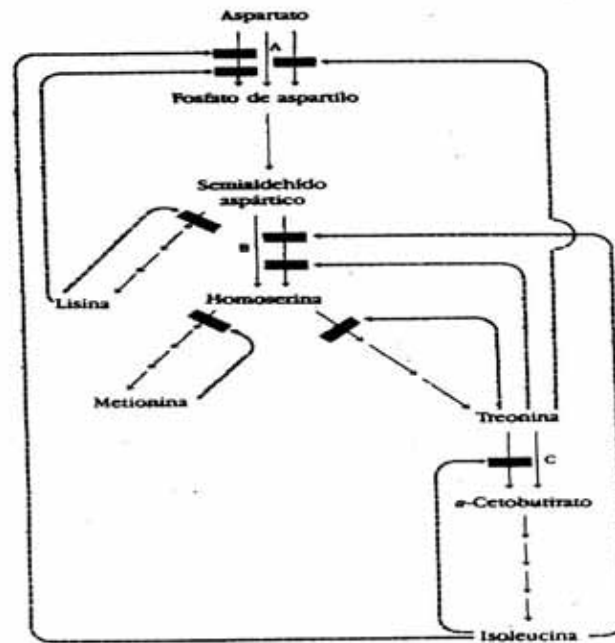


Figura 4

P: Tengo la ruta biosintética de algunos a.a., recordemos que los a.a. son productos que nos interesan biotecnológicamente hablando, son los principales metabolitos que se comercializan y que su origen es a través de microorganismos, bueno tengo que el precursor es el aspartato (va señalando en la imagen a medida que va explicando) y tengo una ruta bifurcada en varios puntos donde a partir del primero produzco lisina y después metionina; ... Lo que está marcado aquí son todos esos sistemas de regulación por producto final, quién regula a quién y cómo ocurre. Veán tengo primero como el caso "A" (se refiere al esquema que ya explicó y que estaba formado por varios incisos, figura 2), donde tengo enzimas isofuncionales que para pasar del aspartato al fosfato de aspartilo tengo tres enzimas, aquí lo interesante es que la enzima A, la de en medio, no está regulada por nadie, eso quiere decir que esta ruta biosintética es tan importante que nunca se detiene. Bajaré la velocidad pero nunca se va a detener porque siempre eventualmente se van a necesitar esos a.a. en mayor o menor concentración. Aquí el punto fino de la regulación es qué tal que ya no necesito lisina pero sí metionina, o qué tal que no quiero ninguna de éstas pero la treonina sí...esto es poder regular de una manera más fina cuáles me interesan



Ahora que si se analiza a la biotecnología como tal, nos daremos cuenta que estamos hablando de una interdisciplina, donde se debe hacer uso e interconectar muchos conocimientos de ese bagaje que se ha ido acumulando a través de los semestres, no sólo de conocimientos relacionados con el área biológica, sino a otros de ingeniería, química analítica, fisicoquímica, etc.

En un tema posterior se revisa con detalle cómo hacer las mutaciones para generar auxótrofos, en este momento sólo se ve qué son y cuál es su utilidad.

producir y cuáles no. Vean el caso de la lisina,... (así continua su explicación para cada a.a.)

En base a lo que acaba de explicar, ella trata de poner un caso hipotético, por lo que dice:

P: Entonces les voy a platicar la producción de un cierto tipo de células que ahora resulta que necesitan un nutriente específico...pongámonos la camiseta del biotecnólogo, ya teníamos puesta la del bioquímico, ya sabemos como es todo este asunto, pues lo que yo quiero producir a nivel industrial es metionina a mí no me interesan los otros a.a., yo lo que quiero es metionina, entonces a la hora de ver este esquema como que las cuentas ya no me salen pues como biotecnólogo sí tengo que pensar en números y en dinero finalmente. Lo que digo es, si pongo n moléculas del precursor se van a dividir en tres productos y eso no me conviene, porque del número de moles que yo inicie la voy a tener repartida en varias cosas. Cuál es la alternativa, si yo sólo quiero producir metionina, corto esta ruta y corto toda esta ruta ¿si? (se refiere a algunas partes específicas del esquema) Eso se puede hacer si induzco mutaciones sobre esta enzima y sobre ésta. Entonces cuando mutan esas enzimas y hago que pierdan su actividad, lo que estoy haciendo es cortar esa rama y cortar esta otra rama (señala en la figura), cuando se hacen esas mutaciones o cambios a nivel genético lo que estoy obteniendo son células auxótrofas. Pero ¿qué son las células auxótrofas o la auxotrofia?, esto quiere decir que yo tenía a las células en condiciones normales o nativas y sin haberles hecho ningún cambio eran capaces de hacer todo esto (señala el diagrama) pero debido a que yo le introduje un cambio perdieron capacidad, y no perdieron cualquier capacidad como decir era roja y ahora ya no lo es o era móvil y resulta que ahora ya no se mueve. No, está perdiendo una capacidad metabólica principal, no es lo mismo decir era móvil y ya no lo es, a decir producía lisina y ya no la produce. Si se dan cuenta con las células auxótrofas, si yo no le pongo esos nutrientes que ya no son capaces de sintetizar se mueren. La pregunta ahora es si hago una mutante que ya no produzca lisina, metionina, isoleucina, ni treonina ¿vivirá?

Es: sí

P: pero estamos hablando de a.a. esenciales, por lo tanto no vivirán, de dónde va a tomar isoleucinas y demás para hacer sus proteínas. Bueno lo que yo tendría que hacer es ponerles esas sustancias en el medio de cultivo, acuérdense de cuando hablábamos de la composición del medio de cultivo y que decíamos que a veces habría que ponerles cosas, este es uno de esos casos. Cuando están trabajando con cepas auxótrofas a algo, eso que ya no producen se lo tienen que poner ustedes en el

Los alumnos que egresan de la carrera de Químico en Alimentos, tienen las bases para poder ingresar a un posgrado relacionado con microbiología industrial. Por lo que también debo de tratar aspectos que son básicos en un posgrado en esta área y que se espera que el alumno ya haya revisado en la licenciatura. Este es el caso de la generación de auxótrofos y su utilización para sobreproducir metabolitos.

medio. Ahora va la segunda pregunta, en el caso de la lisina ¿cuánto de lisina le tendrían que poner? ¿Cualquier cantidad que se les ocurra? A ver ¿cuánto?

E: lo que la cepa produzca

P: pero cuánto es lo que la cepa produce, cómo lo podemos saber, además, qué tal que ustedes dijeran la cepa es capaz de producir 0.5 mg por litro, pues le pongo los 0.5 ¿no?, pero qué pasa si con los 0.5 ya inhibes aquí y allá arriba (señala partes específicas del esquema), ¿les convendrá? Pues no verdad, porque también inhiben la ruta del producto que quieren obtener, entonces ¿cuánto le tienen que poner?

E: se le debe poner lo necesario para que viva y se reproduzca

P: exactamente hay que ponerle lo necesario para que pueda vivir y se pueda reproducir, pero sin pasarnos de la raya, para que nosotros mismos no vayamos a ejercer la acción de inhibición. Acuérdense que el requisito número uno para que se de este tipo de inhibición es que la concentración del producto final tendría que elevarse a cierto nivel, y hasta entonces es cuando se ejerce el efecto. Entonces, la concentración que debo poner debe ser menor que esa, pero suficiente para crecer, y pueda producirse más metionina que es el metabolito que yo quiero. Para redondear esta parte de los auxótrofos y cuál es el efecto final, vean, si yo quisiera sobre producir porque ahora debemos hablar de sobre producir, finalmente de una célula nativa a la modificada debe haber sobreproducción en lo que es rendimiento del compuesto que yo quiero. Vamos a suponer que yo quiero sobreproducir lisina, entonces qué auxotrofías tendría que buscar, recuerden que auxotrofia quiere decir que ahora le tengo que poner algo en el medio para que pueda crecer, vuelvo a la pregunta, sobre productor de lisina ¿qué auxotrofías tendría que buscar?

Es: de metionina y treonina

P: también podrían decir auxotrofia a homoserina, si todo lo demás permaneció intacto pues ya de ese precursor se sigue, cualquiera de las dos respuestas está bien. Ya sea que le pongan la metionina, leucina e isoleucina tal cual o probar si con la homoserina se jala todo lo demás. Ahora si quiero sobre producir metionina ¿qué auxotrofías tendría que buscar?

Es: treonina e isoleucina

P: lo mismo si quiero producir treonina tengo que cortar aquí, aquí y cortar acá (señala partes específicas del esquema), esto es simultáneo si yo hablo de cortar hay que mutar estas enzimas para que ya no funcionen, entonces toda esta rama la corto, por lo tanto el microorganismo se haría auxótrofo a isoleucina. ¿Todo queda claro hasta aquí? ¿Hay alguna pregunta o duda?

E: entonces cómo calculo cuánto poner

P: es lo que le decía a tu compañera, que ya hay reportes en la literatura sobre todo para esto que es metabolismo primario y de los microorganismos clásicos...ya se

Al estar en contacto con el área de investigación, tengo buena idea del tipo de retos a los que nos enfrentamos en el laboratorio. Muchas veces, la respuesta a preguntas que surgen al diseñar un experimento o interpretar los resultados del mismo, están en las bases que se revisan en el curso teórico, por lo que cuando se puede trato de ponerlos en el caso en que tengan que aplicar lo que se acaba de exponer para la resolución de un caso práctico.

saben los limites que hay que agregar, sobre todo que también toman en cuenta muchas otras cosas para no inhibir lo que yo quiero, como lo que se transporta a través de la membrana, ¿alguna otra pregunta? Entonces déjenme ponerles este otro para que vean que hay de regulaciones a regulaciones (pone otro esquema)

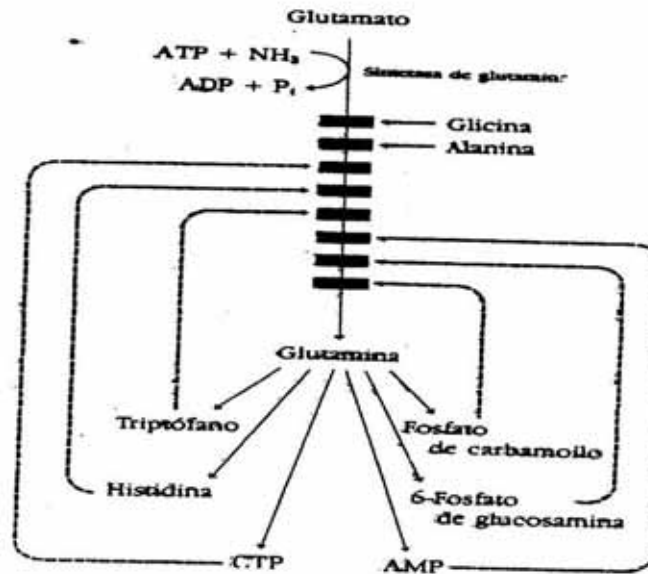
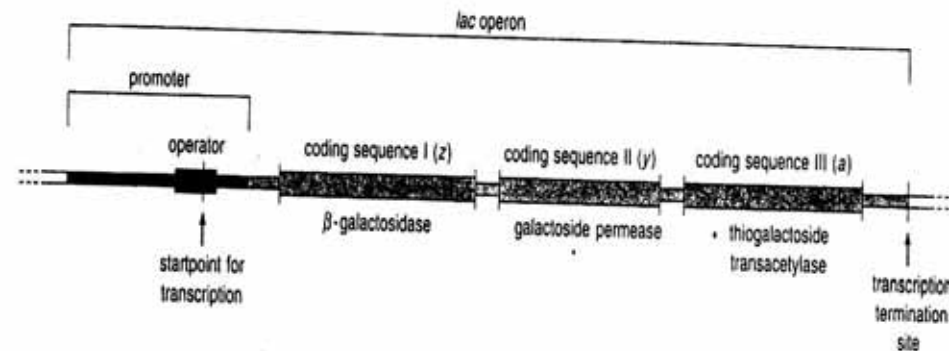


Figura 5

P: Vean aquí, el precursor es glutamato y lo que yo quiero producir es histidina, triptofano, CTP y AMP, estos dos compuestos (señala CTP y AMP) son potenciadores del sabor, también como el glutamato. Esto está interesante, vean cómo es una sola enzima, que es la glutamina sintetasa y esa enzima se ve regulada por todos éstos. Eso quiere decir que tiene varios sitios alostéricos, uno para reconocer cada uno de estos metabolitos (señala los productos finales), y no sólo eso, resulta que cada uno de estos productos tiene un efecto inhibitorio, pero vean que lisina y alanina, que vienen de otras rutas biosintéticas, tienen efecto sobre ésta. Esto es como en el caso “D”, donde metabolitos producto de otra ruta pueden tener efecto sobre una ruta diferente.

Por otra parte, uno de los enfoques más modernos de la biotecnología es la generación de células modificadas genéticamente, ya sean microorganismos, insectos, plantas o animales. Es un tema que se trata muy frecuentemente en los medios de comunicación, que ha estado en tela de juicio, que ha sido satanizado por un sector, idealizado por otro, pero del cual en general se habla sin tener fundamentos. En vista de lo anterior, en este tema se revisan los fundamentos bioquímicos que nos ayudarán a entender el funcionamiento de las "herramientas" de las que se echa mano para realizar modificaciones genéticas, esto es la tecnología del ADN recombinante.

Ella recalca que lo que vieron es regulación de actividad enzimática, y que las enzimas ya estaban ahí, nada más habría que ver qué hacer para que fueran más afines o menos afines al sustrato y por lo tanto que fuera más rápida o más lenta la reacción metabólica. Dice que lo que ahora verán es la regulación de la expresión génica, eso quiere decir que la proteína todavía no se ha sintetizado, por lo que pregunta ¿qué es lo que hace la célula a nivel de transcripción de genes o sea qué sucede a nivel de ADN para que haya o no síntesis de proteínas? Dice que no sólo a nivel de ADN se puede afectar la transcripción o la velocidad de las reacciones. Que en este nivel de expresión de genes también tenemos el efecto positivo y el efecto negativo, el efecto positivo se llama activación también y el efecto negativo se llama represión (mientras dice esto lo va escribiendo en el pizarrón). Aclara que no es lo mismo inhibición que represión. Represión estamos hablando ya a nivel de genes de que si ese gen se transcribe o no se transcribe y que para revisar esto verán lo que es un operón y cómo es que se regula ya después la expresión o no de ese operón, y muestra otro esquema (figura 6).



**Figure 3.19** The lac operon showing the structural genes and promoter region. The repressor binds to the operator site on the DNA. β-galactosidase hydrolyzes lactose into glucose and galactose, and galactoside permease facilitates the transport of lactose and other sugars into the cell. The function of thiogalactoside transacetylase has not been completely elucidated.

Figura 6

En esta parte lo más relevante es que comparen dos modelos celulares en lo que respecta a su organización y regulación genética. Podemos organizar a los seres vivos en procariotes (bacterias) y eucariotes (todos los demás seres vivos). Una vez entendiendo las diferencias que existen entre ambos grupos, será más fácil abordar las herramientas de biología molecular que se utilizan para hacer modificaciones genéticas tanto en microorganismos como en organismos superiores; en ambos casos, uno de los puntos críticos para que la modificación genética sea funcional está relacionado con el entendimiento y aplicación de las señales de regulación adecuadas para que el o los genes de interés se expresen.

Ella explica lo que es un operón ayudándose del diagrama anterior.

P:... un operón es un fragmento de ADN que comprende genes estructurales o sea los que codifican para las proteínas, pero además de esos genes estructurales, hay algunas regiones que preceden o están después de esos genes estructurales que son regiones de regulación. En el caso de los fragmentos de ADN que están antes del gen estructural estamos hablando de lo que sería el promotor y al final debe haber un terminador, que son esas regiones que le indican a la RNA polimerasa que ya se acabó, que hasta ahí llega la transcripción...

Más adelante ella aclara que en los eucariotes, los operones sólo tienen un gen estructural. Entonces de una ruta metabólica que tiene 10 proteínas hay 10 operones que se regulan independientemente, eso lo hace más complicado y lo hace más tardado. Si estamos hablando de tiempos ésta es una de las razones por las cuales las bacterias tienen un tiempo de duplicación mucho menor que las levaduras, que las células vegetales o animales, porque es más compacto y más rápido todo; ella dice:

P: ...en este tipo de situaciones no necesitan prender, es decir se transcribe ese gen, no necesitan prender uno por uno, sino con que prendan uno se prendieron todos de corrido, eso es una gran ventaja (muestra otra figura).

Esta revisión de los fundamentos, muchas veces resulta pesada, pues se requiere repasar y explicar muchos conceptos de bioquímica y biología molecular, pero es necesario hacerlo, de otra forma no se entendería el tema que trata de la utilización de tales herramientas moleculares.

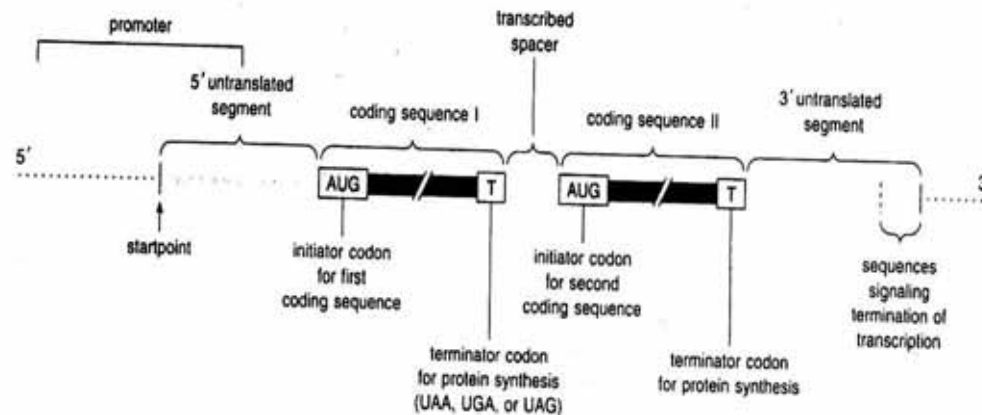
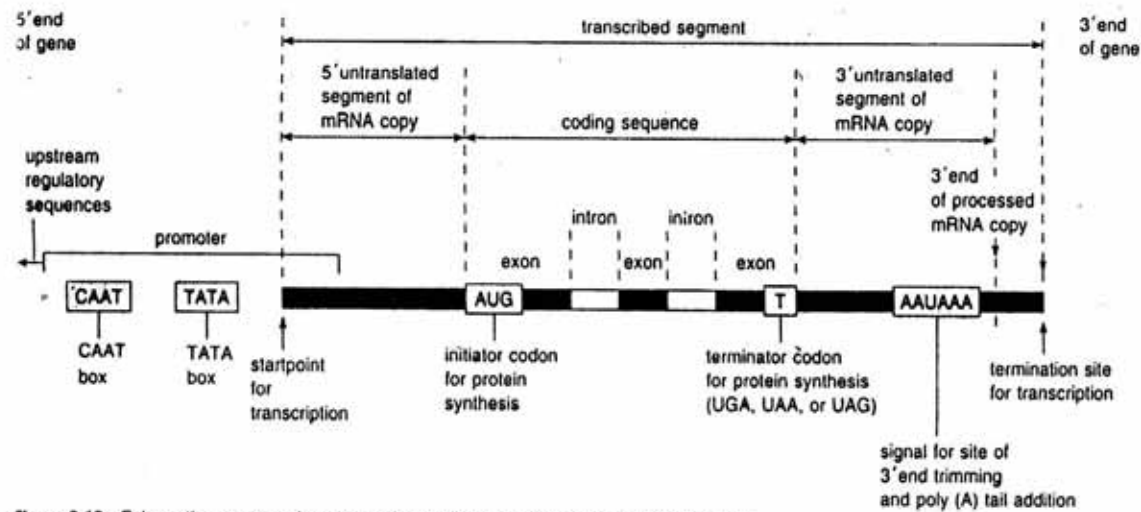


Figure 3.18 A prokaryotic operon.

Figura 7

Se trata de una figura que muestra el mismo operón, pero con más detalle, por lo que Maricarmen la explica resaltando los detalles que la componen, al finalizar su explicación coloca otra figura (figura 8) en donde hay un operón eucariote. Ella trata de explicar las coincidencias y las diferencias que existen entre la figura 7 y la 8.



**Figure 3.12** Eukaryotic promoter elements and other sequences important for transcription and translation. Introns also may be present within the gene coding sequence. The transcribed segment is presented as RNA (with uracil in the sequence). The CAAT and TATA boxes are shown as the DNA missense sequence (the sequence complementary to the DNA templates).

Figura 8

P:... Aquí está el inicio, AUG que es metionina y los terminadores que son los mismísimos; por eso hablamos de que el código genético es universal, cada a.a. va a ser lo mismo no importa si es virus o bacteria o protozooario, levadura o humano, todos los codones van a codificar de la misma forma. Donde hay una pequeña diferencia es en las mitocondrias y en los cloroplastos pero de ahí en fuera todo es igualito. Veán (señala en el esquema) como yo les decía sólo hay un gen estructural, aquí esta el promotor y aquí el terminador y el terminador sabemos que en el caso de

eucariotes es poliadeninas llamada la cola de poliAs, eso indica que ahí acaba la transcripción...

Maricarmen dice que ya que ubicaron lo que es un operón ahora van a ver cómo es que regula, y que para esto el ejemplo clásico es el operón de la lactosa (cambia el esquema).

Es interesante que aunque es un modelo que se revisa varias veces en la licenciatura, es muy complejo e involucra muchos eventos bioquímicos dentro de la célula. En esta parte, hago referencia al premio Nobel que se ganaron los investigadores que describieron este modelo, con el fin de enfatizar lo que mencioné anteriormente, no es trivial el entendimiento de lo que sucede en la célula, y aunque uno crea que ya se sabe TODO, a la fecha se siguen encontrando eventos bioquímicos más sofisticados que se relacionan con su funcionamiento y su repercusión en la fisiología de la célula.

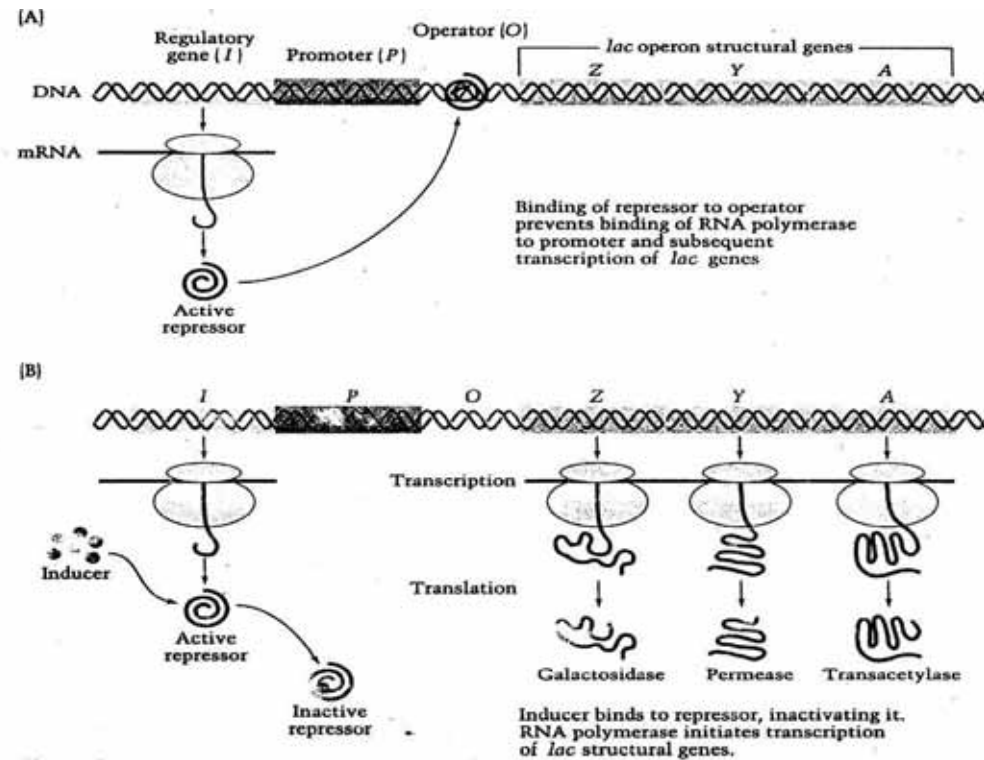


Figura 9

Figure 5  
The classical operon model of Jacob and Monod, as proposed for the regulation of the *lac* genes of *E. coli* in 1961. (After Jacob and Monod, 1961.)

Ella explica que en el operón de la lactosa aparentemente suena que es obvio lo que sucede ahí, pero que en un inicio la pregunta que se hicieron es ¿qué es lo que está pasando?, ¿es regulación de la actividad enzimática o es regulación transcripcional? P aclara que esto era en la época de principios de

Esta figura es la más importante del tema de regulación de expresión genética, pues resume las varias alternativas que la célula tiene para permitir o evitar que un gen se exprese y esto se puede relacionar con la producción de alguna enzima de interés industrial o con la regulación de producción de enzimas que pueden traer un problema a nivel de salud de humanos.

los 60s. Recuerda que la estructura del ADN y todo eso se acababa de descubrir, por ello la pregunta es muy prudente. También dice que lo que hicieron fue un trabajo maratónico, un esfuerzo científico grandioso para la época, que les valió el premio Nobel en 1961 a Jacob y Monod, y que eso es algo que muchas veces no les comentan. También explica el tipo de experimentos que se hicieron en esa época y lo que se demostró. Después coloca otro diagrama y dice que verán con más detalle lo que pasa.

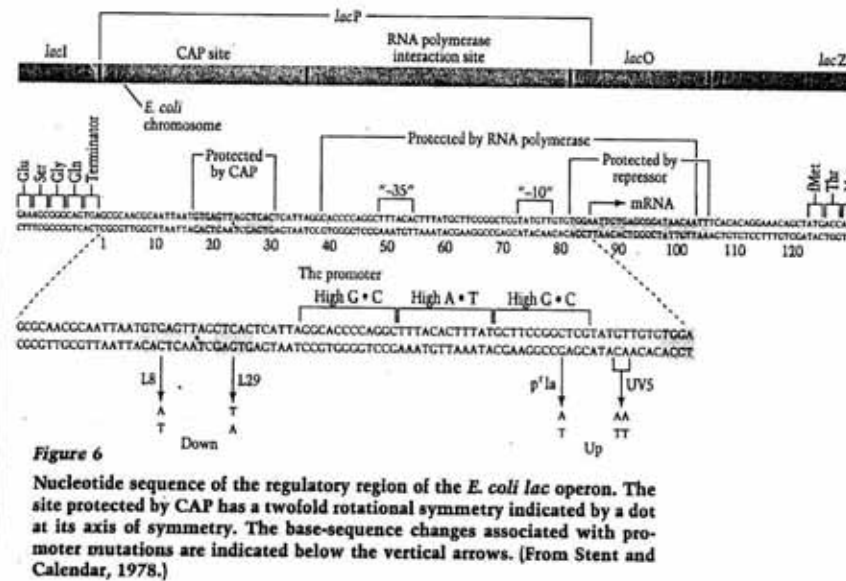


Figura 10

Ella explica a detalle el esquema y dice que todo esto es para que se den cuenta que la RNA polimerasa ocupa un gran espacio, es una proteína multimérica, son 5 subunidades, es todo un monstruo que ocupa un gran espacio. Por lo tanto provoca un efecto estérico.

P:... entonces, vamos a ir completando este cuadro de operón de lactosa. En primer lugar si la lactosa está ausente, o sea que sólo tengo glucosas, el represor va a estar pegado aquí, al operador, y no hay transcripción, no puedo medir actividad de beta



galactosidasa. Ahora ¿qué pasa cuando la lactosa está presente?, el represor interactúa con lactosa, la separa de esta parte y entonces sí puede haber transcripción. Qué es lo que se ve experimentalmente, si ustedes tienen a una *E. coli* en presencia de glucosa y lactosa o sea las dos están presentes en el medio, ¿qué va a hacer *E. coli*? Primero se va a comer a la glucosa porque es la que más le gusta, la que prefiere, y va a bloquear las entradas, o sea las permeasas de la lactosa...

Posteriormente, Maricarmen muestra otro esquema (figura 11) y dice que en éste se indican los puntos de regulación de los que ya ha hablado. La figura contiene varios puntos marcados con números que ella va explicando uno a uno de la siguiente manera:

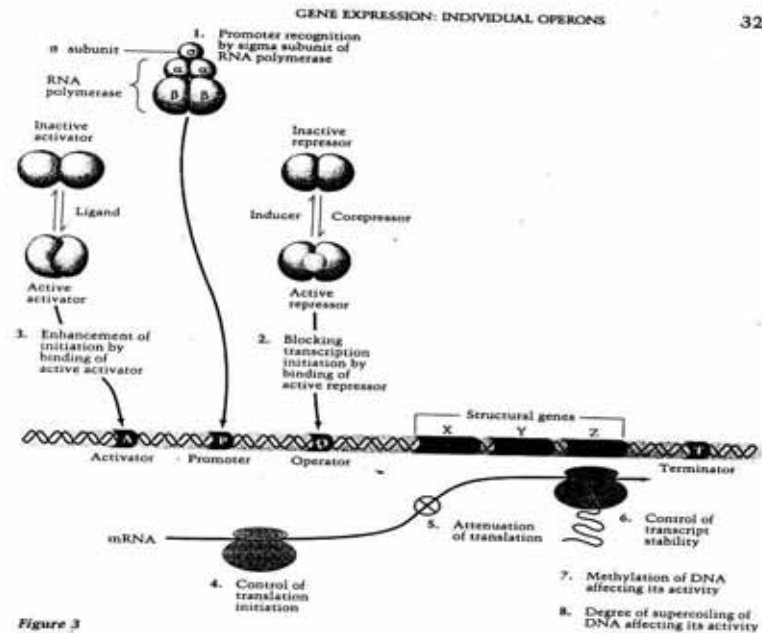


Figura 11

P: Primero vamos a ver la parte de arriba, esta proteína multimérica que les digo que son 5 subunidades es la RNA polimerasa, vean que es una molécula muy grande, tiene dos subunidades beta, dos alfa y una sigma. Ese sigma es importantísimo porque es la subunidad que reconoce al promotor, si no existiera el sigma, la RNA polimerasa pasaría por ahí y no ve nada, con esta sigma se reconoce al promotor. Ahora vean, esta figura representa los diferentes puntos de regulación para lo que es síntesis de mensajero y síntesis de proteínas, entonces el primer punto de regulación es el reconocimiento del promotor por la subunidad sigma, por qué, pues resulta que está el promotor, aquí está la RNA polimerasa y se tienen que reconocer, resulta que en todo el genoma de los microorganismos y de otros procariones y eucariotes, hay varios genes que sólo se transcriben bajo ciertas circunstancias especiales. Porque resulta que sus promotores son especiales y hay un sigma especial para esos promotores. Por ejemplo, los genes que están relacionados con el daño por reparación con luz ultravioleta, los famosos genes lux, solamente se van a transcribir cuando hay daño por luz ultravioleta, eso quiere decir que hay un sigma especial que reconoce a esos promotores y sólo bajo esas circunstancias se transcriben...El segundo caso (señala la parte del diagrama marcada con el número 2) es el que bloquea la transcripción debido a que en el operador se pega una proteína reguladora que aquí está, la proteína reguladora puede que necesite un correpresor para poder actuar o puede ser que no. El punto es que esa proteína activa se pega aquí y bloquea la transcripción, tal cual, físicamente hay un bloqueo. El tercer caso... (Así de la misma forma va explicando los demás puntos)

Como último punto Maricarmen menciona el caso del operón de triptofano, ella aclara que el efecto es totalmente al contrario del operón de lactosa, pero que el sistema se parece mucho, para ayudarse a explicar esto, muestra otro esquema (figura 12) donde ejemplifica el caso de la lactosa y dice:

P:...aquí esta la proteína reguladora que está pegada al operador; cuando hay lactosa se separa y permite que haya transcripción, hasta ahí es lo que hemos estado platicando. Ahora vean lo que pasa con triptofano.

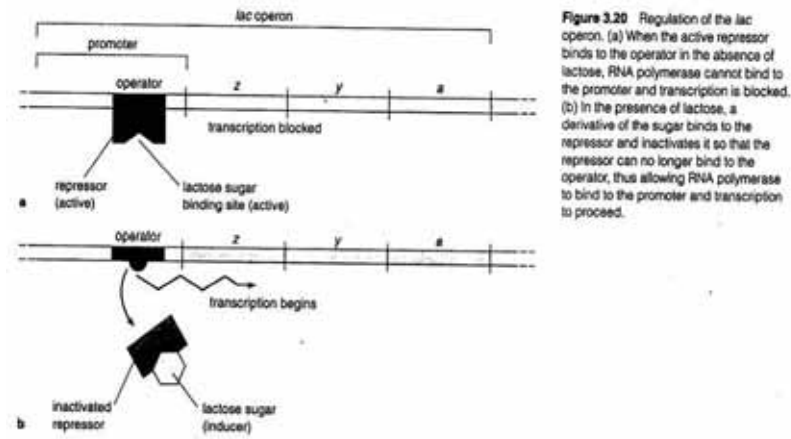
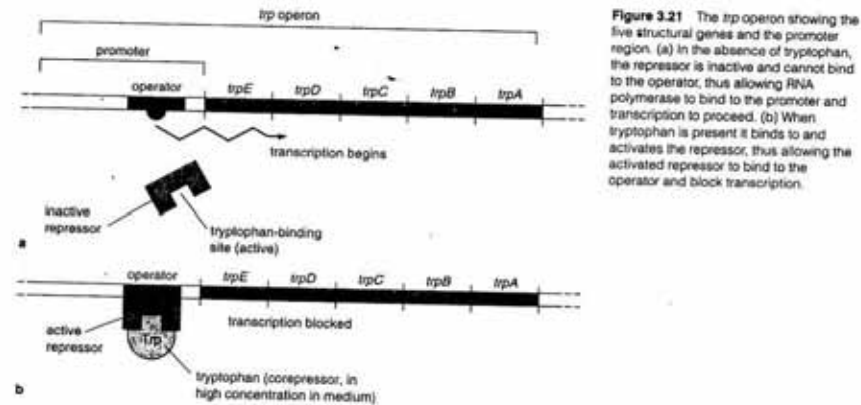


Figura 12

Cambia la transparencia y ahora muestra el ejemplo del triptofano (figura 13).

P explica que el operón de triptofano siempre está funcionando pero cuando hay mucho triptofano en el medio, el triptofano interactúa con la proteína reguladora y lo hace afín al operador, o sea, que ahí el triptofano es el correpressor. Ella concluye su explicación diciendo:



P:... Cuando hay mucho triptofano, el represor activo se pega aquí y ya no hay más transcripción. Entonces, vean en la biosíntesis del triptofano que existen todos los niveles de regulación, tenemos regulación a nivel de transcripción que es ésta, tenemos regulación a nivel de producto final y tenemos regulación por atenuación que es ésta y que no platicamos con detalle. Entonces la síntesis de triptofano está finísimamente regulada, con tantito más de triptofano ya empieza a haber atenuación, si hay mucho triptofano ya de plano pasa esto (señala el esquema) y con que empiece aumentar la concentración puede haber inhibición por el producto final. Como ven esto es demasiado complejo, por ello les pongo la analogía de los radios antiguos de los abuelitos, que tienen un botón grande que te acercaba a la frecuencia y luego tienen un botón chiquito que te acercaban con más detalle, lo mismo es aquí, pueden tener el botón grandote que dice se deja de producir porque ya ni siquiera voy a producir la proteína, o el botón chiquito que si hay tantito más de concentración ya se forma esa estructura secundaria de la atenuación y tantito más ya empieza a haber inhibición por el producto final y si ya hay más ya se reprime. La verdad es demasiado complejo. Vamos a suponer que lo que yo quiero producir industrialmente es triptofano, ¿qué tengo que hacer?, pues evitar que haya las tres regulaciones porque no quiero que el gen se apague, eso sería lo peor...entonces lo que puedo hacer es mutar a nivel de ADN para evitar que haya reconocimiento al operador y para evitar que haya el efecto alostérico por la enzima de la ruta metabólica ¿si? (se corta la grabación).



## CAPÍTULO 5. Análisis de los Resultados

### *Introducción*

Al principio del siglo XX el estudio de los fenómenos naturales fue dividido en disciplinas como la física, la química, y la biología; antes de fin de siglo la ciencia fue vista como un “collage transdisciplinario de comunidades de ingenieros, de tecnólogos, de científicos y de agencias de financiamiento” (Latour, 1987, citado en Aikenhead, 2000, P. 246). La investigación moderna de la ciencia ocurre en equipos centrados en los aspectos funcionales de la ciencia y de la tecnología mientras que se relaciona con el bienestar humano, el desarrollo económico, el progreso social, y la calidad de la vida (DeHart Hurd, 1998, P. 409). Este cambio de énfasis no se hace evidente en los planes de estudios de las escuelas (Aikenhead, 2000).

Demasiado a menudo en el pasado la relación entre la ciencia y la tecnología se ha visto en términos de tecnología como ciencia aplicada; ciencia y tecnología como comunidades independientes o tecnología como dar lugar a la comprensión científica (Gardner, 1995; Acevedo, 1998; Fernández, Gil, Valdés, y Vilches, 2005). Un análisis de la naturaleza de la ciencia y de la naturaleza de la tecnología demuestra que hay una relación compleja entre las dos. Es importante que algo de esta complejidad se haga evidente en los Planes de estudio de la ciencia. Los estudiantes necesitan una comprensión de la ciencia y de la tecnología y sus relaciones para desempeñar un papel activo como ciudadanos en una sociedad democrática (Hodson, 2003).

La biotecnología es un ejemplo de la ciencia moderna que proporciona a los profesores un contexto para mostrar cómo los equipos de científicos, tecnólogos y científicos sociales trabajan juntos. Ésta es una de sus grandes ventajas en el contexto educativo. También ofrece oportunidades a los estudiantes y maestros para explorar y debatir críticamente los dilemas y las cuestiones éticas que se plantean durante el proceso biotecnológico (Phoenix, 2000). Además, la política social y las cuestiones derivadas de la práctica de la biotecnología proporcionan un rico contexto para vincular a la ciencia con el entorno del estudiante.

Las definiciones de la biotecnología pueden variar desde aquellas que son tan generales que pueden incluir casi todas las formas de actividad biológica, hasta las que requieren la participación de la Ingeniería genética. En la tabla 5.1 se muestran definiciones de la biotecnología, emanadas de enfoques distintos. Es importante hacer notar que el enfoque que se marque en el Programa de Estudios repercute directamente sobre la enseñanza de este tema. Por ello, la última definición de la tabla permite, a un profesor, la posibilidad de explorar a la biotecnología desde el ámbito tradicional como el uso de fermentaciones, o desde el ámbito moderno que hace uso de las técnicas de la Ingeniería genética, así como de reconocer la participación de las personas involucradas en el proceso. Entonces, es indispensable que el maestro tome en cuenta en su planificación, el enfoque que manejará en este tema.

Tabla 5.1. Definiciones de la biotecnología

Enfoque	Definición	Autor
Tradicional	<p>Biotecnología supone un grupo de tecnologías que se basan en la aplicación de procesos biológicos para resolver problemas y hacer productos</p> <p>La biotecnología es una serie de tecnologías habilitantes, con la participación de las células o componentes subcelulares (por ejemplo, enzimas) que se aplica a la industria y la gestión del medio ambiente</p>	<p>MoRST, 2003</p> <p>Kennedy &amp; Davies, 1994.</p>
Basada en técnicas de Ingeniería genética	<p>La biotecnología es toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación y modificación de productos o procesos para usos específicos</p> <p>La biotecnología es el uso tecnológico de los organismos vivos para elaborar o modificar productos, mejorar plantas o animales, para desarrollar microempresas → organismos para usos específicos o para proporcionar bienes y servicios</p>	<p>Eichelbaum y otros, 2001.</p> <p>MoRST, 2005</p>
Reconoce el papel de las personas en forma implícita	<p>La aplicación de principios científicos y de ingeniería al tratamiento de materias por agentes biológicos y el tratamiento de los materiales biológicos para mejorar la calidad de vida.</p>	<p>New Zealand Biotechnology Association, 1995</p>
Toma en cuenta las tres anteriores	<p>La biotecnología es un grupo de tecnologías que se basan en la aplicación de procesos biológicos para resolver problemas y hacer los productos en beneficio de la población y mejorar la calidad de vida.</p>	<p>France, 2007</p>

Estas definiciones de la biotecnología hacen patente la necesidad de que sea incluida en los Planes de estudio. Internacionalmente, se está haciendo un esfuerzo para que la biotecnología tenga un lugar en los Planes de estudio de nivel básico. Por ejemplo, en Nueva Zelanda, las nuevas ediciones del Plan de estudios del nivel primario incluyen la producción y el uso de cosechas y de productos farmacéuticos genéticamente modificados (Moreland, Jones y Cowie, 2006); en el curriculum inglés se da una atención a la biotecnología “moderna”, se procura que los estudiantes de 14-15 años de edad comprendan los principios de la clonación, la crianza selectiva y de la ingeniería genética (Souter, 2003: 61). Del mismo modo, en Escocia, la biotecnología moderna se coloca dentro de la educación científica superior, y los ejemplos que se dan muestran una perspectiva de ciencia aplicada con la disposición para el debate sobre cuestiones sociales y éticas (Bryce & Gray, 2004).

Aunque es difícil generalizar acerca de los planes de estudio en América, una búsqueda en línea reveló que en la mayoría de los planes de estudios la biotecnología aparece dentro de los Planes

de estudio de ciencia, con una fuerte perspectiva de ciencia aplicada, mediante la aplicación de los procesos biológicos. En muchos planes de estudio de América la distinción entre la biotecnología tradicional y la moderna es bastante marcada: la enseñanza de la biotecnología moderna se limita al nivel superior siguiendo las tendencias internacionales (France, 2007). Sin embargo, la inclusión de esta disciplina conlleva la necesidad de adecuar o modificar toda una serie de dimensiones sociales que se traslapan con las dimensiones científicas y tecnológicas, lo que presenta un desafío para los educadores.

Está aumentando el reconocimiento del papel central del profesor en la reforma y el aprecio de la complejidad del proceso de enseñanza y de los conocimientos que los profesores necesitan desplegar en el momento de la enseñanza. La biotecnología es un área particularmente compleja debido a sus numerosas dimensiones científicas, tecnológicas, sociológicas, y éticas. Esto parece crear incertidumbre en los profesores, sobre cómo acercarse a la enseñanza de este tema, y cómo manejar las inquietudes de los estudiantes sobre el mismo (Michael, Grinyer, y Turner, 1997).

En un estudio reciente, elaborado en Nueva Zelanda a nivel nacional, la cuarta parte de 851 profesores de tecnología entrevistados, indicaron que la biotecnología no les fue enseñada en sus escuelas y que ésta es una de las áreas de la tecnología más difíciles de enseñar (Jones, Harlow, y Cowie, 2004). El conocimiento del profesor fue identificado como el factor más importante que influye en la facilidad de proporcionar experiencias tecnológicas, particularmente para los profesores de primaria. Sin embargo, el profesor de biotecnología no sólo necesita conocimientos de la disciplina, sino también requiere conocer la forma de acercar esos conocimientos a los estudiantes, es decir, transformar su conocimiento disciplinario en un conocimiento útil para la enseñanza, así como lo explica Shulman (Shulman, 1987) en el Conocimiento Pedagógico del Contenido.

El desafío para los profesores y los educadores de la ciencia y de la tecnología es cómo proporcionar experiencias de aprendizaje en esta área. Un estudio de caso, sobre el CPC de la biotecnología realizado por Moreland y colaboradores (2006) ha destacado la importancia de saber la naturaleza de la biotecnología y cómo la ciencia y la tecnología contribuyen a ella. El artículo ha destacado algunas de las características del CPC que los profesores eficaces utilizan para enseñar biotecnología. Las características reportadas por estos autores forman una parte crucial de la educación del profesor para las nuevas ciencias, tales como la biotecnología y son:

- naturaleza de la biotecnología y de sus características;
- aspectos conceptuales, de procedimientos, sociales y técnicos del tema;
- conocimiento del plan de estudios, incluyendo metas y objetivos así como programas específicos;
- conocimiento del estudiante que aprende el tema, incluyendo el conocimiento existente, fortalezas y debilidades, así como conocer su progreso de aprendizaje
- prácticas específicas de la enseñanza y la evaluación del tema (por ejemplo: auténtico, holístico)
- entender el papel y el lugar del contexto; y
- ambiente y control del salón de clase en lo referente al tema (recursos de manejo, equipo, y dirección técnica).



Con base a lo anterior se buscó en los Papers de las profesoras observadas, la definición de biotecnología empleada, el enfoque con el que la manejan, así como las actividades o ideas que caracterizan la enseñanza de este tema, tanto a nivel medio superior como en el superior.

Por otra parte, como ya se dijo, pese a todo lo antes expuesto, el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), no contempla a la biotecnología dentro de sus programas actuales de química, aunque sí la conserva como un tema de la Biología I (Ingeniería Genética y sus aplicaciones). Ello es sin duda una desventaja en el proceso formativo de los estudiantes ya que:

1. No se presenta en los cursos de química un caso en el que sea tan claro tener que diferenciar nítidamente las actividades y conocimientos científicos de los tecnológicos, expresarlas como dos acciones diferenciadas, aunque paralelas y concurrentes, sin duda de naturaleza singular. La conclusión que se alcanza con el estudio de la biotecnología es que la ciencia y la tecnología tienen propósitos diferentes: la primera trata de ampliar y profundizar el conocimiento de la realidad; la segunda, de proporcionar medios y procedimientos para satisfacer necesidades;
2. Se pierde una justificación para integrar las actividades científicas con las tecnológicas, utilizando en ello el carácter social de las aplicaciones de la biotecnología;
3. Por lo tanto, el estudiante no logra apreciar cómo el conocimiento científico y tecnológico se convierten en una de las claves esenciales para entender la cultura contemporánea, por sus contribuciones a la satisfacción de necesidades humanas;
4. Se pierde la oportunidad de hablar de valores y de ética en la práctica biotecnológica, en la que aparecen mezclados: a) valores constitutivos de la tecnología –tales como racionalidad técnica, «virtuosismo» tecnológico, eficiencia, estética, economía, etc.–; b) valores contextuales –como, por ejemplo, razones de beneficio económico, bienestar social, prestigio nacional o industrial, poder político, militar o empresarial, la influencia del género, etc.–; c) valores que subyacen en la elección de los problemas a resolver con la tecnología, en el propio diseño tecnológico y en los criterios que se utilizan para evaluar los resultados de la opción elegida (Acevedo, 1998).

### *Análisis de los Papers de Refugio*

De acuerdo a lo observado en los tres Papers de Refugio Saldaña (el primero presentado en el capítulo de resultados y los otros dos en los anexos 1 y 2), y en muchas otras clases que se presenciaron, podemos relatar lo que describiríamos como el estilo que caracteriza su enseñanza. Podemos adelantar las siguientes características generales de su enseñanza, las cuales vamos a ir desbrozando poco a poco en lo que sigue de este análisis:

- 1) Definición moderna de la biotecnología;
- 2) Utilización de metodología computacional de última generación;
- 3) Empleo de las estrategias generales del aprendizaje cooperativo;
- 4) Situación del tema que está tratando en el programa de estudios;
- 5) Utilización del planteamiento de preguntas como estrategia de enseñanza;
- 6) Empleo de analogías como apoyo al aprendizaje;
- 7) Situación de los aspectos educativos (como ejemplos, imágenes, lecturas, etc.) en contexto, según las propuestas propias del movimiento CTS;

- 8) Comparación con el estudio de Moreland, Jones y Cowie (2006);
- 9) Un ciclo de aprendizaje en la enseñanza de Refugio.

## **Definición moderna de la biotecnología**

Refugio emplea esencialmente una definición moderna de la biotecnología, que involucra el empleo de las técnicas de la ingeniería genética, ya que empieza hablando de organismos transgénicos, con un gen de bioluminiscencia y dice:

“por transgénesis se le insertó un gen que transmite [produce luz por fluorescencia] luz porque ahora produce una proteína que es luminiscente”.

Posteriormente nos presenta un acetato que indica:

“los genes de los organismos pueden alterarse gracias a la ingeniería genética”

Y otro que reza:

“la ingeniería genética forma parte importante de la biotecnología moderna”.

Por otra parte, hay que recalcar que la definición de la biotecnología con la que se identifica la enseñanza de Refugio, no obstante que el tema que imparte es “La Ingeniería Genética y sus aplicaciones”, es la que toma en cuenta tanto a la biotecnología tradicional como a la moderna y a las personas involucradas en el proceso. Una de las frases que apoyan esto es la siguiente:

Lee las transparencias y explica que se refiere a la biotecnología moderna porque antes de la ingeniería genética ese término se relacionaba comúnmente con la industria de los vinos y las fermentaciones, es decir la utilización de seres vivos para fines determinados. En la actualidad la biotecnología sólo se entiende si se habla de la ingeniería genética, aunque no es la única rama importante.

Inmediatamente habla de la construcción de plásmidos, mediante las enzimas de restricción y se pasa un buen tramo de la clase hablando de los plásmidos.

## **Utilización de metodología computacional de última generación**

Ella siempre utiliza como herramientas de trabajo, además del pizarrón (que generalmente lo emplea para hacer alguna precisión) cañón y computadora portátil; no obstante el trabajo e inconvenientes que esto le demande. También queremos destacar que estas herramientas le permiten mostrar un gran número de imágenes y acetatos a color, y en ocasiones hasta animaciones, con lo que la calidad de dichas figuras le sirve como un gran apoyo para su clase. Ello resulta atrayente y poco rutinario para los alumnos; también podríamos decir “novedoso”, pues son muy pocos los profesores del plantel (CCH Azcapotzalco) que utilizan este tipo de herramientas. La información que presenta en los acetatos es mínima, sólo la que ella quiere destacar y generalmente la usa para guiar sus comentarios: esta información al igual que las imágenes, siempre son cuidadas y presentadas con claridad. También suele presentar otras actividades como ejercicios, discusiones grupales sobre lecturas realizadas extraclase, elaboración de modelos, etcétera.

## Empleo de las estrategias generales del aprendizaje cooperativo

Las clases siempre inician con puntualidad y se efectúan en un ambiente de respeto y cordialidad. Cabe resaltar que su enseñanza es personalizada, ya que conoce el nombre de todos sus alumnos y lo usa para referirse a ellos, ya sea para demandarles que respondan alguna pregunta, que le den su opinión o para aclararles alguna duda. Cuando se realiza una actividad en equipo, siempre está pendiente de lo que lleva a cabo cada conjunto de estudiantes, pasa de mesa en mesa con todos los equipos para asegurarse que entendieron lo que se les solicitó, o bien para saber qué es lo que están haciendo o pensando. Ésta es una de las virtudes que se han destacado del método de aprendizaje cooperativo (Sharan, 1994; Cooper, 1995; Johnson y Johnson, 1999). Algunos ejemplos de ello son:

P: ¡a ver ustedes! ¿Qué contestaron sobre el mecanismo para modificar los genes? (pregunta a unos cuantos, por su nombre)

Refugio da las instrucciones de lo que deben hacer los alumnos en la actividad, les pide que empiecen y pasa a cada mesa para aclarar dudas sobre lo que se está haciendo. En todo momento se cerciora que los alumnos tengan clara la actividad, platica con ellos, les hace preguntas y los anima a concluir

Bueno, ahora si ¿quién quiere empezar? (unos alumnos levantan la mano) Le damos la palabra a Sandra y Fernando para que nos digan las ideas principales del texto

Melanie Cooper (1995) nos presenta una definición de aprendizaje cooperativo: “Es una técnica de instrucción por la cual los estudiantes trabajan juntos en pequeños grupos fijos sobre una tarea especialmente estructurada”. Nos presenta algunas de las ventajas del aprendizaje cooperativo, tales como:

1. Los estudiantes toman responsabilidad de su propio aprendizaje y se vuelven activamente comprometidos.
2. Los estudiantes desarrollan habilidades de pensamiento de alto nivel.
3. Se incrementa la retención estudiantil.
4. Se incrementa la satisfacción con la experiencia de aprendizaje y promueve actitudes positivas hacia el tema de la clase.

## Situación del tema que está tratando en el programa de estudio

Refugio siempre sitúa en el programa el tema que va a tratar, también hace énfasis cuando cambia de un subtema a otro, o bien, anticipa lo que tratará en la clase siguiente, de tal forma que procura que los alumnos no se pierdan entre tema y tema. Algo que utiliza con mucha frecuencia es el retomar puntos de clases anteriores, es decir, constantemente les pide a los estudiantes que recuerden datos, conceptos o procesos de alguna clase pasada y los vincula con el tema que está tratando, por ejemplo:

...Después hace referencia a las clases de reproducción, donde ya vieron, se hace este tipo de transferencia de información genética, llamada conjugación...

: ...la clase anterior si se acuerdan platicamos de las técnicas básicas que se usan en la tecnología de ADN recombinante...

: esto refuerza lo que ya les había dicho que sólo el 3% corresponde a nuestras características fenotípicas, se acuerdan que cuándo vimos el tema de flujo de información se había enfatizado eso, que lo que determina nuestras características fenotípicas es la cantidad de proteínas que tenemos y qué clase de proteínas. Dimos el ejemplo de la queratina que es la que determina el pelo si es chino o lacio; o la melanina que es la que determina el color...

## Utilización del planteamiento de preguntas como estrategia de enseñanza

Otro recurso didáctico que Refugio utiliza con mucha frecuencia, es el planteamiento de preguntas. Este planteamiento de preguntas tiene variantes, generalmente las utiliza para introducir un tema, demanda la respuesta de sus estudiantes y las va respondiendo a lo largo de la clase. En otras ocasiones las maneja para guiar el tema o para concluirlo, ya sea que ella misma las responda o que presione a sus alumnos para que lo hagan, por ejemplo:

La clase inicia con el planteamiento de tres preguntas por parte de P:

1. ¿Es posible modificar los genes de un organismo?
2. ¿Qué es un organismo transgénico? Dar ejemplos.
3. ¿Existe algún mecanismo para modificar los genes? Explica

¿Ustedes creen que les convenga a las bacterias cortar su ADN? (al ver que nadie responde continua diciendo) las bacterias no usan a las enzimas de restricción para cortar su ADN, porque si rompieran su ADN esto significaría de alguna manera alterar su información genética

...dice ¿qué planteamiento hace el autor acerca de los aspectos éticos inmersos en el caso de temas polémicos?, ¿pueden contestar?

## Empleo de analogías como apoyo al aprendizaje

Es importante mencionar que esta profesora recurre en su enseñanza al uso de analogías que conectan los puntos que ella quiere explicar con hechos cotidianos.

De acuerdo con Raviolo y Garritz (2007, P. 15), el razonamiento analógico “es una actividad de comparación de estructuras y/o funciones entre dos dominios: un dominio conocido y un dominio nuevo o parcialmente nuevo de conocimiento. Las analogías comprenden: (a) una determinada cuestión desconocida o no familiar (objetivo, objeto), (b) una cuestión conocida (análogo, base, fuente) que resulta familiar para el sujeto que intenta aprender y (c) un conjunto de relaciones que se establecen entre (a) y (b) o serie de procesos de correspondencia entre los componentes de ambos.” Las analogías y las metáforas contribuyen a la enseñanza ayudando a la visualización de conceptos abstractos y aportando elementos motivacionales a las clases, en lo general son estrategias consideradas como adecuadas para conseguir el cambio conceptual en la enseñanza de la ciencia (Duit, 1991), en particular en aspectos de genética y de biología, disciplinas que se entrecruzan en la biotecnología (Venville y Treagust, 1996;1998).

Algunas aproximaciones de las analogías que ella utiliza para el tema de biotecnología son (hemos colocado entre paréntesis comentarios nuestros):

El otro caso (señala balas en la pantalla) son balas microscópicas que se recubren con ADN y son disparadas por pistolas de genes, literalmente se llaman pistolas porque tienen la apariencia de pistolas y esas balas pequeñas que contienen genes se insertan directamente en las células, es un procedimiento interesante, pero éstos son medios mecánicos. (Pistola que dispara balas la compara con la pistola que dispara genes)

...entonces si tengo ya aislado, con la misma enzima de restricción, el fragmento de ADN que quiero insertar acá entonces se pueden unir siempre y cuando tengan las mismas puntas pegajosas y en qué consiste eso, pues que la secuencia de bases aquí (dice señalando una punta del plásmido) sea complementaria con ésta (señala el fragmento de ADN)... (Pegado de los extremos de polinucleótidos por medio de su comparación con "puntas pegajosas idénticas")

...entonces ¿Qué se utilizan en lugar de plásmidos? Se utilizan genes "saltarines" o transposones, así se llaman, que se encuentran en las bacterias, las levaduras, los invertebrados y las plantas... (Compara a los transposones con "genes saltarines")

...la técnica utiliza un gene marcador, eso no lo habíamos platicado, aparte del gene de interés se utiliza otro gene que generalmente es de resistencia a antibióticos como para marcar a las plantas que tienen genes foráneos, hagan de cuenta que es como poner una etiqueta a las plantas, entonces el problema con las plantas transgénicas es ponerles esos genes... (Compara al gene marcador con una "etiqueta")

Recientemente, Piquette y Heikkinen (2005, P. 1114) hablan de las analogías como una de las cuatro estrategias instruccionales comúnmente utilizadas para intentar incorporar las condiciones necesarias para el cambio conceptual: "los grupos cooperativos, los textos de refutación, las analogías y los modelos paso a paso, como el ciclo del aprendizaje". Curiosamente Refugio no considera la analogía del ADN como algo parecido a una escalera en espiral o aquella actividad que consiste de cortar y pegar pedazos de papel para explicar la naturaleza del código genético (Venville y Treagust, 1998). No obstante, las analogías empleadas por Refugio tienen similitud con algunas de las informadas en las tablas 1, 3 y 5 del artículo de Orgill y Bodner (2006) sobre el análisis de las analogías de libros de texto de Bioquímica, aunque con una simplicidad más limitada.

## **Situación de los aspectos educativos en contexto, según las propuestas CTS**

Vázquez, Acevedo y Manassero (2005, P. 4) resumen el diagnóstico de la actual crisis de la enseñanza de las ciencias (EC) y la frustración de los estudiantes ante la ciencia escolar y sugieren causas bien conocidas, como son:

- (i) Currículos excesivamente recargados, desfasados y poco relevantes,
- (ii) Contenidos difíciles y aburridos,
- (iii) Profesorado poco innovador para incorporar a la EC mejoras en la metodología, en los contenidos, en la aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, etc.,
- (iv) Imagen estereotipada de la Ciencia y la Tecnología y de los científicos,
- (v) Fuerte contraste entre la ciencia que muestran los libros de texto y la actual tecnociencia de la vida cotidiana,
- (vi) Desmitificación de los científicos e ingenieros, que han dejado de ser modelos sociales, etc.

Para remediar esa crisis de la educación en ciencias sugieren reforzar los datos esperanzadores acerca de la percepción social de la ciencia y la tecnología, tal como el interés que despierta en la ciudadanía las cuestiones relacionadas con la ética y los valores que los avances en Ciencia y Tecnología ponen en juego en asuntos tales como el aborto, las células madre, los alimentos transgénicos, la manipulación genética, los desafíos medioambientales, el uso de diferentes fuentes de energía, etc. Para ello sugieren el empleo de la dimensión Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) en la enseñanza.

CTS es un término que ha sido ampliamente utilizado. En esta tesis usamos la definición propuesta por Aikenhead (1994, P. 52–53), según la cual: “Las aproximaciones CTS son aquellas que hacen énfasis en los enlaces entre ciencia, tecnología y sociedad, al poner atención en alguno de los siguientes puntos: un artefacto, proceso o expertez tecnológica; las interacciones entre la tecnología y la sociedad; un aspecto social relacionado con la ciencia o la tecnología; un contenido de ciencia social que alumbra algún aspecto social relacionado con ciencia y tecnología; un aspecto filosófico, histórico o social dentro de la comunidad científica o tecnológica.

El Enfoque o dimensión CTS implica una enseñanza de carácter interdisciplinario ya que, como lo mencionan García *et al.* (2001, p. 7). “Los estudios CTS definen hoy un campo de trabajo reciente y heterogéneo, aunque bien consolidado, de carácter crítico respecto a la tradicional imagen esencialista de la ciencia y la tecnología, y de carácter interdisciplinario por concurrir en él disciplinas como la filosofía y la historia de la ciencia y la tecnología, la sociología del conocimiento científico, la teoría de la educación y la economía del cambio técnico. Los estudios CTS buscan comprender la dimensión social de la ciencia y la tecnología, tanto desde el punto de vista de sus antecedentes sociales como de sus consecuencias sociales y ambientales, es decir, tanto por lo que atañe a los factores de naturaleza social, política o económica que modulan el cambio científico-tecnológico, como por lo que concierne a las repercusiones éticas, ambientales o culturales de ese cambio.”

Éste es otro aspecto que caracteriza el estilo de enseñanza de Refugio, quien trata de situar los aspectos educativos (como ejemplos, imágenes, lecturas, etc.) en contexto, según las propuestas propias del movimiento CTS, entre las que destacan:

- ❖ La inclusión de la dimensión social en la educación científica;
- ❖ La presencia de la tecnología como elemento que facilita la conexión con el mundo real y una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia y la tecnociencia contemporáneas;
- ❖ La relevancia para la vida personal y social de las personas con objeto de resolver problemas y tomar decisiones responsables en la sociedad civil;
- ❖ Los planteamientos democratizadores de la ciencia y la tecnología;
- ❖ La familiarización con los procedimientos de acceso a la información, su utilización y comunicación;
- ❖ El papel humanístico y cultural de la ciencia y la tecnología;
- ❖ Su uso para propósitos específicos sociales y la acción cívica;
- ❖ La consideración de la ética y los valores de la ciencia y la tecnología;
- ❖ El papel del pensamiento crítico; etc.

Algunos ejemplos de esto son:

No sé si alguno de ustedes tiene idea de cómo se clonó la famosa ovejita Doly...

En la industria... este es un caso muy interesante muchachos, hay bacterias que de forma natural pueden degradar el petróleo, ya ven que es muy común el caso de los derrames de petróleo en muchas zonas y representan un problema de contaminación severa. No se si ustedes sabían eso que existen bacterias que de forma natural degradan el petróleo para transformarlo en productos no contaminantes.

Cuando se empezaron a hacer ese tipo de experimentos con éxito, muchos gobiernos dijeron que la clonación en humanos no está permitida, la manipulación genética en ningún sentido. La mayoría de los estudios encaminados con la genética moderna podríamos decir que está encaminado a la cura o prevención de enfermedades

## **Comparación con el estudio de Moreland, Jones y Cowie (2006)**

Con respecto al estudio, sobre el CPC de la biotecnología realizado por Moreland y colaboradores (2006), donde destacan algunas de las características que deben formar parte de la enseñanza de la biotecnología, podemos decir que Refugio cumple con todas ellas, desde controlar los recursos que maneja en el salón de clases, como es el uso de animaciones, discusión de artículos y actividades como la construcción de un plásmido, hasta manejar la naturaleza de la biotecnología, como una actividad que hace uso de la tecnología, así como los aspectos conceptuales, procesales, sociales y técnicos del tema, un ejemplo de ello es:

No espera a que contesten, inmediatamente cambia la imagen por una donde aparece un esquema (imagen 5), que muestra dos cadenas de ADN y explica sobre él que, para que se puedan modificar los genes hay que tomar la cadena de ADN normal (la señala en el esquema) e insertarle el gen que se obtuvo de la medusa (la señala en el esquema) que así se expresará una nueva proteína que en la cadena normal no se expresaba; dice que ahora sí estamos hablando de una aplicación o proceso de la ingeniería genética. Nuevamente explica de forma continua el esquema y finalmente dice que para que se puedan dar los efectos fenotípicos que se vieron en los animalitos hay que modificar la secuencia original del ADN.

P: Entonces como dice ahí (señala la pantalla) los genes de un organismo se pueden modificar gracias a la ingeniería genética. Vamos a ver ahora los conceptos de ingeniería genética y de biotecnología

Como explicamos anteriormente, ella conoce el Plan de estudios por ello sitúa el tema en el programa y retoma o recurre a conceptos, comentarios o procesos que se han explicado en clases anteriores con facilidad; también conoce las fortalezas y debilidades de los estudiantes, por ello los trata de forma personalizada y además, les presenta información seleccionada cuidadosamente para guiar el tema y diagramas que les ayuden a entenderlo. También, sitúa los aspectos educativos en contexto, al estilo CTS, como sugiere Moreland.

## **Un ciclo de aprendizaje en la enseñanza de Refugio**

Cabe destacar, que el estilo de enseñanza que Refugio utiliza para el tema de la biotecnología, no es un estilo tradicional, sino se asemeja más al enfoque constructivista, e incluso se puede relacionar con un ciclo de aprendizaje.

De acuerdo con lo observado en los Papers de Refugio y en otras clases que se observaron (que no corresponden al tema de la biotecnología), nos percatamos que la enseñanza que estila esta profesora se aproxima a lo que se conoce como un ciclo de aprendizaje. El Ciclo de Aprendizaje es una metodología para planificar las clases de ciencias que está basada en la teoría de Piaget y el modelo de aprendizaje propuesto por David Kolb (1984). Piaget postuló que niños y niñas necesitan aprender a través de experiencias concretas, en concordancia a su estadio de desarrollo cognitivo. La transición hacia estadios formales del pensamiento resulta de la modificación de estructuras mentales que se generan en las interacciones con el mundo físico y social.

El Ciclo de Aprendizaje planifica una secuencia de actividades que se inician con una etapa exploratoria, la que conlleva la manipulación de material concreto, y a continuación prosigue con actividades que facilitan el desarrollo conceptual a partir de las experiencias recogidas por los alumnos durante la exploración. Luego, se desarrollan actividades para aplicar y evaluar la comprensión de esos conceptos. Estas ideas están fundamentadas en el modelo “Aprendiendo de la Experiencia”, que se aplica tanto para niños, jóvenes y adultos (Kolb 1984), el cual describe cuatro fases básicas:

1. Experiencia Concreta
2. Observación y Procesamiento
3. Conceptualización y Generalización
4. Aplicación

A partir de la experiencia concreta, que comienza con la observación y el análisis (¿Qué sucede actualmente? ¿Cuál es la relación entre el proceso y el resultado final?), se continúa con la conceptualización y luego la generalización (¿Por qué es relevante? ¿Qué se puede aprender de eso?), y concluye con el pensamiento acerca de como aplicar lo aprendido (¿Cómo y cuándo lo puedo utilizar?). El Ciclo de Aprendizaje representa una familia de modelos que varían en las fases propuestas por distintos autores (Escalada, 1999; Karplus, 1981). El ciclo de aprendizaje con el que vinculamos la práctica de Refugio consta de las siguientes fases:

## 1. Motivación

El propósito es que los alumnos identifiquen un problema o pregunta que genere una discusión en la cual pueden explicitar sus conocimientos y preconcepciones sobre el fenómeno. Como ya mostramos en los Papers, Refugio inicia el tema con preguntas, que primero responden los estudiantes y después son respondidas con argumentos científicos por ella a lo largo de la clase.

## 2. Exploración

El propósito de esta fase es incentivar al alumno para que formule preguntas sobre el fenómeno, incentivar su curiosidad y promover una actitud indagatoria. La exploración también ayuda a identificar las preconcepciones que el alumno tiene. Efectivamente, ella busca con la formulación de preguntas, primero motivar al alumno y despertar su curiosidad por el tema y después darle la confianza para que manifieste sus ideas o conocimientos erróneos sobre el mismo.



Se busca utilizar actividades que presenten resultados discrepantes, hechos que "contradican" o desafían concepciones comunes (ej., un cubo de hielo flota en un vaso con un líquido transparente, pero se hunde en otro vaso que contiene un líquido también transparente). Los alumnos trabajan en grupo, manipulan objetos, exploran ideas y van adquiriendo una experiencia común y concreta. En relación con este punto, Refugio planea actividades que se desarrollen por equipos, como la construcción de un plásmido, la manipulación de animaciones para formar plásmidos recombinantes, discutir artículos científicos o de divulgación de la ciencia que toquen el tema.

A los alumnos se les pide que establezcan relaciones, observen patrones, identifiquen variables y aclaren su comprensión de conceptos y destrezas importantes. Los alumnos explican, en sus propias palabras, para demostrar sus propias interpretaciones de un fenómeno. Constantemente ella solicita el punto de vista particular de cada alumno.

### 3. Desarrollo Conceptual

El propósito de las actividades que se desarrollan en esta fase es entregarle al alumno definiciones de conceptos, procesos o destrezas, dentro del contexto de las ideas y experiencias que se tuvieron durante la fase exploratoria. Estas definiciones pueden ser introducidas a través de clases expositivas, un libro, software y otros medios. Los alumnos refinan sus concepciones iniciales y construyen nuevos conceptos. En referencia a este punto, ella presenta en acetatos las ideas que desea destacar, tales como definiciones de los conceptos relacionados o detalles de los procesos utilizados. Estas actividades, guiadas por preguntas claves que le hace ella deberían ayudar a que los alumnos se cuestionen sus creencias y aclaren concepciones equivocadas o difíciles. El uso de metáforas (ej., el reloj biológico y la degradación radioactiva) y analogías (ej., un alambre de metal es como una cañería y la corriente eléctrica es como el agua que corre por la cañería) es especialmente efectivo. También, como se discutió anteriormente, Refugio presenta analogías que le permiten acercar al estudiante al entendimiento del tema. Para promover el desarrollo conceptual, a medida que se van introduciendo los conceptos, el profesor desarrolla una secuencia de preguntas que pueden guiar la reflexión de los alumnos.

### 4. Aplicación/Evaluación

Esta fase incluye actividades que permiten a los alumnos aplicar conceptos específicos. Estas actividades ayudan a demostrar la comprensión que alumnos y alumnas han logrado de las definiciones formales, conceptos, procesos y destrezas, ayudándolos a aclarar sus dificultades. En este punto, ella planeó y efectuó la discusión de dos artículos que tienen que ver con la aplicación del tema en la vida social.

Se pide a los alumnos que apliquen lo que han aprendido al predecir los resultados en una nueva situación. Las actividades de aplicación también permiten al profesor y al alumno, (incluye elementos de auto-evaluación), establecer el grado de dominio de los conceptos, procesos y destrezas definidos en los objetivos. Las actividades de evaluación se focalizan en medir comprensión y razonamiento científico en la resolución de problemas de la "vida real" para los cuales estos conceptos y principios son relevantes.

En comparación con otras estrategias didácticas, el ciclo de aprendizaje es fácil de utilizar. Hay bastante material curricular para involucrar a los alumnos en actividades de exploración y manipulación. Sin embargo, los profesores necesitan tiempo para preparar el material y un conocimiento sólido de los conceptos y principios que se quieren enseñar para guiar a sus alumnos en el desarrollo conceptual y la posterior aplicación de los conceptos aprendidos, situación que Refugio demostró poseer en su práctica docente. En la tabla 5.2 se presenta una caracterización que permite distinguir claramente las conductas de un profesor que enseña de acuerdo con la metodología indagatoria que propicia el ciclo de aprendizaje, así como de un profesor que no usa este enfoque. En esta tabla se encuentran las conductas que se observaron en el desempeño de Refugio, en la columna que corresponde a las que son consistentes con el modelo.

En apoyo a la utilidad de los ciclos de aprendizaje como estrategia de enseñanza, recientemente, Costu (2008) realizó un estudio para investigar la eficacia de PDEODE (Predecir-Discutir-Explicar-Observar-Discutir-Explicar) como una estrategia de enseñanza para ayudar a los estudiantes a dar sentido a las situaciones cotidianas. Para ello, se eligió el concepto de condensación, ya que está relacionado con muchos acontecimientos de la vida cotidiana. El estudio se realizó en un grupo de cuarenta y ocho estudiantes de onceavo grado de secundaria. Se evaluó la aplicación del conocimiento de los estudiantes a la solución de problemas en situaciones cotidianas, de una prueba en particular; dos problemas de la vida diaria se presentaron a ellos antes y después de la prueba, la intervención PDEODE que se utilizó para enseñar la condensación. Los resultados de las pruebas fueron analizados por métodos cualitativos y cuantitativos. El análisis estadístico sugiere que la estrategia de enseñanza PDEODE, facilita a los estudiantes el aprendizaje del concepto y los ayuda a dar sentido a las situaciones cotidianas.

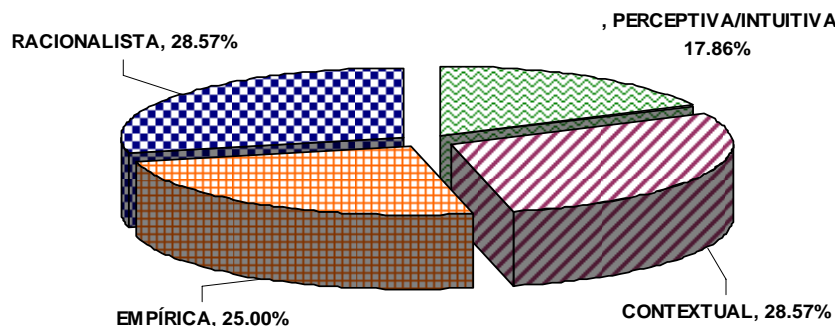
Tabla 5.2 Conductas del profesor que propician el ciclo de aprendizaje

<b>Conductas del Profesor</b>		
<b>Estadios del Modelo de Instrucción</b>	<b>Que son consistentes con el modelo</b>	<b>Que son inconsistentes con el modelo</b>
<b>Motivación/ Exploración</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentiva a los alumnos a trabajar colaborativamente sin la guía directa del profesor</li> <li>• Observa y escucha a los alumnos mientras ellos trabajan</li> <li>• Cuando es necesario, hace preguntas que pueden orientar la investigación de los alumnos</li> <li>• Otorga tiempo para que los alumnos se cuestionen, piensen sobre el problema</li> <li>• Responde a preguntas que le formulan los alumnos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrega respuestas</li> <li>• Da instrucciones de cómo solucionar un problema</li> <li>• Entrega conclusiones</li> <li>• Le dice a los alumnos que están equivocados</li> <li>• Entrega información o datos para ayudarlos a resolver el problema</li> <li>• Guía a los alumnos paso a paso en la resolución de un problema</li> </ul>
<b>Desarrollo Conceptual</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentiva a los alumnos para que formulen definiciones y expliquen conceptos con sus propias palabras</li> <li>• Les pide a los alumnos que justifiquen sus aseveraciones o ideas, que las aclaren</li> <li>• Entrega definiciones formales, explicaciones y nuevos conceptos</li> <li>• Utiliza las explicaciones de los alumnos, sus experiencias como base a su explicación de los conceptos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acepta respuestas sin pedir explicaciones o justificación</li> <li>• No le pide a los alumnos que ofrezcan explicaciones</li> <li>• Introduce conceptos y destrezas irrelevantes</li> </ul>
<b>Aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espera que los alumnos utilicen los conceptos, definiciones, explicaciones y nomenclatura formal ya entregada</li> <li>• Incentiva a los alumnos a aplicar o extender los conceptos y destrezas a situaciones nuevas</li> <li>• Recuerda a los alumnos explicaciones alternativas</li> <li>• Refiere a los alumnos a los datos/información recogida: ¿Qué es lo que ya sabe? ¿Por qué piensas eso?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrega respuestas</li> <li>• Entrega clase expositiva</li> <li>• Le dice a los alumnos que están equivocados</li> <li>• Entrega información o datos para ayudarlos a resolver el problema</li> <li>• Guía a los alumnos paso a paso en la resolución de un problema</li> </ul>
<b>Evaluación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observa a los alumnos aplicando lo aprendido</li> <li>• Evalúa los conocimientos y destrezas de los alumnos</li> <li>• Busca evidencia de cambio conceptual o conductual en los alumnos</li> <li>• Permite que los alumnos se autoevalúen en sus destrezas, aprendizaje y colaboración</li> <li>• Hace preguntas "abiertas": ¿Por qué piensas que...? ¿Qué evidencia tienes? ¿Qué sabes sobre X? ¿Cómo se podría explicar X?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mide vocabulario, términos, información aislada</li> <li>• Introduce ideas o conceptos nuevos</li> <li>• Crea ambigüedad</li> <li>• Promueve discusión irrelevante al concepto o destreza</li> </ul>

## *Análisis del desempeño de Refugio conforme al perfil conceptual de Mortimer*

En el trabajo que antecede a éste (Velázquez, 2007), para esta profesora en particular, se informa que no existe una diferencia significativa entre los perfiles conceptuales que se analizaron de su CoRe, la grafica 5.1 así lo muestra. 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, 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.

**Perfiles Conceptuales Profesora 1**

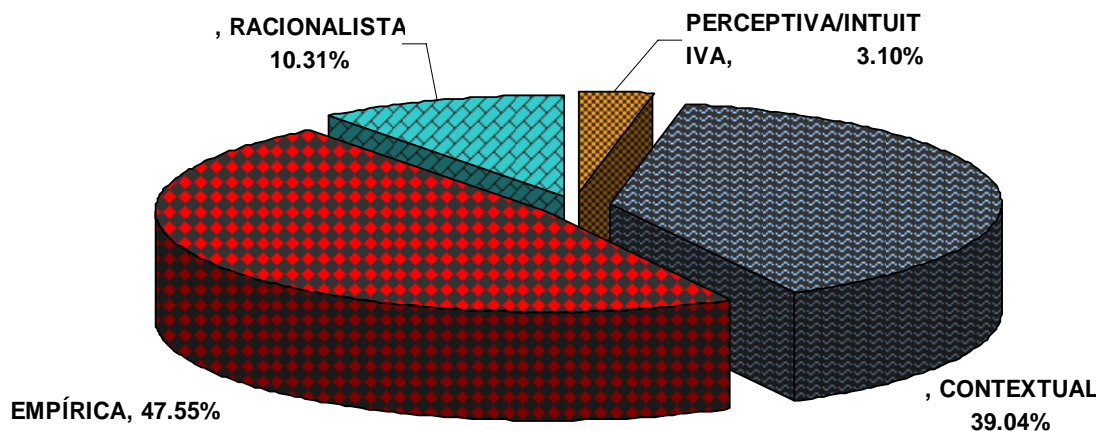


Grafica 5.1 Perfiles conceptuales obtenidos de la CoRe de Refugio  
(Gráfica obtenida de Velázquez, 2007)

En lo referente al Perfil Conceptual (PC) propuesto por Mortimer (1995), en esta investigación también se analizaron los Papers de la profesora 1, con los mismos criterios que se analizó su CoRe, es decir, se definieron cuatro categorías para el PC: la Perceptiva/Intuitiva, en donde se encuentran las ideas que las profesoras emiten de forma espontánea, que corresponden a las impresiones inmediatas, a las sensaciones e intuiciones, sin un fundamento teórico; la Contextual, en este apartado se observan las ideas que las profesoras obtuvieron a partir de la experiencia sensorial, principalmente de la relación con el entorno, ideas donde se considera importante el contexto; la Empírica, aquí se consideran las ideas que surgen a partir de experimentos o las que resultan de las condiciones para que un proceso biotecnológico ocurra; y la Racionalista, que contempla las ideas en donde se hace énfasis de 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. Consideramos que cada una de las categorías tiene sucesivamente un poder explicativo mayor.

Posteriormente, los Papers de cada profesora se analizaron para clasificar cada una de las ideas o comentarios contenidos en éstos, para situarlos en alguna de las categorías descritas. Esto nos permitió, determinar el porcentaje de caracteres presentes en cada zona y así obtener la gráfica 5.2. en esta gráfica se puede observar que aunque ya en la práctica docente la profesora utiliza los cuatro perfiles, existe un predominio exagerado por los perfiles empírico y contextual, lo cual podría llevarnos a pensar que no hay congruencia entre lo que ella declaró en su CoRe y lo que se observó en sus Papers, es decir, entre su discurso y su práctica. Sin embargo, al observar el análisis de su CoRe correspondiente a cada idea central o subtema (gráfica 5.3), nos percatamos que el contenido disciplinario que Refugio aborda en sus tres Papers (La Ingeniería genética y sus aplicaciones), se asemeja más a las ideas centrales 3 y 4 (¿Qué es la ingeniería genética? Del DNA a las proteínas recombinantes; y Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados). En la grafica 5.3 se observa que en las ideas 3 y 4, Refugio concentra casi la totalidad de sus frases con un perfil empírico (6 de 7) y la mitad de sus frases de corte contextual (4 de 8), lo cual podría explicar el porque del uso tan marcado de éstos perfiles en sus Papers.

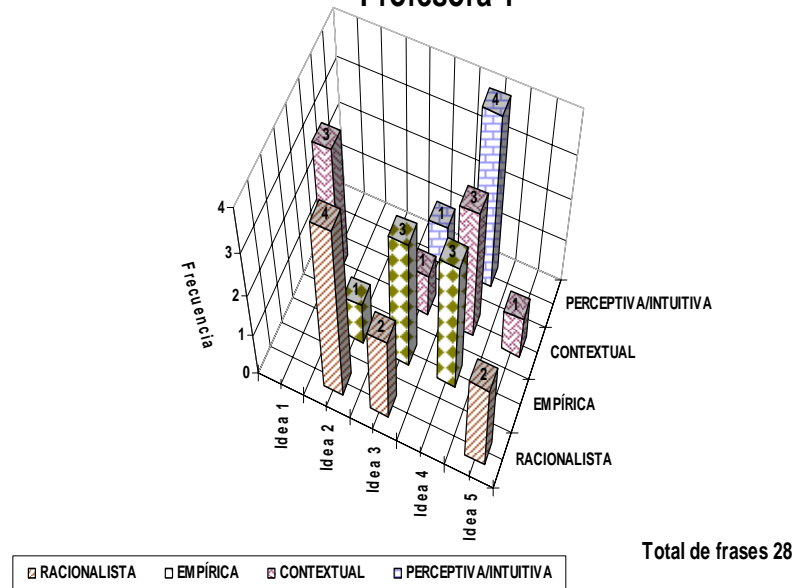
## Perfiles Conceptuales de los Papers



Grafica 5.2 Perfiles conceptuales de Refugio, obtenidos de sus Papers

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

### Distribución de las frases en las zonas Profesora 1



Gráfica 5.3 Distribución de las frases en los perfiles conceptuales, obtenidos de la CoRe de Refugio (Gráfica obtenida de Velázquez, 2007)

Por otra parte, también hay que destacar que el contenido que ella maneja en sus Papers (La Ingeniería Genética y sus aplicaciones) se vincula altamente con las ideas que surgen a partir de experimentos o las que resultan de las condiciones para que un proceso biotecnológico ocurra. O bien de las ideas que informan sobre los beneficios de la ocurrencia de los fenómenos biotecnológicos o de las técnicas que se realicen. No obstante, Refugio en cada ejemplo, técnica o proceso que menciona, trata de relacionarlo con el contexto del estudiante, acercarlo al entorno en que éste se desenvuelve, por lo que así también se manifiesta su enfoque CTS, ya mencionado en la investigación de su CoRe.

Un punto importante que hay que mencionar, es la notable disminución de la zona racionalista surgida de los Papers en comparación con la CoRe, lo que podría explicarse nuevamente al analizar la gráfica 5.3, pues en ella se observa que para las ideas 3 y 4, Refugio casi no utiliza la zona racionalista en sus explicaciones, e incluso para la idea 4, la que se refiere a las aplicaciones de la biotecnología no la emplea. Sin embargo, utilizando este mismo razonamiento, es difícil explicar la disminución de la zona perceptiva/intuitiva, ya que precisamente en estas dos ideas se concentran las ideas de tipo perceptivas/intuitivas que ella expresó en su CoRe. No obstante, debemos recordar que para este caso en particular, la clase se está impartiendo a un grupo de recursamiento, lo que quiere decir, que los estudiantes ya han visto el tema con anterioridad, por lo que el profesor es más cuidadoso en sus explicaciones y comentarios, pues éstos pueden contraponerse a los conocimientos previos del alumno, de tal manera que se favorezca su confusión en el tema.

## *Análisis de los Papers de Maricarmen*

De acuerdo a lo observado en los cuatro Papers de Maricarmen (presentados en los anexos 3, 4, y 5), y en muchas otras clases que se presenciaron, podemos narrar lo que describiríamos como el estilo que caracteriza su enseñanza. Podemos adelantar las siguientes características generales de su enseñanza, las cuales vamos a ir desbrozando poco a poco en lo que sigue de este análisis:

1. Definición moderna de la biotecnología;
2. Presentación de diagramas para ayudar a sus explicaciones
3. Utilización del planteamiento de preguntas como estrategia de enseñanza;
4. Explicaciones claras y detalladas del tema
5. Empleo de analogías como apoyo al aprendizaje;
6. Situación del tema en el programa y recurrencia a conceptos que se han explicado en clases anteriores o en otras asignaturas
7. Situación de los aspectos educativos (como ejemplos, imágenes, lecturas, etc.) en contexto, según las propuestas propias del movimiento CTS;
8. Comparación con el estudio de Moreland, Jones y Cowie (2006);
9. Recurrencia al antropomorfismo para explicar procesos ligados a las funciones o actividades de la célula
10. “Lo que piensa Maricarmen”, una solicitud que hicimos a la profesora para que nos dijera lo que va pensando en cada momento de dos de sus clases.

### **Definición moderna de la biotecnología**

Hay que recalcar que la definición de biotecnología con la que se identifica la enseñanza de Maricarmen, es la moderna, pese a que su Programa de Estudios contempla tanto a la tradicional como a la moderna. Esto se manifiesta, por sus comentarios, los cuales hacen ver que el objetivo final es realizar una construcción genética:

Ella habla sobre dos estrategias para hacer mejoramiento de estructura en las células, señala en el acetato para apoyar su explicación y dice que la primera es la más utilizada, que corresponde a la mutagénesis al azar y selección, menciona que la desventaja es que es al azar, por lo que no se sabe adonde cayó la mutación, si cayó en el gen regulador o en el operador, o en una proteína de membrana o en todas. Dice que generalmente se hacen las dos cosas en paralelo, la mutagénesis al azar y biología molecular,...

...para hablar de esto les quiero comentar que las metodologías que se utilizan, fueron desarrolladas tomando como modelo lo que ocurre en la naturaleza, en ningún momento salieron de la cabeza de un científico loco que se le ocurrió ver cómo hacerle para meterle ADN a las bacterias. Lo que se hizo fue observar lo que naturalmente sucede entre bacterias, entre virus y bacterias, lo que sucede entre bacterias y plantas... lo único que se hizo fue observar qué es lo que sucedía a nivel de transferencia de información genética naturalmente y utilizar esos mecanismos, pero ahora manipulando para transferir lo que a mí me interesa que se transfiera.

## Presentación de diagramas para ayudar a sus explicaciones

Las clases siempre inician con puntualidad y se efectúan en un ambiente de respeto y cordialidad, acostumbra dar un receso de 10 min a la mitad de la sesión. Ella siempre utiliza como herramientas de trabajo, además del pizarrón, proyector de acetatos que generalmente maneja para mostrar esquemas o imágenes que apoyan sus explicaciones. Dado que muchas de sus explicaciones se apoyan en figuras o diagramas, siempre explica cada punto de éstos, y en algunos casos un mismo diagrama lo utiliza en varias clases y lo explica cada vez con una visión diferente. Tal es el caso de los esquemas del operón de triptofano y el de la lactosa, los que muestra tanto en la clase 1 como en la 2, pero explicados desde diferentes visiones o el caso cuando explica con la ayuda de un esquema (figura 2, clase1), algunos ejemplos de cómo podría ser la regulación de enzimas que participan en rutas anabólicas de metabolitos de diferente naturaleza. El esquema contiene cuatro incisos diferentes y ella explica a detalle cada uno de ellos.

## Utilización de planteamiento de preguntas como estrategia de enseñanza

Generalmente, guía la clase con preguntas, que pocas veces los alumnos contestan, pues ella no espera, inmediatamente da la respuesta y la explica. Ejemplos de ello son:

¿por qué se dice que el código genético es degenerado?... bueno el que sea degenerado es que un sólo aminoácido es codificado por varios tripletes. Es importante que nos acordemos porque hay algo que está relacionado con esto de las mutantes...

¿qué es el marco de lectura? Se acuerdan que para copiar la información del ADN hay que pasar al RNA mensajero (RNAm) y de ahí a proteínas. Entonces tengo ya el mensajero donde las secuencias son idénticas que en el ADN, excepto porque las timinas se cambian por uracilos; si tengo ya el mensajero para pasar a proteínas ¿cómo se copia? ¿Es base por base o lleva un orden? (sin esperar la respuesta dice) por tripletes, no es base por base y se va leyendo de tres en tres. Cada triplete corresponde a un a.a.

## Explicaciones claras y detalladas del tema

Sus clases se caracterizan por ser expositivas, apenas con la intervención de los alumnos para realizarle alguna pregunta o dar la respuesta de alguna que ella formule. Sus explicaciones se caracterizan por ser claras, pues siempre que el tema a exponer lo permite, trata de establecer las condiciones iniciales del proceso y establece las condiciones a las que se quiere llegar. También, suele señalar los pasos críticos, puntos importantes o requisitos indispensables para que se lleven a cabo los procesos. Presenta comparaciones entre éstos, marcando diferencias o coincidencias. Por otra parte, sus explicaciones revelan detalles y aclaraciones cuando es conveniente, todo con el propósito de no confundir al estudiante, o bien, para facilitarle el entendimiento del tema, marca palabras o conceptos claves en el pizarrón, los que define o recuerda a lo largo de la clase. Maricarmen no sólo explica los puntos más comunes, sino también da alternativas de explicación para casos no esperados o hipotéticos, tal como lo muestran los siguientes párrafos:



También dice que la célula ya tiene las enzimas necesarias para una ruta biosintética ya sea anabólica o catabólica, ya las tiene sintetizadas, entonces lo único que hace es lograr que esas proteínas funcionen más o menos rápido de acuerdo a lo que necesite.

Acuérdense que el requisito número uno para que se dé este tipo de inhibición es que la concentración del producto final tendría que elevarse a cierto nivel, y hasta entonces es cuando se ejerce el efecto.

Les comenta que van a ver con calma el operón de triptofano y la diferencia con el de la lactosa, pues uno tiende a confundirse porque se parecen los dos, después coloca otro esquema (figura 2) y les recuerda que ya lo habían visto la clase pasada.

...cada lote sigue teniendo el mismo tipo de microorganismos con la misma mutación, que no se revierta, esta es otra de las palabras interesantes (se dirige al pizarrón y anota la palabra “reversión” y dice). Reversión es que si ustedes tienen a la célula mutante que se arregló por un sistema de reparación pues revierte muchas veces al genotipo original y por lo tanto al fenotipo original...

La figura contiene varios puntos marcados con números que ella va explicando uno a uno

## **Empleo de analogías como apoyo al aprendizaje**

Como se menciono anteriormente, Raviolo y Garritz (2007, P. 15), consideran que las analogías contribuyen a la enseñanza ayudando a la visualización de conceptos abstractos y aportando elementos motivacionales a las clases, en este sentido, Maricarmen utiliza este recurso en clase, lo que da cuenta que conoce muy bien el tema de tal forma que puede acercarlo al conocimiento cotidiano de los estudiantes; ejemplos de ello son:

...aquí el ejemplo que siempre les pongo es el segundo piso a la altura de San Jerónimo, todos vienen por el segundo piso hacia San Jerónimo, pero al llegar hacia la bajada todo se reduce a dos carriles y además vienen muchos coches por lo que se va lento, lento, entonces qué pasa aquí (señala la imagen) si ustedes tienen un exceso de fuente de carbono todo se va a ir a exceso de velocidad hasta llegar al cuello de botella que es el fosfoenol-piruvato, que es la entrada hacia el ciclo de Krebs,...

Lo que une a las células para que haya transferencia es el Pili f (proteínas retractiles) el cual es como un gancho que tiene la célula donadora que atrapa a la receptora y con ayuda de otras proteínas forma un poro en la membrana por donde pasa una copia del plásmido, de tal forma que la donadora no pierde nada.

Aunque las analogías también son consideradas por algunos autores como Duit (1991), como estrategias para conseguir el cambio conceptual, consideramos que esta profesora no las utiliza en este sentido, ya que como se mencionó en otro apartado, sus clases se asemejan al estilo tradicional, y por lo tanto ella no busca conscientemente el cambio conceptual.

## **Situación del tema en el programa y recurrencia a conceptos que se han explicado en otras clases o asignaturas**

Es importante mencionar que Maricarmen conoce el Plan de estudios de la carrera, en donde está insertada su asignatura, ya que frecuentemente recurre a recordar o vincular el tema en estudio con otros que los alumnos aprendieron previamente, así mismo lo hace con temas que ya abordó en su asignatura. Todo esto le permite efectuar su cátedra con fundamentos bioquímicos sólidos y

no caer en imprecisiones. De tal manera que los ejemplos que presenta son conocidos por los alumnos o al menos no les son ajenos ya que siempre los contextualiza. A continuación se muestran ejemplos:

Bueno lo que yo tendría que hacer es ponerles esas sustancias en el medio de cultivo, acuérdense de cuando hablábamos de la composición del medio de cultivo y que decíamos que a veces habría que ponerles cosas, este es uno de esos casos.

Dice que lo primero que se debe hacer es cortar el plásmido y generar extremos de cadena sencilla, también conocidos como “extremos cohesivos” porque cuando se encuentran con sus complementos se vuelven a unir. Lo que se corta es el enlace fosfo-diéster del ADN que es un enlace covalente y lo que se queda listo para volverse a unir son puentes de hidrógeno, que aunque no son enlaces tan fuertes, sí son suficientes para que se apareen las bases adenina con timina y citosina con guanina.

Cita el ejemplo de *E. coli*, que crece bien a 37°C y a 150 rpm, pero que para hacerla competente se debe poner en condiciones mínimas de fuente de carbono, a temperatura ambiente y con una agitación de 250 rpm

**Siempre sitúa el tema en el Programa de Estudios.**

Ella inicia situando el tema que va a tratar “Coordinación del metabolismo microbiano”, dice que platicará sobre el tipo de regulación que hay, para que la célula pueda saber en qué invertir su energía, que las células lo que procuran es ahorrar energía, tratan de no gastarla innecesariamente.

Posteriormente P declara el nombre del tema que verá, “Mejoramiento, aislamiento y conservación de microorganismos de interés industrial”, aclara que no se habla sólo de microorganismos que también pueden ser células de cualquier tipo.

## **Situación de los aspectos educativos en contexto, según las propuestas CTS**

Como se apuntó en otro momento, García *et al.* (2001, p. 7) mencionan que los estudios CTS buscan comprender la dimensión social de la ciencia y la tecnología, tanto desde el punto de vista de sus antecedentes sociales como de sus consecuencias sociales y ambientales, es decir, tanto por lo que atañe a los factores de naturaleza social, política o económica que modulan el cambio científico-tecnológico, como por lo que concierne a las repercusiones éticas, ambientales o culturales de ese cambio. No obstante que las clases de Maricarmen se pueden clasificar como expositivas y poco constructivistas, en ellas se puede observar un enfoque CTS y una actitud abierta a que los estudiantes pregunten sus dudas o aclaren sus confusiones, muestra de ello es lo siguiente:

El siguiente punto que ella considera importante tocar, es lo de la “protección intelectual” de las cepas que se han mejorado genéticamente, ya que esto es un logro de una persona o compañía, por lo que no pueden estar al dominio del público y habla sobre la situación en nuestro país.

...como ya se vio, en condiciones bien cuidadas y con células competentes, la probabilidad de que la técnica funcione es muy poca, pero que los de Greenpeace aseguran que los alimentos transgénicos tienen genes que codifican para resistencia a antibióticos y genes que son toxinas, y que en esto se cierran completamente... Agrega, que otro de los puntos que discuten grupos amarillistas, es que al comer genes con resistencia a antibióticos se propicia que las bacterias del intestino se vuelvan resistentes a antibióticos y que algunas de ellas pueden ser patógenas, Sin embargo, aclara que todo lo que se come se digiere, por ejemplo si se come zanahorias se come ADN de ellas y en ningún momento nos ponemos anaranjados. Todo el ADN de lo que se come, se convierte en pedacitos y la probabilidad de que quede intacto el ADN

que codifica para resistencia a antibióticos es pequeñísima. Sin embargo, suponiendo que quede intacto este fragmento, cuál sería la probabilidad de que entre a una célula hospedera no competente, sí... para que ello ocurra en condiciones propicias con células competentes la probabilidad de éxito es bajísima. Dice que lo que sí puede ser más probable es que quede una secuencia de varios a.a. que no se pueda digerir fácilmente con nuestras proteasas, que si entran a torrente sanguíneo pueden causar una alergia. No obstante, existen alimentos como fresas, huevo y otros, que no han sufrido ninguna modificación genética y causan alergia a algunas personas.

## **Comparación con el estudio de Moreland, Jones y Cowie (2006)**

Como antes se comentó, en el estudio realizado por Moreland y colaboradores (2006), sobre el CPC de la biotecnología se destacan algunas características que deben formar parte de la enseñanza de la biotecnología, al respecto podemos decir que Maricarmen, cumple con todas ellas, desde controlar los recursos que maneja en el salón de clases, hasta manejar la naturaleza de la biotecnología, como una ciencia que hace uso de la tecnología, así como los aspectos conceptuales, procesales, sociales y técnicos del tema.

## **Recurrencia al antropomorfismo para explicar procesos ligados a las funciones o actividades de la célula**

Maricarmen tiene una forma muy peculiar de explicar, cuando se trata de las funciones de una célula, bacteria o cualquier microorganismo, suele recurrir al antropomorfismo, pareciera que para ella la célula tiene preferencias, sentimientos o pensamientos sobre su actividad o función, esto se ilustra a continuación:

Vean que cuando la concentración del producto llega a ser tan alta que indica que ya no se está consumiendo por la célula, esa es la señal que necesita la célula para decir “lo tengo que dejar de producir porque ya no lo necesito, tengo en exceso que ya no se está consumiendo entonces ya no vale la pena estar invirtiendo energía en algo que no ocupo”

Qué es lo que se ve experimentalmente, si ustedes tienen a una E. coli en presencia de glucosa y lactosa o sea las dos están presentes en el medio, ¿qué va hacer E. coli? Primero se va a comer a la glucosa porque es la que más le gusta, la que prefiere, y va a bloquear las entradas, o sea las permeasas de la lactosa...

Dentro de las características que encontramos en los Papers de Maricarmen, la que más atrajo nuestra atención fue ésta. No intentamos decir que esta característica de la docencia de Maricarmen sea una limitante. Hay que recordar lo que dicen Treagust, Chittleborough y Mamiala (2003) el apartado i) de la sección “El conocimiento pedagógico del contenido en la enseñanza de la química” en el capítulo 1 de esta tesis. Allí se cita que “A un fenómeno se le dan características humanas para hacerlo más familiar”.

## **Lo que piensa Maricarmen**

Para aclarar este punto se le solicito que nos comentará sus primeros dos Papers, es decir, que nos permitiera conocer cuál es su pensamiento o la reflexión que ella hace para decidir abordar el tema en esa forma. Los resultados que aportó esta actividad (se encuentran en el capítulo de

resultados) son sobresalientes, pues nos permitió en primer lugar, corroborar que el conocimiento de un docente que le permite enseñar un tema, es tácito, pues el pensamiento de Maricarmen nos demuestra que la mayoría de las cosas que ella realiza en el aula no las registra como importantes, pues para ella son cotidianas y no las percibe, ejemplo de ello es que nunca comenta nada sobre la importancia que tiene en su clase la presencia de esquemas, modelos, analogías o bien sus preguntas para guiar el tema; en segundo lugar conocer los puntos que le preocupan a esta académica, en su desempeño docente, en el que destaca la integración de conceptos de diferente origen, algunos comentarios que ella expresa al respecto son:

Trato de abordar cada tema de lo general a lo particular. Debido a que este es un curso del penúltimo semestre de la carrera, se que ellos ya han llevado asignaturas donde les han dado las bases para entender los temas que revisamos en el curso. Específicamente para poder inscribirse en esta materia, tuvieron que haber acreditado microbiología y bioquímica, pero en la seriación de las materias esto ocurrió un año y medio o dos atrás, respectivamente; por lo que algunos de los conceptos, que ya manejan, están medio “enterrados” en su bagaje de conocimientos.

Se que debo traer al presente (desenterrar) varios conocimientos y que además debo integrarlos y relacionarlos con otros, que en algunos casos son nuevos. Algo que también he observado que sucede, y que de hecho me pasó a mí como estudiante, es que existe la tendencia de organizar mentalmente los conocimientos en compartimentos separados de acuerdo a la asignatura que se trate, y rara vez se interconectan. En otras palabras, lo que se aprendió de microbiología está en un cajón, separado del de bioquímica y éstos a su vez separados, y por mucho, de lo que se aprendió de química orgánica, fisicoquímica, etc. Cuando lo que sucede en la realidad es que la explicación a un fenómeno celular, tiene que ver con todo eso.

Ahora que si se analiza a la biotecnología como tal, nos daremos cuenta que estamos hablando de una multidisciplina, donde se debe hacer uso e interconectar muchos conocimientos de ese bagaje que se ha ido acumulando a través de los semestres, no sólo de conocimientos relacionados con el área biológica, sino a otros de ingeniería, química analítica, fisicoquímica, etc.

Es para mí un gran reto, pues implica que debo de ser capaz de traer al presente algún conocimiento que ya tienen, pero además los debo de encauzar para que hagan ellos sus propias conexiones (que vayan “atando cabos” como suelo decirles), a la vez que debo añadir algunos elementos nuevos para que el resultado final sea el entendimiento de un sistema complejo que ahora va a ser utilizado con un fin que va más allá del conocimiento básico, ya que se pretende utilizar como un sistema de producción a nivel industrial.

Esta revisión de los fundamentos, muchas veces resulta pesada, pues se requiere repasar y explicar muchos conceptos de bioquímica y biología molecular, pero es necesario hacerlo, de otra forma no se entendería el tema que trata de la utilización de tales herramientas moleculares.

Estos pensamientos nos llevan a entender y explicar el por qué, Maricarmen, constantemente en su clase retoma o recurre a conceptos, comentarios o procesos que se han explicado en clases anteriores o en otras asignaturas. Así como también se entiende la calidad de sus explicaciones claras y basadas en fundamentos científicos.

Como se dijo anteriormente esta académica sitúa los aspectos educativos en contexto, al estilo CTS, lo que nos lleva a pensar que es conciente y conocedora de las características de los alumnos, ella nos comenta al respecto:

La biotecnología tiene como fin la producción INDUSTRIAL de algún metabolito o proteína, por lo que me parece importante que sepan qué sucede en nuestro país en términos de la propiedad intelectual en esta área.

En varios momentos durante el curso, me gusta hacer comentarios sobre la situación nacional y la comparación con otros países del mundo.

A principios de semestre les pido que lean el periódico para que se enteren de lo que sucede afuera de la Facultad (donde solemos estar todo el día), y les encargo que busquen especialmente noticias que tengan que ver con los temas que revisamos. Otro propósito de ese ejercicio es que se den cuenta de que la biotecnología nos acompaña en muchos aspectos de nuestra vida diaria y que es un tema de actualidad, tanto que frecuentemente algo se publica en medios de difusión para el público en general.

Un aspecto importante en el CPC de un profesor es que tenga claros los objetivos o propósitos de la enseñanza del tema en particular, lo que Maricarmen tiene muy presente, pues sus comentarios así lo muestran:

El objetivo de este tema es que los alumnos sepan que desde el punto de vista de la biotecnología, lo que interesa es que las células, en este caso de microorganismos, produzcan el compuesto de interés en grandes cantidades y en el menor tiempo posible.

En condiciones nativas, las células tienen mecanismos que regulan la producción de todos los compuestos que se requieren para vivir, con el fin de producir sólo lo que necesitan, no más. Algunos de esos compuestos, que forman parte del metabolismo celular, también son de interés industrial, esto es, que se requiere que se produzcan a gran escala.

Lo que sucede en las células nativas no corresponde a lo que se espera desde la perspectiva de la producción industrial, a través de la utilización de microorganismos, de acuerdo a lo expuesto inicialmente. Por lo que es necesario que se hagan modificaciones de estos sistemas de regulación para que las células se comporten como unas verdaderas fábricas, sin estar autolimitadas.

Es importante advertir, que la profesora es conciente de la calidad y profundidad de sus explicaciones, prueba de ello son sus siguientes comentarios:

Quizá resulte demasiado detallado lo que se explica, pero me parece que es un ejercicio de pensamiento interesante, que nos llevan a la conclusión de que no nos debemos de “casar” con una idea y tratar de imponer un modelo a TODO lo que ocurre en la naturaleza, sino que, al contrario, como científicos debemos observar el fenómeno con la mente abierta a las posibles explicaciones, sin forzar a que el comportamiento caiga dentro de un modelo ya descrito. En la respuesta que las células dan a cambios ambientales (en este caso a la presencia de algún compuesto químico intracelularmente) no hay reglas absolutas, el comportamiento depende de varios factores y no es conveniente generalizar.

Con respecto a su recurrencia al antropomorfismo para explicar procesos metabólicos que ocurren en la célula, Maricarmen nos comenta:

En varios momentos, utilizo una interpretación antropomorfista al hacer referencia a los eventos metabólicos que ocurren en las células, como si éstas fueran capaces de tomar decisiones como nosotros lo hacemos. Utilizo este recurso para que los alumnos vean estos eventos como algo más cercano a ellos y que sea más fácil de comprender. De hecho, muchas respuestas celulares tienen un comportamiento apegado a nuestra lógica y forma de actuar, como seres humanos. Por ejemplo, cuando les describo el sistema PTS (sistema fosfotransferasa) la respuesta celular es acelerar o retardar el metabolismo en función de la presencia de un azúcar de fácil consumo que le aportará energía. El fenómeno es como si la célula decidiera qué sustrato consumir primero, como si prefiriera o tuviera la capacidad de elegir entre varios de acuerdo a su gusto o antojo. Cuando el fenómeno tiene su explicación en una serie de eventos bioquímicos muy complejos, que se basan en el estado de fosforilación de ciertas proteínas que actúan en cadena. Entonces, primero los acerco al sistema de manera que comprendan el fenómeno en general, y después voy detallando, ya desde una óptica científica, los eventos bioquímicos.

Dado que Maricarmen no es la única profesora que recurre al antropomorfismo para explicar ciertos aspectos, presentamos el siguiente apartado.

## *Antropomorfismo en la educación*

### **La célula concepto clave para la vida**

La célula es un concepto clave en la conceptualización del conocimiento biológico. Se trata de un concepto complejo y altamente estructurado para el nivel de enseñanza no universitaria que se construye en las mentes de nuestros estudiantes a partir del discurso que la escuela (el currículum) les ofrece y que se construye como tal entidad compleja y abstracta; si bien es cierto que es una entidad física, real, que existe en ese mundo físico ellos no pueden verificarlo directamente. Se trata de un concepto que determina la estructura y el funcionamiento de todo el mundo vivo; condiciona, por tanto, su comprensión, su interpretación, la representación que del mismo se haga en el conocimiento que genera como intermediaria entre ese mundo vivo y el sujeto que pretende acercarse a él para entenderlo y aprehenderlo. Las dificultades de comprensión y de interpretación de ese mundo vivo en función de los problemas de conceptualización relativos a este contenido se han puesto de manifiesto en abundantes trabajos destinados a investigar las representaciones del alumnado en distintos aspectos de la Biología, así como cuestiones relativas a su aprendizaje. Llama la atención, sin embargo, que en su mayoría se haya detectado como obstáculo fundamental la célula y que haya sido éste el objeto de estudio directo y específico en pocas de esas investigaciones que, además, son relativamente recientes en el tiempo (Rodríguez y Moreira, 1999).

Una vez que Ausubel (1968) plantea la importancia que tiene el conocimiento previo del alumno en los procesos de enseñanza/aprendizaje, haciéndonos saber que es requisito indispensable para que pueda aprender significativamente, comienza en la investigación educativa una ebullición que da como resultado abundantes publicaciones sobre ideas previas, ideas alternativas, errores conceptuales, concepciones, "ciencia alternativa", en definitiva, alrededor de los años 70, trabajos, todos ellos, que tenían mucho de descripción, de catálogo, que en la década siguiente dieron paso a la planificación de estrategias tendentes al consabido y no conseguido cambio conceptual (Moreira, 1999). Esa resistencia al cambio nos hizo ver que aquellas concepciones, ideas previas, etc., tienen una serie de características, de atributos que deben ser tenidos en consideración en los procesos de aprendizaje y que guardan relación con su carácter autónomo, implícito, funcional, coherente, que no son tan fácilmente describibles y que no son tampoco tan fáciles de explicar y de modificar. Se trata de formas con las que el individuo interactúa espontánea e intuitivamente con la realidad. Así, poco a poco, surge para "esas cosas" una nueva consideración como "representaciones", dando con ello un carácter más cognitivo a "aquello que el alumno ya sabe". Y desde esta perspectiva, los trabajos consultados justifican la necesidad de abordar el estudio de las representaciones que el alumnado tiene (Pozo y Flores, 2007) y construye relativas a la célula y a su funcionamiento, así como la forma en la que esos modos de representación evolucionan, como requisito indispensable para entender el funcionamiento de los seres vivos como tales, incluyendo un ser vivo unicelular.

La célula ya se ha expresado que es un concepto de difícil comprensión por parte del alumnado y es un concepto básico, estructurante, en la conceptualización biológica, un concepto que se reconoce y que se representa mentalmente y que se reconoce y que se representa, efectivamente, pero de manera no aceptada científica y contextualmente. La afirmación precedente se pone

claramente de manifiesto al observar los resultados y las conclusiones que al respecto se han elaborado en investigaciones de diferente naturaleza, y desde distintas perspectivas teóricas y enfoques, que han abordado el conocimiento biológico y sus problemas de aprendizaje.

Rodríguez Palmero (1997) ha llevado a cabo una revisión de algunos de esos trabajos y propuestas, que aportan un marco de referencia para la investigación; algunos de esos trabajos han tenido como objeto específico la célula, pero se han incluido otros que dan idea de las tendencias y de las interacciones que se producen con otros campos de investigación que se han mostrado pertinentes. Considerando en su conjunto los setenta trabajos revisados por este autor, vemos que la mayor frecuencia, la mayor importancia, se ha dado en el terreno del contenido, en el epistemológico (treinta y siete); los aspectos metodológicos, las pautas de trabajo diario, las reflexiones y propuestas pedagógicas ocupan el segundo lugar (veintiuno) y los aspectos psicológicos de la cognición, el procesamiento mental de ese contenido, es el menos atendido por la investigación en educación en Biología, en particular, y presumiblemente, en ciencia en general, con sólo doce referencias. Estos datos según Greca (1999), concuerdan con la evolución seguida en los propios procesos y referentes de la investigación educativa. De hecho, ya no son suficientes los catálogos de ideas previas, ya no nos conformamos con seleccionar y organizar de manera más reflexiva el contenido, ya no nos convencen los modelos mágicos de cambio conceptual, sino que nos preguntamos qué es lo que hay en las cabezas de nuestros alumnos, por qué piensan lo que les enseñamos de una manera que no se corresponde con lo que "hemos enseñado", por qué re-presentan eso que enseñamos de una forma y no de otra, por qué no generan representaciones más acordes con la ciencia que pretendemos comunicarles. Todo ello nos lleva, otra vez, a las representaciones (¡internas!) entendidas como entidades mentales, como elementos básicos en la cognición.

Está claro que nadie discute en este momento el papel que ejercen esas representaciones en los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Del mismo modo, es evidente también que se dispone de suficiente documentación como para caracterizarlas en función de una serie de atributos como son: su carácter autónomo, su persistencia, su relativa universalidad, su resistencia, su coherencia, su carácter implícito y su funcionalidad, caracterización que nos proporcionó la investigación educativa de la que hablamos. Pero parece ser, según lo expuesto, que el tratamiento que ha tenido la indagación de estas representaciones no se ha mostrado adecuado o, cuando menos, no ha resultado plenamente satisfactorio, pues se ha caracterizado por una visión excesivamente descriptiva y, quizás, un tanto simplista al haber obviado su carácter de entidades con las que opera la mente. Se observa, pues, la necesidad de un replanteamiento, a partir de la situación descrita, y la posibilidad de que una salida sea considerar dichas representaciones como estructuras mentales con entidad propia, como "modelos mentales", afirmación que requiere, lógicamente, contrastación y que, por tanto, supone un nuevo campo de indagación del que se espera que se obtengan resultados aplicables a los problemas de enseñanza y de aprendizaje que la célula está mostrando, a juzgar por la bibliografía consultada.

Uno de los problemas que se presentan en la enseñanza de la célula, es el uso del antropomorfismo. Dreyfus, A. y Jungwirth, E. (1989) con el propósito de estudiar la medida de funcionalidad de las concepciones pre y post instruccionales al trabajar con la idea de célula viva como unidad básica de la vida, concluyen que:

- Se considera "la célula viva" como idea abstracta para el alumnado.

- Las experiencias de los niños y la vida diaria tienen mayor influencia que el aprendizaje escolar; se observan por ello concepciones antropomórficas con respecto a la célula.
- Frecuentemente se produce negligencia en el uso inevitable de palabras fáciles que conducen a interpretaciones ingenuas y atractivas para los niños de los procesos biológicos; esto deriva en inferencias contradictorias y no sólidas.
- Algunos errores y concepciones alternativas se deben al conocimiento personal de los niños, mientras que en otros casos se trata de ausencia de concepciones o ausencia de conciencia del significado del contenido científico que se ha enseñado, lo que es un fracaso del sistema educativo para enseñar conceptos significativos.
- La idea de unidad básica de vida extrae su significado de la comprensión de los procesos químicos que tienen lugar dentro de la célula; por ejemplo, el papel del agua en la célula y su necesidad de energía. Sin comprensión de la estructura de las proteínas y enzimas, el control de las funciones celulares por el núcleo es un sinsentido, así como otros tantos conceptos biológicos. Esto hace que dichos conceptos queden como no funcionales para esos niños.

Por otra parte, Dreyfus, A., Jungwirth, E. y Eliovitch, R. (1990) en sus estudios sobre las implicaciones prácticas de la instrucción basada en el cambio conceptual, así como dificultades y problemas al probar su implementación en el tema de la célula, afirman que:

- Los principales conflictos se dan entre una visión antropomórfica-teleológica de la célula por parte de los alumnos y la naturaleza de los procesos fisiológicos como se presentan en el currículum.
- Antes de enseñarse en la escuela, los alumnos no han tenido conocimiento sobre este tópico altamente sofisticado (membrana celular).
- Habiendo sido enseñados acerca de ello, los alumnos usan conocimiento intuitivo para desarrollar satisfactoria pero no científicamente algunas explicaciones. Éstas rellenan el vacío que ha dejado la enseñanza; con su propio testimonio, los alumnos no sienten la necesidad de posteriores elaboraciones.

Otro autor que ha elaborado estudios sobre esta línea es Mateos Jiménez, A. (1998) quien con el propósito de encontrar una aproximación a las principales concepciones estudiantiles de animales, factores influyentes en las mismas, posibles obstáculos epistemológicos e implicaciones didácticas, encuentra que:

- Se mencionan los cuentos infantiles como material del que parten esas concepciones; la visión antropocéntrica de los animales tiene este origen.
- Se sugiere que estas concepciones puedan deberse a su transmisión a través del pensamiento docente inducido.
- Lo que subyace a las concepciones del alumnado sobre los animales es una visión antropocéntrica y eso podría ser un inconveniente para adquirir una visión más ecológica de los mismos.
- Se propone la modificación de los cuentos infantiles y el diseño de estrategias específicas para superar ese pensamiento por categorías para alcanzar una visión ecológica de esos animales. Los resultados señalan problemas relacionados con la idea de esos animales como seres vivos



## Más sobre el antropomorfismo

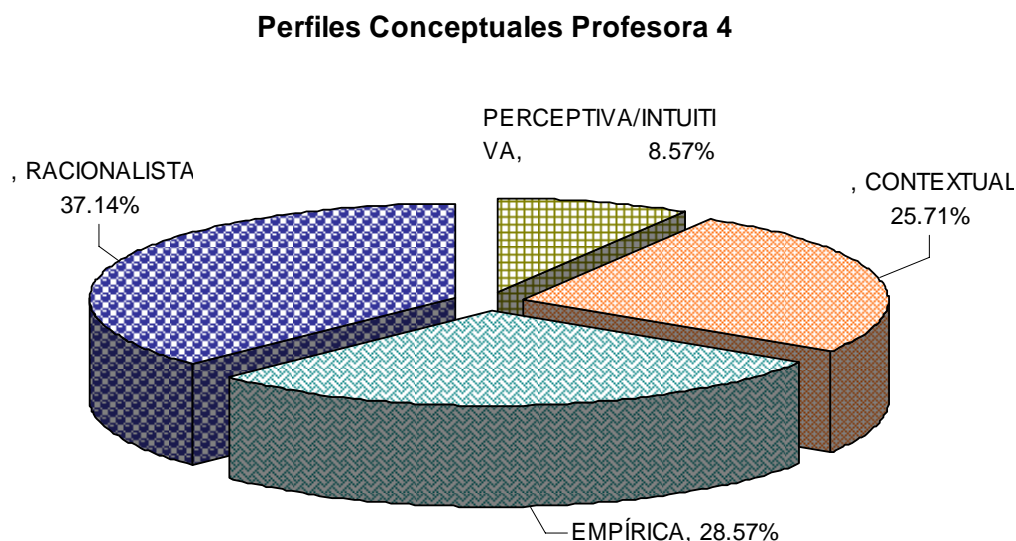
Para tratar de dar una posible explicación al uso del antropomorfismo por parte de los profesores de ciencias, recurriremos a las siguientes reflexiones de Ruy Pérez Tamayo. Él dice que el conocimiento verdadero es tan raro que hasta su misma naturaleza es motivo de discusión en medios académicos. Que el filósofo se pregunta: ¿cuáles son las diferencias entre entender, conocer, saber y creer? Y el hombre de ciencia (casi siempre ignorante de los esfuerzos filosóficos relacionados con su campo) sólo distingue entre dos categorías: el *conocimiento científico*, o sea la información obtenida por medio de una serie de construcciones teóricas sometidas a rigurosas pruebas objetivas (experimentales o de otra índole) realizadas personalmente y filtradas a través de otros investigadores, con las mismas o con otras técnicas, ampliamente diseminadas a través de los medios de difusión más críticos dentro de la especialidad, de modo de asegurar su percepción y análisis por la comunidad internacional experta e interesada en el campo, y el *conocimiento pseudoconocimiento*, constituido por las respuestas al mismo problema generadas por la fe y/o la intuición, o bien por corazonadas, deseos, ilusiones, sueños, caprichos, tradiciones, convivencias, angustias, tragedias, esperanzas y otras formas más de ideación y de sentimientos.

Pérez Tamayo continúa diciendo que vivimos en un mundo que es 95% fantasía y 5% realidad. En otras palabras, ignoramos casi todo lo que representa la realidad que nos rodea y de la que nosotros mismos formamos parte; lo que realmente conocemos de la naturaleza es una fracción pequeñísima, casi infinitesimal, de todo lo que ella contiene, todo lo demás se puede decir que es vacío. Desde épocas prehistóricas y hasta nuestros días, casi toda la humanidad ha llenado este inmenso vacío con invenciones fantásticas y sobrenaturales, repletas de magia y antropomorfismo. Es lo que los antropólogos actuales conocen como el pensamiento primitivo, refiriéndose así no a una estructura mental que pertenece al pasado sino a una forma de pensar ingenua y simplista, gobernada por categorías absolutas y con un fuerte componente mágico. El mundo primitivo no es un mundo antiguo, más bien es un mundo infantil.

El conflicto humano que este autor intenta resumir en estas líneas no es ni simple ni reciente: se trata de algo muy complejo y también muy antiguo. El problema ha estado vigente y sin resolver desde tiempo inmemorial: ¿qué hacer cuando se ignoran una parte o hasta todos los elementos que deberían conocerse para decidir? A través de la historia, el hombre ha producido dos respuestas a esta pregunta ancestral: i) la más antigua, la tradicional y la más popular ha sido y sigue siendo: "inventa lo que no sabes, adivina lo que ignoras, rellena tu ignorancia con fantasía;" ii) la respuesta minoritaria ha sido y sigue siendo: "detente ante lo desconocido, confiesa tu ignorancia, vive en la realidad de la incertidumbre." La filosofía de la ciencia enseña que las decisiones racionales *siempre* deberán hacerse sin información completa, que nuestro destino en la Tierra es adivinar la conformación más probable del sector de la naturaleza cuya estructura nos interesa y trabajar incansablemente en averiguar hasta dónde nuestra imaginación realmente corresponde a la realidad. El resultado de este doloroso proceso es lo que llamamos conocimiento. Y nada más.

## *Análisis del desempeño de Maricarmen conforme al perfil conceptual de Mortimer*

En el trabajo que antecede a éste (Velázquez, 2007), se reporta en la CoRe de esta profesora en particular, una preponderancia 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. También, se observa 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; estos datos se pueden observar en la grafica 5.4.



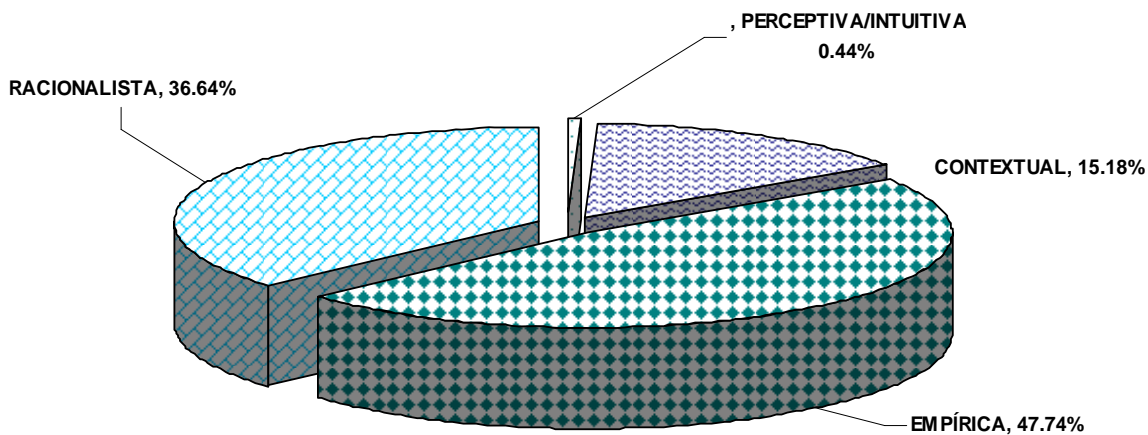
Grafica 5.4 Perfiles conceptuales obtenidos de la CoRe de Maricarmen  
(Gráfica obtenida de Velázquez, 2007)

En lo referente al Perfil Conceptual propuesto por Mortimer (1995), en esta investigación también, al igual que en el caso de Refugio, se analizaron los Papers de la profesora 4, Maricarmen, con los mismos criterios que se analizó su CoRe; y que son los mismos que se describieron para el caso de Refugio, los resultados obtenidos se encuentran en la grafica 5.5. En esta gráfica se observa que existe preferencia por utilizar la zona empírica en el aula, lo que pareciera diferir con la grafica 5.4, en donde existe una preponderancia por la zona racional. Sin embargo, como en el caso de Refugio, resulta que los temas en estudio para los Papers (Coordinación del metabolismo microbiano y Mejoramiento, aislamiento y conservación de microorganismos de interés industrial) se relacionan mejor con la idea 2 (Estructura del DNA. El material genético básico de los organismos es el mismo para todos.) y la 3 (¿Qué es la ingeniería genética? Del DNA a las proteínas recombinantes.) y por lo mismo, éstas son más compatibles con la zona empírica que con la racional. En apoyo a esto, se puede observar en la grafica 5.6, que precisamente indica que estas dos ideas son abordadas conforme a lo declarado por la profesora en su CoRe, desde las zonas racionalista y empírica.

No obstante, la zona racional para el caso de los Papers (36.64%) se mantiene prácticamente igual que lo que se obtuvo para la CoRe (37.14%). En consecuencia, hay que apuntar que la zona contextual tiene una disminución (de 25.7% a 15.18%) notoria, lo que podría explicarse tomando en cuenta los ejemplos que Maricarmen presenta en el aula. Pues pese a que éstos se pueden considerar como contextuales, ya que ella siempre trata de ligarlos al entorno de los estudiantes, no lo son completamente; pues éstos se refieren a actividades propias de la carrera que estudian los alumnos, tal es el caso de los ejemplos que cita, de ciertas rutas metabólicas como el ciclo de Krebs, que la profesora considera como cercanos y conocidos por los estudiantes; pero sus explicaciones las realiza desde el enfoque teórico y científico, propio de la zona racionalista.

También hay que resaltar, que si bien, la zona perceptiva/intuitiva es la menos favorecida desde los resultados obtenidos en la CoRe de esta profesora; en los resultados de los Papers casi es nula. Sin embargo, esto ilustra nuevamente la congruencia de los resultados obtenidos en los CoRe con respecto a los obtenidos en los Papers, pues como se puede observar en la gráfica 5.6, precisamente en las ideas 3 y 4, Maricarmen no presenta ni una sola frase en esta zona, es decir, no utiliza la zona perceptiva/intuitiva para explicar el tipo de temas en estudio.

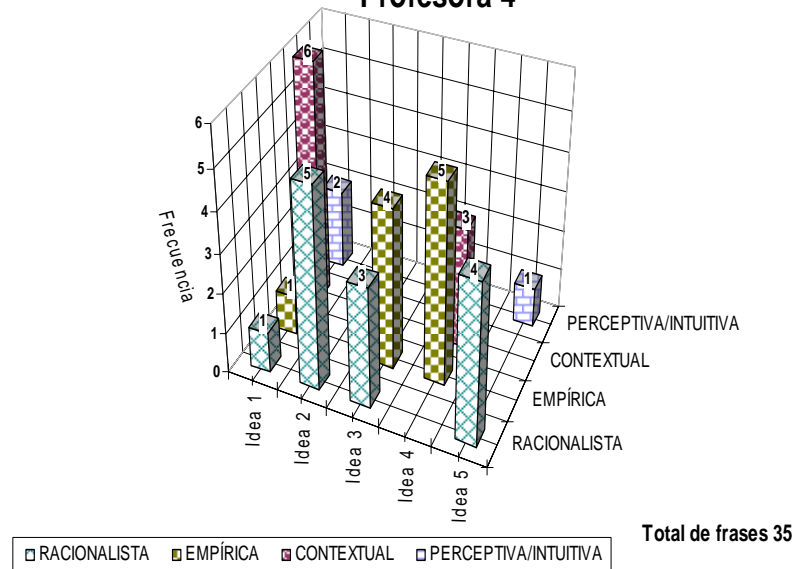
## Perfiles Conceptuales de los Papers



Gráfica 5.5 Perfiles conceptuales de Maricarmen, obtenidos de sus Papers

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

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



Grafica 5.6 Distribución de las frases en los perfiles conceptuales, obtenidos de la CoRe de Maricarmen (Gráfica obtenida de Velázquez, 2007)

### *Análisis de los Papers del nivel medio superior vs el superior*

Existen varios puntos que podemos comparar en lo que se refiere a la enseñanza del tema de biotecnología en el nivel medio superior con respecto al superior, surgidos en los Papers de las dos profesoras analizadas en esta tesis; sin embargo, centraremos nuestra atención en sólo dos puntos: el estilo de clase y el nivel de profundidad conceptual que se maneja en cada caso.

Con respecto al primer punto, podemos apuntar que los estilos de enseñanza de ambas profesoras difieren bastante. Pues mientras en el nivel bachillerato se trata de seguir un enfoque constructivista, en el superior se tiende a ser más tradicionalista.

Para ser más específicos, en el nivel medio superior, se observa que hay una tendencia a que el alumno sea el constructor y protagonista de su conocimiento; se le trata de mantener en acción, a través de diferentes actividades como la construcción de un plásmido, la discusión de artículos, la resolución de cuestionarios o bien la manipulación de animaciones, así mismo, se favorece el trabajo en equipo y la interacción del docente con los estudiantes. La profesora tiende a dar un trato personalizado a los alumnos, trata de crear una empatía con ellos, lo cual le permite explorar sus ideas y pensamientos. El material didáctico que presenta, suele ser atractivo y de fácil manipulación para los estudiantes, ya que utiliza diapositivas o imágenes coloridas, o bien lecturas con temas de su interés. Dialoga con ellos.

Considero que este estilo de enseñanza en el bachillerato es apropiado, ya que tomando en consideración las características propias de los estudiantes de este nivel, que corresponden a las de un adolescente, son en general volubles, les aburre una misma actividad por espacios largos, tienden a socializar con sus compañeros, les gusta ser escuchados y tomados en cuenta. Les resulta difícil centrar su atención en un punto por espacios largos, lo que resulta complicado si se trata que ellos construyan su conocimiento.

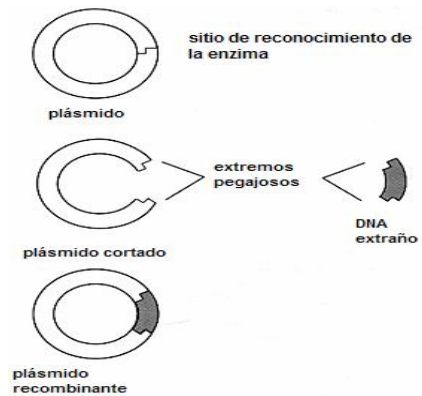
En cuanto al nivel superior, se observó bastante pasividad en los estudiantes, la profesora siempre fue la protagonista de la clase, pues éstas fueron esencialmente expositivas. Los recursos didácticos empleados fueron básicamente acetatos de fotocopias, en blanco y negro, de algún libro, sobre todo de esquemas o modelos. El trabajo en equipo o la interacción entre los alumnos para la discusión de algún tópico, nunca existió. Quizá, este estilo de enseñanza en ciencias, se justifique, pensando en que se trata de alumnos jóvenes, la mayoría alrededor de los 22 años, en donde se supone que controlan mejor sus impulsos dentro del aula. Por otra parte, hay que considerar que esta asignatura es teórico-práctica, por lo que además cuentan con una clase de laboratorio en donde se supone desarrollaran trabajo en equipo.

Pasando al segundo punto, que se refiere al nivel de profundidad conceptual que se maneja en cada caso, podemos afirmar que existe un abismo de diferencia entre ambos niveles educativos. Para iniciar, debemos mencionar que en el bachillerato no existe en el Programa de estudios un tema que responda al nombre de “Biotecnología” como tal, tan sólo aparece un subtema de éste, en la asignatura de Biología I, que es “La Ingeniería Genética y sus Aplicaciones”; en cambio, en el nivel superior, aparece como una asignatura obligatoria. Por tal razón los contenidos son más extensos, más amplios y se imparten con mayor profundidad en el nivel superior que en el medio superior, de tal forma que es difícil encontrar algunos puntos que se toquen en ambos niveles. Sin embargo, presentamos un ejemplo en donde se explica el mismo suceso en los dos niveles, la “Clonación de ADN en un plásmido”.

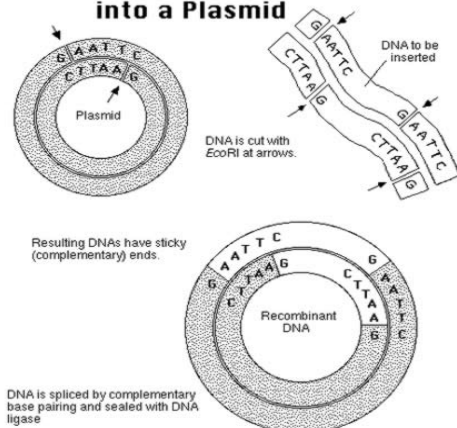
## “Clonación de ADN en un plásmido”.

<b>Nivel medio superior</b>	<b>Nivel superior</b>
<p>Cambia de lámina (imagen 8) y ahora muestra una que tiene dos esquemas y señalando el esquema dice</p> <p>P:... ahí están representaciones esquemáticas, este circuitito está representando al plásmido, éste (señala otra parte del esquema) es el sitio de reconocimiento de la enzima, se acuerdan que hablamos de la EcoR1, bueno, si esta enzima reconoce este sitio, es decir la secuencia de bases de las que hablabas (le dice a una alumna) cortara y ven como se abre el plásmido (señala en el esquema el plásmido abierto), entonces si tengo ya aislado, con la misma enzima de restricción, el fragmento de ADN que quiero insertar acá entonces se pueden unir siempre y cuando tengan las mismas puntas pegajosas y en qué consiste eso, pues que la secuencia de bases aquí (dice señalando una punta del plásmido) sea complementaria con ésta (señala el fragmento de ADN), Y luego hay otras enzimas que se llaman ligazas que usan los ingenieros genéticos, que lo que hacen es por decir, unir esos pedazos. Entonces ya tengo un plásmido recombinado que se puede introducir a células para que se expresen los genes que nosotros estamos introduciendo.</p>	<p>Coloca en la pantalla un esquema (figura 1) para ayudarse a explicar; ella dice que el esquema muestra una construcción genética en donde se utiliza un plásmido, que es material genético circular cerrado y un fragmento de ADN, que contiene el gene que les interesa que se exprese (señala en el esquema). Dice que lo primero que se debe hacer es cortar el plásmido y generar extremos de cadena sencilla, también conocidos como “extremos cohesivos” porque cuando se encuentran con sus complementos se vuelven a unir. Lo que se corta es el enlace fosfo-diester del ADN que es un enlace covalente y lo que se queda listo para volverse a unir son puentes de hidrógeno, que aunque no son enlaces tan fuertes, sí son suficientes para que se apareen las bases adenina con timina y citosina con guanina. También menciona que son enzimas lo que se utiliza para cortar, de tal manera que las enzimas que cortan el plásmido son las mismas con las que se corta el fragmento de ADN. Los cortes del plásmido y del fragmento de ADN se hacen por separado, cuando se han generado los extremos cohesivos se ponen en contacto y se baja la temperatura para permitir que el fragmento de ADN se integre al plásmido. Ella aclara que esto no es suficiente para que los extremos queden unidos, ya que si se aumenta la temperatura los extremos se vuelven a separar pues sólo se encuentran alineados. Por lo tanto, hay que mantener la temperatura baja y agregar una enzima llamada ligasa, la cual va a generar que se vuelva a formar el enlace fosfo-diester que se cortó, para tener</p>

## Vectores biológicos : plásmidos

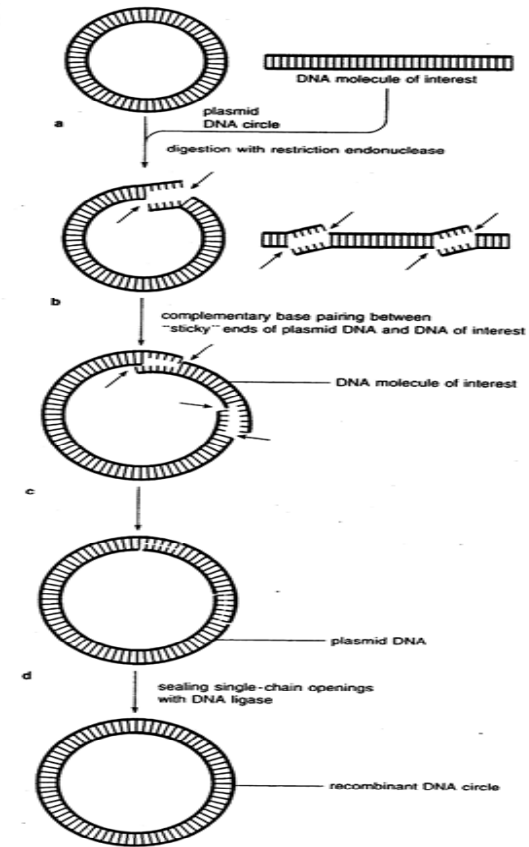


### Inserting a DNA Sample into a Plasmid



nuevamente un plásmido circular cerrado. Después pregunta:

P: Hasta ahorita ¿qué enzimas hemos utilizado? Las enzimas para unir, llamadas ligasas y las enzimas para cortar, llamadas de restricción. Existe una gama muy amplia de enzimas de restricción, les voy a mostrar algunas (coloca una tabla, figura 2)



Como se observa en el ejemplo, en el nivel bachillerato el tema se ve con menor profundidad y mayor sencillez desde el punto de vista conceptual, que en el nivel superior. En el primero, aunque se mencionan muchos conceptos o sucesos, éstos no son explicados a detalle, ni con tanto rigor científico como en el caso del nivel superior; esto es comprensible si tomamos en cuenta que los estudiantes no cuentan con bases bioquímicas para entender los procesos, ya que están cursando el tercer semestre y hasta el sexto semestre reciben algunas nociones de bioquímica. Tal es el caso de la explicación que ambas profesoras dan para el concepto de plásmido, Refugio menciona, “este circulito está representando al plásmido”, no añade más información; en cambio, Maricarmen explica, “un plásmido, que es material genético circular cerrado”. O el caso en que ambas explican como es que se corta un plásmido, en el bachillerato sólo se habla de cortarlo con una enzima de restricción, para generar puntas pegajosas, es decir una secuencia de bases complementaria al fragmento de ADN. Como se observa, no se da más información sobre su analogía de puntas pegajosas, ni se menciona qué es lo que se corta exactamente, o a que se refiere la secuencia de bases complementarias; en cambio en el nivel superior se habla de cortar el enlace fosfo-diéster del ADN (además se añade que es un enlace covalente), para generar extremos de cadena sencilla que quedan listos para volverse a unir, pues son puentes de hidrógeno, que aunque no son enlaces tan fuertes, sí son suficientes para que se aparezcan las bases adenina con timina y citosina con guanina. Otro punto que hay que destacar es que, en el nivel medio superior no se menciona en absoluto las condiciones experimentales en que se efectúan los procesos, lo que sí ocurre en el otro nivel.

Por otra parte, como ya se mencionó, existen muchos subtemas que ni siquiera se abordan en el bachillerato, y en el otro nivel son explicados ampliamente. Desde luego que esto le permite al alumno, conocer y manejar mejor el tema.

Considero que esto es lo esperado por todos, de manara abierta, que de alguna forma todos sabemos que la profundidad conceptual y el rigor científico debe ser mayor en un nivel que en otro. Sin embargo, no todos hemos tenido la oportunidad de mirar claramente este aspecto. También pienso, que es muy claro para la mayoría, que un estudiante de tercer semestre de bachillerato, no posee el mismo bagaje de conocimientos que uno de octavo semestre de la Facultad de Química, para entender cualquier tema con todo el rigor científico.

Sin embargo, pese a todo lo antes discutido, ambas profesoras son consideradas (en su entorno) excelentes y con un gran nivel académico, pues logran seducir a sus alumnos y comprometerlos con el tema. No obstante, ambas practicaron plenamente, las características recomendadas en el trabajo de Moreland (2006) para impartir el tema de biotecnología. Sin duda alguna, considero que ambas son conocedoras del tema y de lo que pueden enseñar en el nivel en que se encuentran, es decir, conocen el contenido con el propósito de enseñarlo a un nivel específico, pues toman en cuenta los requerimientos, debilidades o fortalezas de sus alumnos.



## CAPÍTULO 6. Conclusiones

Como se abordó en el capítulo 1, capturar el CPC de un profesor es un proceso difícil por todo lo que conlleva, se explicó, que éste es un conocimiento tácito del profesor que no está asociado con la impartición de una determinada lección, que 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. Sin embargo, los PaP - eRs (Repertorios de la Experiencia Pedagógica y Profesional), una metodología propuesta por Loughram (2000) *et al.*, en enlace con las técnicas de la investigación etnográfica, nos ha permitido en esta investigación capturar de forma complementaria al CoRe el CPC de dos profesoras para el tema de la biotecnología. A través de esta metodología logramos conocer las acciones que las docentes realizan dentro del aula para ayudar a los estudiantes a entender el tema.

En cuanto a la metodología utilizada para establecer el PC (Perfil Conceptual) de Mortimer, recordemos que se establecieron cuatro zonas: perceptiva/intuitiva, contextual, empírica y racionalista; lo cual nos permitió clasificar epistemológicamente las actividades que las docentes realizan en el salón de clase, de tal forma que pudimos observar que, dependiendo de la naturaleza del tema, ellas se situaran más en una zona que en otra; por ejemplo para el tema de la Ingeniería Genética la zona preponderante resultó ser la empírica. 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. En la enseñanza de un nuevo concepto científico, el sentido común del docente le permite tomar en cuenta 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.

En resumen podemos decir que la metodología usada en esta investigación fue la apropiada para los fines perseguidos, tanto las dos herramientas: el CoRe y los PaP-eRs, propuestas por Loughran-Mulhall-Berry para documentar el CPC de profesores, como el uso del PC de Mortimer para analizarlo y clasificarlo.

Es importante comentar que relativamente se encontró congruencia entre los datos, reportados en Velázquez (2007), de los CoRe y de los Papers trabajados en esta investigación. Es decir, la información que las dos académicas expresaron en su CoRe, respecto a la forma en que ellas abordan el tema de acuerdo a su experiencia, así como los recursos y actividades que declararon, se lograron observar en sus Papers, es decir en su actividad en el aula, es decir, en la *praxis*. Por otra parte, los perfiles conceptuales de Mortimer que se determinaron en la idea central correspondiente al tema expuesto de sus CoRe, se vieron reflejados en los Papers.

Pese a que las profesoras tienen estilos diferentes de enseñanza, los resultados obtenidos en esta investigación son congruentes con el estudio de caso sobre el CPC de la biotecnología realizado por Moreland y colaboradores (2006), en donde destacan algunas de las características del CPC que los profesores eficaces utilizan para enseñar este tema. Las características informadas por estos autores forman parte de las categorías encontradas en ambas profesoras.

Ambas cumplen con las categorías de Moreland *et al.*, adicionalmente comparten otras, no reportadas por estos autores, y que podríamos agregar a la lista como:

- a) formulan preguntas para dirigir la clase;
- b) emplean analogías;
- c) sitúan los aspectos educativos en la dimensión CTS;
- d) presentan diagramas o figuras para ayudar a sus explicaciones;
- e) sitúan el tema en el programa y recurren a conceptos explicados con anterioridad;
- f) emplean definiciones comunes de la biotecnología.

En el caso de la profesora de bachillerato, Refugio, hay que destacar el hecho de que contextualiza sus clases con un enfoque CTS y hace uso de las TIC (Tecnologías de Información y de la Comunicación). Ya que esto presenta ciertas ventajas en la enseñanza, pues las TIC motivan y estimulan el aprendizaje, tienen flexibilidad para satisfacer las necesidades y capacidades individuales, dan a los usuarios acceso inmediato a una fuente más rica de información, las simulaciones por computadora permiten el pensamiento sistémico sin abandonar la profundidad en el análisis, hacen que los profesores tengan una visión actual sobre cómo enseñar y sobre las formas de aprendizaje, ofrecen potencial para un trabajo en grupo efectivo y pueden ayudar a ahorrar dinero y tiempo. En 1996 la UNESCO hace referencia al fortalecimiento del rol de los profesores, partiendo de las reformas educativas, pensadas y diseñadas para afrontar los desafíos del futuro, que deben llegar a la institución educativa y a las aulas. Alcanzar el éxito en las políticas educativas, depende básicamente de la formación integral del docente, la que debe contemplar: la profesionalización de la enseñanza; el entrenamiento antes y durante el ejercicio; y aprender a usar las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, pues la sociedad espera más y más de nosotros.

Con respecto a la profesora de educación superior, Maricarmen, debemos hacer énfasis en la huella tan profunda que deja el tipo de educación que se recibe y las ideas previas arraigadas, como el antropomorfismo. Una vez más se comprueba el planteamiento de Ausubel sobre la importancia que tiene el conocimiento previo del individuo en los procesos de enseñanza/aprendizaje, así como la idea de Pozo sobre las “representaciones”, pues esta docente tiene una forma de “representar” su labor docente, la cual fue adquirida durante su etapa de alumna. De acuerdo a lo que ella nos comenta sobre su recurrencia al antropomorfismo podemos decir que lo utiliza como producto de cierta negligencia en el uso inevitable de palabras fáciles que conducen a interpretaciones ingenuas y atractivas para los estudiantes de los procesos biológicos. El antropomorfismo se ha considerado como un generador de preconcepciones en los estudiantes, pero hay poco estudiado con relación a los alumnos de la educación superior, como los de Maricarmen, en los cuales quizás sirva como un motivador del aprendizaje.

De acuerdo a los fines que se persiguen en los Programas de Estudio del CCH, en donde se habla que “en la actualidad, el desarrollo de la ciencia y la tecnología hace necesaria la incorporación de estructuras y estrategias de pensamiento, apropiadas a este hecho, en las formas de hacer, de

ser y de pensar del estudiante. Estas formas le permitirán desarrollar un pensamiento flexible y crítico, de mayor madurez intelectual, a través de conocimientos básicos que lo lleven a comprender y discriminar la información que diariamente se le presenta con visos de científica; a comprender fenómenos naturales que ocurren en su entorno o en su propio organismo; a elaborar explicaciones racionales de esos fenómenos; a valorar el desarrollo tecnológico y su uso en la vida diaria, así como a comprender y evaluar el impacto ambiental derivado de las relaciones hombre-ciencia y tecnología-naturaleza”, la biotecnología debe formar parte del Plan de estudios de química de esta institución. Pues al no estar presente, es sin duda una desventaja en el proceso formativo de los estudiantes ya que:

- 1) No se presenta en los cursos de química un caso en el que sea tan claro diferenciar nítidamente las actividades y conocimientos científicos de los tecnológicos, como dos acciones paralelas y concurrentes, aunque de naturaleza singular. La conclusión que se alcanza con el estudio de la biotecnología es que la ciencia y la tecnología tienen propósitos diferentes: la primera trata de ampliar y profundizar el conocimiento de la realidad; la segunda, de proporcionar medios y procedimientos para satisfacer necesidades;
- 2) Se pierde una justificación para integrar las actividades científicas con las tecnológicas, utilizando en ello el carácter social de las aplicaciones de la biotecnología;
- 3) Por lo tanto, el estudiante no logra apreciar cómo el conocimiento científico y tecnológico se convierten en una de las claves esenciales para entender la cultura contemporánea, por sus contribuciones a la satisfacción de necesidades humanas;
- 4) Se pierde la oportunidad de hablar de valores y de ética en la práctica biotecnológica, en la que aparecen mezclados: a) valores constitutivos de la tecnología –tales como racionalidad técnica, «virtuosismo» tecnológico, eficiencia, estética, economía, etc.–; b) valores contextuales –como, por ejemplo, razones de beneficio económico, bienestar social, prestigio nacional o industrial, poder político, militar o empresarial, la influencia del género, etc.–; c) valores que subyacen en la elección de los problemas a resolver con la tecnología, en el propio diseño tecnológico y en los criterios que se utilizan para evaluar los resultados de la opción elegida.

Finalmente, queremos expresar que la comunidad de la educación científica está de acuerdo que enseñar una visión de la ciencia reduccionista y analítica, como fue la norma en el siglo XX, no será relevante para este siglo. La biotecnología es un ejemplo de ciencia actual que proporciona a los profesores el contexto para hablar de una ciencia hecha por equipos de científicos, tecnólogos y científicos sociales trabajando juntos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO-DÍAZ, J. A. (1998). Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología, *Enseñanza de las Ciencias*, **16(3)**, 409-420.
- AIKENHEAD, G. (1994). "What is STS Science Teaching?" In Solomon, J. and Aikenhead, G. (eds.), *STS Education: International Perspectives on Reform*, New York: Teachers College Press.
- AIKENHEAD, G. (2000). "Renegotiating the culture school science". In R: Millar, J, Leach & J. Osborne (Eds.) *Improving Science education-the contribution of research*. Buckingham, England: Open University Press, 245-264
- 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.
- APPLETON, K. (2002) "Science activities that work: Perceptions of primary school teachers." *Research in Science Education*, **32(3)**, 343-410.
- ARCHER, B. (1992) *As complex as ABC*. In P. Roberts, B. Archer and K. Baynes (eds)
- AZNAR CUADRADO, V. (2000) "¿Qué sabemos sobre biotecnología?", En: *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **25**, 9-14.
- BACHELARD, G. (1940) *La philosophie du non*. Paris: Quadrige/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. Traducido al español como BACHELARD, G. (1968) *La filosofía del no: Ensayo de una filosofía del nuevo espíritu científico*. Buenos Aires: Amorrortu.
- BAKER, W. y LAWSON, A.C. (2001) *Complex Instructional Analogies and Theoretical Concept Acquisition in College Genetics* New York: Ed. John Wiley and Sons, Inc.
- BAL, S. KESKIN-SAMANCI, N. y BOZKURT, O. (2007). "University Students' Knowledge and Attitude about Genetic Engineering", *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, **3(2)**, 119-126.
- BALL, D. L. (2000) "Bridging Practices: Intertwining Content and Pedagogy in Teaching and Learning to Teach", *Journal of Teacher Education*, **51 (3)**, 241-247.
- BARROWS, R.N (1980). Tambllyn. *Problem-Based Learning*. Springer Publishing Company, New York.
- 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, 147-162.
- BELLO, S. (2004) "Ideas previas y cambio conceptual", *Educación Química*, **15(3)**, 210-217.
- BERLINER, D.C. (1986) "In pursuit of the expert pedagogue", *Educational Research*. **15(7)**, 513.

- BERRY, A. y MILROY, P. (2002) "Changes that matter". In J. Coughran, I. Mitchell (Eds), *Learning from teacher research*. New York. Teachers College Press, 196-221
- BERTELY, M. (1994), "Retos metodológicos en etnografía de la educación ", *Colección Pedagógica Universitaria*, **25**, 31-46
- BERTELY, M. y CORENSTEIN, M. (1994), "Panorama de la investigación etnográfica en México: una mirada a la problemática educativa", en Mario Rueda, Gabriela Delgado y Jacobo Zardel (coords.), *La etnografía en educación. Panorama, prácticas y problemas*, México, CISE/UNAM, 173-208.
- BOND-ROBINSON, J. (2005) "Identifying pedagogical content knowledge (PCK) in the chemistry laboratory", *Chemistry Education Research and Practice*, **6(2)**, 83-103.
- BROOKS, J. G y BROOKS, M. G. (1999) *In Search for Understanding; The Case for Constructivist Classrooms*, ASCD, Alexandria.
- BRYCE, T. & GRAY, D. (2004). "Tough act to follow: the challenges to science teachers presented by biotechnological progress". *International Journal of Science Education*, **26(6)**, 717-733.
- BUCAT, R. (2004) "Pedagogical content knowledge as a way forward: applied research in chemistry education". *Chemistry Education Research and Practice*, **5(3)**, 215-228.
- BULLOUGH, R. V. J. (2001) "Pedagogical content knowledge circa 1907 and 1987. A study in the history of an idea". *Journal of Teaching and Teacher Education*, **17**, 655-6666
- 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"
- CALVO, B. (1992) "Etnografía de la educación", en *Nueva Antropología*, **XII(42)**, México, 9-26.
- CARRETERO, M. (1998) "Construir y Enseñar: Las Ciencias Experimentales". 3ª edición, Buenos Aires, AIQUE.
- CHACON A. P. (2004) "¿Pedagogos, educadores o... profesores?", ed. Instituto de Investigaciones Sociales y Humanas S. C. : México.
- CHI, M. (1992). "Conceptual Change within and across Ontological Categories: Examples from Learning and Discovery in Science". En Giere R. (editor) *Cognitive Models of Science*, (Minnesota Studies in the Philosophy of science vol. XV), University of Minnesota Press, Minneapolis, USA, 1992, p. 129-186.
- CHOWNING, J. T. (2002). "The student Biotechnology expo. A new model for a science fair". *The American Biology Teacher*, **64(5)**, 331-339.
- CHRISTENSEN, A.J. (1981) Hansen. *Teaching and the Case Method*. Boston: Harvard Business School Publishing Division.
- CLANDININ D. J. (1986). "Classroom practice. Teacher images in action". Londres: The Palmer Press.

- CLANDININ, D. J. y Connelly F. M. (2000). *Narrative Inquiry: Experience and Story in Qualitative Research*, San Francisco: Jossey-Bass.
- CLEMENT, J. J. y STEINBERG, M. S. (2002) "Step-wise evolution of mental models of electric circuits: A "Learning-Aloud" case study". *The Journal of the Learning Sciences*, **11** (4), 389 – 452.
- 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), 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), 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**, 263-272.
- COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES (1996) *Plan de Estudios Actualizado* Unidad Académica del Ciclo de Bachillerato, UNAM
- COMAROFF, J. y J. (1991) *Of Revelation and Revolution, Christianity, Colonialism and Consciousness in Southafrica*. Vol. I. Chicago and London. University of Chicago Press.
- COMENIO, J. A. (2000) "Didáctica Magna", ed. Porrúa: México; Col. Sepan cuantos, Núm. 167.
- CONNELLY, F. M. y CLANDININ, D. J. (1984). Personal practical knowledge at Bay Street School: Ritual, personal philosophy and image. En R. Halkes y J.E. Olson (eds.): *Teacher thinking. A new perspective on persisting problems in education*. Lisse, Swets and Zeltlinger.
- CONNELLY F. M. y CLANDININ, D. J. (1985). "Personal practice knowledge and the models of knowing. Relevance for teaching and learning". En Eisner, E. (ed.) *Learning the ways of knowing*. Chicago: Chicago press. Pp. 174-198.
- CONNELLY F. M. y CLANDININ, D. J. (1988). *Teachers as Curriculum Planners Narratives of Experiences*, OISE Press y Teachers College Press New York.
- CONWAY, R. (2000). "Ethical Judgements in Genetic Engineering: The Implications for Technology Education", *International Journal of Technology and Design Education*, **10**, 239–254.
- COOPER, M. M. (1995). Cooperative Learning. An Approach for Large Enrollment Courses, *Journal of Chemical Education*, **72**(2), 162-164.
- COSTU B. (2008) Learning Science Throgh the PDEODE Teaching Strategy: Helping Students Make Sense of Everyday Situations. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, **4**(1), 3-9.
- COUTINHO, F. A., EL-HANI, C. N. y MORTIMER, E. F. (2007). Construção de um perfil conceitual de vida. En Pozo, J. I y Flores, F. (editores) *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*, Madrid: Editorial Antonio Machado Libros, colección "aprendizaje" OREALC-UNESCO/Universidad de Alcalá. Un artículo similar apareció en *Investigações em Ensino de Ciências* con el título "Construção

de um perfil para o conceito biológico de vida”. Puede consultarse en la URL [http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol12/n1/v12\\_n1\\_a5.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol12/n1/v12_n1_a5.htm)

- COVARRUBIAS V. F. (1995) “La teorización de procesos histórico-sociales”, (Volición, ontología y cognición científica), ed. UPN: México; Col. Textos, No. 4.
- COVARRUBIAS V. F. (1995). “Las herramientas de la razón”, (La teorización potenciadora intencional de procesos sociales), ed. UPN: México; Col. Textos, No. 3.
- CUEVA, V. Y COL. El Modelo Educativo Constructivista ABC<sup>2</sup>: Aprendizaje Basado en la Construcción del Conocimiento ITESM <http://www.ver.itesm.mx>
- 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, pp. 8. Versión electrónica consultada el 2 de febrero de 2006, en la URL <http://www.ecu.edu/cs-educ/csmte/Research.cfm>.
- DAWSON, V. (2007) “An Exploration of High School (12–17 Year Old) Students’ Understandings of, and Attitudes Towards Biotechnology Processes”, *Research in Science Education*, 37, 59–73.
- DAWSON, V. y SCHIVECHI, R. (2003).” Western australian high school students’ attitudes towards biotechnology processes”, *Journal of Biology Education*, **38(1)**, 7-12.
- DE JONG, AHTEE, GOODWIN, HATZINIKITA y KOULAUDIS (1999). An International Study of Prospective Teachers’ Initial Teaching Conceptions and Concerns: the case of teaching “combustion”, *European Journal of Teacher Education* **22(1)** 45-60.
- 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**, 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, 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)**, 947-964.
- DeHART HURD, P. (1998). Scientific literacy: New minds for a changing world. *Science Education*, **83(3)**, 402-416.
- DRIVER, R. y EASLEY, J. (1978) “Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students”, *Studies in Science Education*, **5**, 61-84.
- DUIT, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, **75**, 649–672.
- 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.

- DUIT, R. (2007) *Bibliography - Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*, disponible de <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>. Accesado el día 09/11/2007.
- DURKHEIM, E. (1992) “Historia de la educación y de las doctrinas pedagógicas. La evolución pedagógica en Francia”, ed. La piqueta: Madrid; trad. María Luisa Delgado y Félix Ortega, del francés. Col. Genealogía del poder.
- EICHELBAUM, T., ALLAN, J., FLEMING, J. y RANDERSON, R. (2001). Report of the Royal Commission on genetic modification. Report and recommendations, (1) Wellington, N. Z. Royal Commission on Genetic Modification.
- ESCALADA, L. (1999). Three-stage learning cycle lesson plan outline. Unpublished manuscript, University of Northern Iowa, Cedar Falls, IA
- FERNÁNDEZ, I., GIL-PÉREZ, D., VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2005). ¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos? La superación de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología: un requisito esencial para la renovación de la educación científica. En: Gil, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. (Eds.). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago: OREALC/UNESCO. (2005) Capítulo 2, 29-62.
- FERNÁNDEZ-BALBOA, J. y STIELKL. (1995) “The Generic Nature of Pedagogical Content Knowledge among College Professor”, *Teaching and Teacher Education*, **11(3)**, 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?” *International Journal of Science Education*, **22(9)**, 1027- 1039.
- FRANCE, B. (2007). “Location, Location, Location: Positioning Biotechnology Education for the 21st century”, *Studies in Science Education*; **43**, 88-122.
- FURIO, C. (1989). La didáctica de las ciencias en la formación inicial del profesorado: una orientación y un programa teóricamente fundamentados, *Enseñanza de las Ciencias*, **7(3)**, 257-265.
- GABEL, D. L. (1994) (ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. NSTA, New York.
- GALINDO, J. (1997). *Sabor a ti*. Biblioteca Universidad Veracruzana. México.
- GALINDO, J. (1998). *Técnicas de Investigación en sociedad, cultura y comunicación*. Addison Wesley Longman. México.
- 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, 599-616.
- GARCÍA-PALACIOS, E. M., GONZÁLEZ-GALBARTE, J. C., LÓPEZ-CEREZO, J. A., LUJÁN, J. L., MARTÍN-GORDILLO, M., OSORIO, C. y VALDÉS, C. (2001). *Ciencia*,



*Tecnología y Sociedad: una aproximación conceptual*. Madrid: Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Colección: Cuadernos de Iberoamérica.

- GARDNER, P. (1995). The relationship between technology and science: Some historical and philosophical reflections. Part II. *International Journal of Technology and Design education*, **5(1)**, 1-33.
- GARRITZ, A. y TRINIDAD-VELASCO, R. (2004) “El conocimiento pedagógico del contenido”, *Educación Química*, **15(2)**, 98-102.
- GARRITZ, A. y TRINIDAD-VELASCO, R. (2006). “El conocimiento didáctico de la estructura corpuscular de materia”. *Educación Química*, *17*(extraord), 236-263.
- 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).
- GARRITZ, A., PORRO, S., REMBADO F. M. y TRINIDAD, R. (2007) Latin-American teachers’ pedagogical content knowledge of the particulate nature of matter. *Journal of Science Education*, **8(2)**, 79-84.
- GEERTZ, C. (1991), *La interpretación de las culturas*, México, Gedisa.
- 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, 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, 51-95.
- GIJSELAERS, W. (1995) “Educational Innovation in Economics and Business Administration: The case of problem-Based learning”. Kluwer Academic Publishers.
- GIL, D. (1991) “¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias?”, *Enseñanza de las Ciencias*, **9(1)**, 69-77.
- GILBERT, G. K., BOULTER, C. y RUTHERFORD, M. (1998a). “Models in explanations, Part 1: Horses for courses?” *International Journal of Science Education*, **20(1)**, 83-97.
- GILBERT, G. K., BOULTER, C. y RUTHERFORD, M. (1998b). “Models in explanations, Part 2: Whose voice? Whose ears?” *International Journal of Science Education*, **20(2)**, 187-203.
- GIL-PEREZ, D. et al. (2002) “Defending Constructivism in Science Education”, *Science & Education*, **11**, 557-571.
- GINER DE LOS RÍOS, F. (1905) *Pedagogía universitaria. Problemas y noticias*, Madrid: Boletín de la Institución Libre de Enseñanza.
- 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**, 59-74.

- GROSSMAN, P.L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*, New York: Teachers College Press.
- HAMMERSLEY, M. y ATKINSON, P. (1995) "Ethnography: Principles in Practice". New York: Routledge, segunda edición.
- HEKMAN, S. (1984) Action as a text: Gadamer`s hermeneutics and the social scientific analysis of action. *Journal for the Theory of Social Behaviour* **14(3)**, october
- HOBAN, G.F. (2002) *Teacher for educational change: A systems thinking approach*. Buckingham: Open University Press.
- HODSON, D. (2003) "Time for action: Science education for an alterative future". *International Journal of Science Education*, **25(6)**, 645-670.
- HOFSTEIN, A. (2004) "The laboratory in chemistry education: thirty years of experience with developments, implementation, and research", *Chemistry Education Research and Practice*, **5(3)**, 247-264.
- HOFSTEIN, A. y LUNETTA, V, N. (2004) "The laboratory in science education: Foundation for the 21<sup>st</sup> century", *Science Education*, **88**, 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**, 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)**, 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.
- INCLÁN, C. (1992) Diagnóstico y perspectivas de la investigación educativa etnográfica en México, 1975-1988, Cuadernos del CESU, **28**, México, CESU-UNAM.
- INCLÁN (1992) Diagnóstico y perspectivas de la investigación educativa etnográfica en México, 1975-1988, Cuadernos del CESU, **28**, México, CESU-UNAM.
- JENKINS, E. E. (2000) Constructivism in School Science Education: Powerful Model or the Most Dangerous Intellectual Tendency? *Science and Education*, **9**, 599-610
- JENKINS, E.W. (1992) School science education: towards a reconstruction. *Journal of Curriculum Studies*, **24(3)**, 229-246.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (2000) Nuevas técnicas biológicas, antiguas explicaciones, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* **25**, 5-8.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P., BUGALLO-RODRÍGUEZ, A. y DUSCHL, R. A. (2000). "Doing the Lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics, *Science Education*, **84**, 757-792.
- JOHNSON, D. W. y JOHNSON, R. T. (1999). *Learning together and alone. Cooperative, Competitive and Individualistic Learning*. Boston, Allyn and Bacon, 5ª edición.

- 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 Periodicals, Inc.
- JONES, A., HARLOW, A. y COWIE, B. (2004) "New Zealand teachers' experiences in implementing the technology curriculum". *International Journal of Technology and Design*, 14(2), 101-119.
- KANT, I. (1987) "Pedagogía", ed. Hispánicas: México; trad. Lorenzo Luzuriaga y José Luis Pascual.
- KANT, I. (1996) "Crítica de la razón pura", ed. Porrúa: México; Col. Sepan cuantos, Núm. 203.
- KARPLUS, R. (1981). "Science teaching and the development of reasoning". *Journal of Research in Science Teaching*, 14, 169.
- KENNEDY, M. y DAVIES, R. (1994). *The impact of the biotechnology on New Zealand Industry 1984-1994, a decade of rapid change*, Wellington, N.Z.: New Zealand Biotechnology Association, SIR Publishing.
- KJERSDAM, F. Y ENEMARK, S. (1994) *The Aalborg Experiment: project innovation in university education*. Aalborg: Aalborg University Press.
- KOLB, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall
- KORTHAGEN, F.A. y KESSELS, J.P.A.M (1999) "Linking theory and practice: Changing the pedagogy of teacher education". *Educational Researcher*, 28(4): 4-17.
- LATAPÍ SARRE, P. (2007) ¿Recuperar la esperanza? La investigación educativa entre pasado y futuro. Conferencia de clausura. IX Congreso Nacional de Investigación Educativa, Mérida, Yuc., 5-9 de noviembre de 2007
- LATAUR, B. (1987). *Science in action*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- LAWRENCE-LIGHTFOOT, S. y HOFFMAN-DAVIS, J. (1997). "The Art and Science of Portraiture", San Francisco: John Wiley and Sons, Inc.
- LEACH, J. and SCOTT, P. (1999, August) *Teaching and learning science: Linking individual and sociocultural perspectives: As part of the symposium: In memory of Rosalind Driver: Advances in research on science learning*. Paper presented at the Meeting of the European Association for Research in Learning and Instruction, Goteborg Sweden.
- 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, 229-242.
- LOCKE, J. (1999) "Ensayo sobre el entendimiento humano", ed. Porrúa: México; Col. Sepan cuantos, Núm. 703.
- LOUGHRAM, J.J. y NOTHFIELD, J.R. (1996) *Opening the classroom door: Teacher, researcher, learner*. London: Falmer Press.

- LOUGHRAN, J., BERRY, A. y MULHALL, P. (2006) *Understanding and developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*, Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- LOUGHRAN, J., BERRY, A., y GUNSTONE, R. (2000) "Science in action: Developing an understanding of science teachers' pedagogical content knowledge". Paper presented at the *Annual meeting of the National Association 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 Through PaP-eRs", *Research in Science Education*, **31**, 289-307.
- 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)**, 370–391.
- LOUGHRAN, J., MULHALL, P. y BERRY, A. (2006) *Understanding and Developing Science Teacher's Pedagogical Content Knowledge* (Eds) Monash University, Clayton, Australia.
- LUNGREN. U. P. (1992) "Teoría del currículo y escolarización", ed. Morata: Madrid.
- 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, 95-132.
- MAGNUSSON, S., KRAJCIK, J. y BORKO, H. (1999). "Nature, sources, and development of the pedagogical content knowledge for science teaching". In J. Gess-Newsome, and N. G. Lederman (Eds.). *Examining pedagogical content knowledge*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- MICHAEL, M., GRINYER, A. y TURNER, J. (1997). "Teaching biotechnology: identity in the context of ignorance and knowledgeability", *Public Understanding of Science*, **6**, 1–17.
- MILLAR, R. & OSBORNE, J. (1998) *Beyond 2000: science education for the future*. London: King's College London.
- MITCHELL, I. and MITCHELL, J. (2005) What do we mean by career long professional development and how do we get it? In D. Beijaard P. Meijer, G. Murine-Dershimer y H. Tillem (Eds) *New directions in teachers' working and learning environment*. Dordrecht: Springer.
- MITCHELL, I. and MITCHELL, J. (2007) *Stories of reflective teaching*. A book of reflective teaching. A book of PEEL cases. Melbourne. PEEL publishing.
- MORELAND, J., JONES, A. y COWIE, B. (2006). "Developing Pedagogical Content Knowledge for the New Sciences: The example of biotechnology", *Teaching Education*, **17(2)**, 143–155.
- MORFOUX, LOUI-MARIE (1985). *Diccionario de Ciencias Humanas*. Barcelona: Grijalbo.
- 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**, 267-285.
- MORTIMER, E. F. (2001). "Perfil Conceptual: formas de pensar y hablar en las clases de ciencias, Infancia y Aprendizaje", **24 (4)**, 475-490.
- MOSES, V. (2003) "Biotechnology education in Europe", *Journal of Comercial Biotechnology*, **9(3)**, 219-230.
- 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](http://www.ied.edu.hk/apfslt/v4_issue2/mulhall/index.htm#contents)
- MYSLIWIEC, T. H. (2003) "The genetic blues: Understanding genetic principles using a practical approach and a historical perspective." *The American Biology Teacher* **65(1)**, 41-46.
- NEW ZEALAND BIOTECHNOLOGY ASSOCIATION. (1995) The NZBA definition of the biotechnology New Zealand Biotechnology ASSOCIATION Newsletter, 28:4.
- NOVICK, S. y NUSSBAUM, J. (1981) "Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study". *Science Education*, **65(2)**, 187-196.
- NOVICK, S. y NUSSBAUM, J., (1978) Junior High School Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: An Interview Study, *Science Education*, **62**[3], 273-281.
- OMS (2005) Biotecnología 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](http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/biotech_sp.pdf)
- ORGILL, M. K. y BODNER, G. M. (2006). An Analysis of the Effectiveness of Analogy Use in College-Level Biochemistry Textbooks, *Journal of Research in Science Teaching*, **43(10)**, 1040–1060.
- PARADISE, R. (1994), "Etnografía: ¿técnicas o perspectiva epistemológica?", en Mario Rueda, Gabriela Delgado y Jacobo Zardel (coords.), *El aula universitaria. Aproximaciones metodológicas*, México, CISE-UNAM, 73-81.
- PETRI, J. y NIEDDERER, H. (1998). "A learning pathway in high – school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*", **20 (9)**, 1075 – 1088.
- PHOENIX, D.A. (2000). The science of the millennium . *Journal of Biological Education*, **34(3)**, 115-116.
- PIÑA OSORIO, J. M. (1997), "Consideraciones sobre la etnografía educativa ", en *Perfiles Educativos*, **XIX (78)**, México, 39-56.
- PIQUETTE, J. S. y HEIKKINEN, H. W. (2005). Strategies Reported Used by Instructors to Address Student Alternate Conceptions in Chemical Equilibrium, *Journal of Research in Science Teaching*, **42(10)**, 1112–1134.
- POZO, J. I et al. (1992) "Las ideas de los alumnos sobre ciencia como teorías implícitas", *Infancia y Aprendizaje*, **62(63)**, 187-204.

- POZO, J. I y FLORES, F. (2007, editores) *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*, Madrid: Editorial Antonio Machado Libros, colección "aprendizaje" OREALC-UNESCO/Universidad de Alcalá.
- POZO, J. I. (2001) *Humanamente: el mundo, la conciencia y la carne*, Madrid: Morata.
- 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, 161-174.
- POZO, J.I. (2007) "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.
- RAVERTZ, J. R. (1990) *The merger of knowledge with power. Essays in critical science*. London: Mansell.
- RAVIOLO, A. y GARRITZ, A. (2005) "Editorial. Decálogos e inventarios", *Educación Química*, **16(x)**, 106-110.
- RAVIOLO, A. Y GARRITZ, A. (2007). Analogías en la enseñanza del Equilibrio Químico. *Educación Química*, 18(1) 15-28.
- REYES, F. y GARRITZ, A. (2006) "Conocimiento didáctico del concepto de «reacción química» en profesores universitarios mexicanos". *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(3), 1175-1205. Puede consultarse en la URL <http://www.comie.org.mx/>.
- RICHARDSON, V. (1997) (ed.). *Constructivist teacher education: Building a world of new understandings*. Washington DC, Falmer Press.
- ROCKWELL, E. (1991), "Etnografía y conocimiento crítico de la escuela en América Latina", en *Perspectivas*, **XXI(2)**
- ROCKWELL, E. (1994), "La etnografía como conocimiento local", en Mario Rueda, Gabriela Delgado y Jacobo Zardel (coords.), *El aula universitaria. Aproximaciones metodológicas*, México, CISE-UNAM, 55-72.
- RUEDA, M. (1994), "La investigación cualitativa en el conocimiento de la enseñanza a nivel universitario", en Mario Rueda, Gabriela Delgado y Jacobo Zardel (coords.), *El aula universitaria. Aproximaciones metodológicas*, México, CISE-UNAM, 237 - 247.
- RUEDA, M. (1997) "La investigación educativa en México. Comentarios sobre el desarrollo reciente de la etnografía en educación", en Dice, Revista del Instituto de Ciencias de la Educación, 1(1), UAEM, 35 - 48.
- SADLER, T. D. y ZEIDLER, D. L. (2004). The Morality of Socioscientific Issues: Construal and Resolution of Genetic Engineering Dilemmas, *Science Education*, 88, 4 – 27.
- SADLER, T. D. y ZEIDLER, D. L. (2005). Patterns of Informal Reasoning in the Context of Socioscientific Decision Making, *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 112–138.

- SÁEZ M., GÓMEZ A. y CARRETERO A. (2008) "Matching Society Values: Student's Views of Biotechnology" *International Journal of Science Education*, 30(2), 167-183
- 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), 1-18.
- SCHMIDT, H.G. (1993) "Foundations of Problem-based learning: Some explanatory notes". *Medical Education*, 27, 422-432.
- SCHÖN, D. A. (1987). "Educating the effective practitioner". San Francisco: Jossey Bass.
- SCHÖN, D.A. (1983) *The reflective practitioner: How professionals think in action*. New York: Basic Books.
- SCHWAB, J.J. (1978). "Science, curriculum and liberal education". Chicago: University of Chicago Press.
- SCOTT, P. H. (1992) "Pathways in learning science: a case study of the development of one student's ideas relating to the structure of matter". En R. Duit, F. Goldberg y H. Neidderer (Eds.) *Research in Physics Learning: theoretical issues and empirical studies*, ( 203 – 224). Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
- SHARAN, S. (ed., 1994), *Handbook of cooperative learning methods*, New York: Praeger.
- SHULMAN, L. S. (1986). "Those who understand: Knowledge growth in teaching", *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- SHULMAN, L. S. (1987) "Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform", *Harvard Educational Review* 57(1), 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. 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.
- SIMONNEAUX, L. (2000). "A study of pupils' conceptions and reasoning in connection with 'microbes', as a contribution to research in biotechnology education". *International Journal of Science Education*, 22(6), 619-644.
- SIMONNEAUX, L. (2000a) "Cómo favorecer la argumentación sobre biotecnologías entre el alumnado", *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 25, 27-44.
- SIMONNEAUX, L. (2001). "Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis", *International Journal of Science Education*, 23(9), 903-92.
- SIMONNEAUX, L. (2002). "Analysis of classroom debating strategies in the field of biotechnology". *Journal of Biology Education*, 37(1), 9-12.
- SOLOMON, G. (1993) No distribution without individuals' cognition: a dynamic interactional view. In G. Solomon (Ed.), *Distributed cognitions psychological and educational considerations*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

- SOLOMON, J. (1984) "Prompts, cues and discrimination: the utilization of two separate knowledge systems", *European Journal of Science Education*, **6(3)**, 277-284.
- SOLOMON, J. y THOMAS, J. (1999) Science education for the public understanding of science. *Studies in Science Education*, **33**, 61-90.
- SOUTER, N. (2003) DNA in the school curriculum-a poorly exploited asset? *School Science Review*, **84(308)**, 57-63.
- SPARKES, J. (1992) *Modelling*, In McCormick, R., Neweyand, C., Sparkes, J. (eds) echnology for Technology Education (Padstow: Addison-Wesley, Open University), 75-87.
- STEELE, F. y AUBUSSON, P. (2004) "The challenge in teaching biotechnology", *Research in Science Education*, **34**, 365-387
- STURGIS, P. (2005) "Attitudes to biotechnology estimating the opinions of a better-informed public" *New Genetics and Society*, **24(1)**, 31-56
- SULLIVAN, V. (1996) Strategy B1: Predict, Observe, Explain (POE). In Rosemary Dusting, Gillian Pinnis, Rola Rivers and V. Sullivan (Eds) *Towards a thinking classroom: A stuffy of PEEL teaching* Melbourne: PEEL publishing, 32, 40-41.
- TABER, K. S. (2001) "Shifting sands: a case study of conceptual development as competition between alternative conceptions". *International Journal of Science Education*, **23 (7)**, 731 – 753.
- TALANQUER, V. (2004) "¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?", *Educación Química*, **15(1)**, 52-58.
- TALANQUER, V. (2005) "El químico intuitivo", *Educación Química* **16(4)**, 540-547.
- TALANQUER, V. (2005) "Recreating a Periodic Table: A Tool for Developing Pedagogical Content Knowledge", *Chem. Educator*, **10**, 95-99.
- TALANQUER, V. (2006a) "Propiedades emergentes: un reto para el químico intuitivo", *Educación Química* **17(extr)**, 315-320.
- TALANQUER, V. (2006b) "Commonsense Chemistry: A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions", *Journal of Chemical Education* **83(5)**, 811-816.
- TALANQUER, V. (2007) "Explanations and Teleology in Chemistry Education", *International Journal of Science Education*, publicado en línea el 15 de febrero de 2007.
- TALANQUER, V., MORGAN, D., MAEYER, J. y YOUNG, K. (2007) "Linking General Education and Science Teacher Preparation", *Journal of College Science Teaching*, **37(2)**
- 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)**, 1168-1171.
- TIBERGHIE, A. y G. DELACÔTE (1978), "Résultats préliminaires sur la conception de la chaleur," in Physics Teaching in Schools. *Proceedings of the 5th Seminar of GIREP*, edited by G. Delacôte (London, Taylor & Francis Ltd.), 275-282.
- 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)**, 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)**, 673-695.
- VÁZQUEZ, A., ACEVEDO, J. A. y MANASSERO, M. A. (2005). "Más allá de la enseñanza de las ciencias para científicos: hacia una educación científica humanística", *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, **4(2)**.
- 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., 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>
- VELÁZQUEZ, G. P. (2007) "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". Tesis de Maestría, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México
- VENVILLE G. J. y TREAGUST, D. F. (2002) "Teaching about the gene in the genetic information age", *Australian Science Teachers' Journal*, **48(2)**, 20-24.
- VENVILLE, G.J., y TREAGUST, D.F. (1996). The role of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional Science*, 24, 295–320.
- VENVILLE, G.J., y TREAGUST, D.F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretative framework, *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9) 1031–1055.
- VICENTE, M. (2000) "Biotecnología: el arte de modificar a los seres vivos para beneficio del hombre", *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **25**, 15-25.
- VIENNOT, L. (1979). *Le Raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, París : Hermann.
- VILLALPANDO, J. M. (1981) "Filosofía de la educación", ed. Porrúa: México.
- WALTON, H.J. Y MATTHEWS, M.B. (1989) Essentials of problem-based learning. *Medical Education*, **23**, 542-558.
- 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, 177-210.
- WEENK, G.W.H. (1999) *Learning Pyramid*. Educational Center, University of Twenty.

# ANEXOS

## ANEXO 1. PaPer 2, Nivel Medio Superior

### Clase 2

### Análisis

Fecha: Noviembre 28, 2006

La clase da inicio con la presentación de una figura que muestra el mecanismo de acción de las enzimas de restricción, la profesora indica que esto es simplemente para recordarles lo que se vio la clase pasada y así puedan aplicarlo a la actividad que van a realizar más adelante, la creación de un plásmido recombinante. P explica la imagen 1



Imagen 1

Este tema es de lo más difícil de entender por los alumnos, por lo que en esta clase va a insistir en él, ahora con un poco más de calma

Muestra imagen

P: ... existen muchas enzimas de restricción que cortan en sitios específicos ... el mecanismo básico de la manera como cortan las enzimas generalmente es como forma de zeta ... de manera que se liberen o queden libres lo que se le ha denominada extremos pegajosos que son un pedacito de una de las cadenas de ADN pero que no tienen complemento en la parte de arriba debido a que cortó la enzima de restricción (señala la figura) ... recordar que esta generación de los extremos pegajosos es necesaria para que después se pueda insertar el ADN recombinante, ¿se acuerdan?

Retoma su analogía de extremos pegajosos

Cambia la imagen y dice

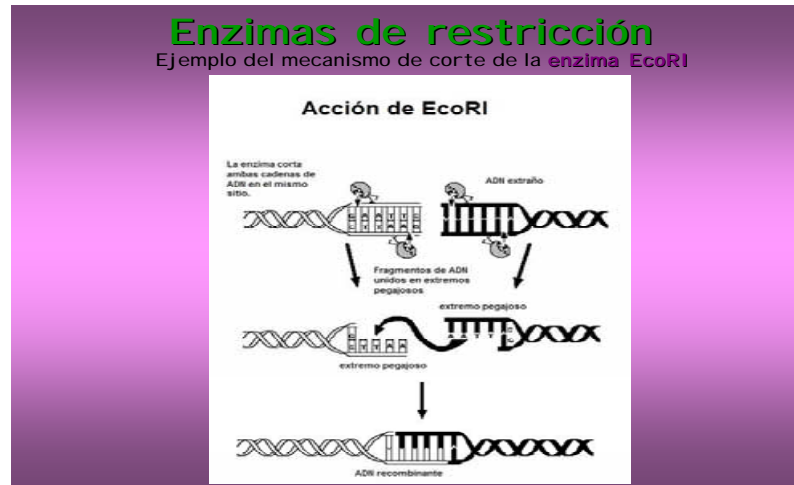


Imagen 2

Muestra imagen

P: la siguiente imagen muestra el ejemplo de la EcoRI que es la que vamos a simular. En las dos cadenas hay que generar los dos extremos pegajosos (señala en la imagen 2). En el ejercicio que vamos a hacer, vamos a simular una inserción del gen de la melanina humana en un plásmido. Acuérdense que el plásmido es el ADN circular de tamaño pequeño que de manera natural producen muchas bacterias. Ya habíamos comentado que el plásmido se utiliza como vector o vehículo para insertar ADN proveniente de otra especie... ya les repartí el material, lo que vamos a hacer es la actividad que está ahí, como ven sólo hay que cortar y pegar.

E: Ahí dice que las enzimas sólo cortan en determinados sitios, entonces ¿cada enzima ya está determinada para un lugar?

P: exacto, cada enzima tiene un sitio de reconocimiento, en el caso de la EcoRI corta específicamente el ADN cuando encuentre esta secuencia GAATTC, donde encuentre esa secuencia, ahí va a hacer el corte, pero lo va a hacer de forma escalonada como se ve aquí (señala en la imagen 2). Bueno la actividad tiene cuatro, no tiene cinco paginas, (conforme explica, va mostrando el contenido de cada hoja) en las primeras dos están las instrucciones de lo que van a hacer, en la siguiente hoja se indican los sitios de reconocimiento específicos para la EcoRI y en las últimas vienen los modelos de un segmento de un cromosoma humano y el modelo del plásmido, entonces lo que hay que hacer es localizar el gen de la

Insiste en su analogía de “extremos pegajosos”

Recuerda la clase anterior

Dentro de la analogía de “extremos pegajosos” ahora le da el nombre más amplio de “cortar y pegar”

Resuelve dudas relacionadas con el sitio donde cortan las enzimas Se refiere a la actividad didáctica “ADN RECOMBINANTE”

melanina humana de acuerdo al sitio en que corta la EcoR1 y luego insertarlo en el plásmido, para ello hay que recortar. Les explico a grandes rasgos a reserva de que lean las instrucciones lo que vamos a hacer ... a ver díganme con que cosa están representando las enzimas de restricción

Es: con las tijeras

Refugio da las instrucciones de lo que deben hacer los alumnos en la actividad, les pide que empiecen y pasa a cada mesa para aclarar dudas sobre lo que se esta haciendo. En todo momento se cerciora que los alumnos tengan clara la actividad, platica con ellos, les hace preguntas y los anima a concluir. Cuando se percata que la mayoría ya terminó esta actividad, les dice que deben responder el cuestionario que viene en la actividad y discutirlo entre ellos, les informa que toda la actividad se la deben entregar con el nombre de los integrantes de la mesa. Luego de un tiempo les dice

P: Bueno creo que todos ya terminaron, bien chicos díganme que respondieron a la pregunta ¿Cuál sería la finalidad de insertar un gen en una bacteria?

E1: que la bacteria trabaje en nuestras necesidades

E2: para ayudar en las enfermedades

P: sus compañeros me comentaban que se acordaban sobre el caso de la insulina, que mencionamos la clase pasada, ¿se acuerdan que dijimos que la insulina es una hormona que produce el cuerpo humano, pero que los enfermos de diabetes tienen problemas para producir esta hormona y que antiguamente se usaba la insulina de origen animal que producían otras especies, específicamente los cerdos y que en la actualidad ya se ha sustituido esa hormona por la que producen las bacterias que es cien por ciento humana? Este es un buen ejemplo de las aplicaciones. Ustedes muchachos ¿qué respondieron?

E3: que las bacterias puedan producir material codificado por genes humanos.

P: muy bien, bueno en este ejercicio se trata del material codificado por genes humanos como en el caso de la melanina que es una proteína que produce la coloración de la piel y los ojos, o el de la insulina, pero también existe la posibilidad que se les inserten genes provenientes de otras especies, esto lo veremos más adelante. ¿Tu Orlando qué respondiste?

Atiende al grupo de forma personalizada

Realiza pregunta sobre la actividad que realizaron los estudiantes

Retoma cosas de la clase anterior  
Ejemplifica lo que sucedía en el pasado histórico y cómo hemos mejorado con la biotecnología

Personaliza

E4: la creación de proteínas de interés humano

P: claro, muy bien. La siguiente pregunta es “¿Qué pasa con la porción donada del ADN cuando se encuentra dentro de las bacterias?”... Aquí lo que nosotros estamos representando con este modelo (toma el modelo que realizo uno de los estudiantes y explica) es la primera parte de la técnica que se utiliza para hacer un organismo transgénico. Este modelo no es un organismo transgénico, sino representa en realidad al vector a través del cual se introduce el gen en este caso en una bacteria o en otra especie... Lo que tendremos que pensar es que este ADN recombinante que ya tenemos aquí en este plásmido posteriormente debe ser introducido en las bacterias correspondientes, ¿está claro? Por ello la pregunta que se les hace ¿qué pasa con la porción donada del ADN cuando se encuentra dentro de las bacterias? ¿qué pasa con este ADN? (señala el modelo)

Realiza preguntas

Presenta un modelo de un vector de clonación

Realiza preguntas relacionadas con el modelo

E: la lectura dice que la bacteria alterada empieza a producir material genético, (el mismo se corrige) no material codificado

P: material codificado que son las proteínas

E2: también se reproducen con ese material

P: ... si las bacterias hijas que desciendan de estas bacterias modificadas genéticamente ya van a contener el gen de la melanina por eso es que es muy exitosa esta técnica y se usa mucho en bacterias debido a que son organismos que se reproducen en periodos de tiempo muy cortos, en cuestión de días podemos tener millones de generaciones de bacterias. Imagínense millones de bacterias todas produciendo un producto como en este caso la melanina o la insulina ... ¿qué parte del proceso representan las tijeras? (continua con el cuestionario)

Explica sobre las ventajas de la técnica usada

Realiza preguntas

Es: las enzimas de restricción

P: ¿y la cinta adhesiva?

Introduce una nueva analogía, las ligasas con la cinta adhesiva

Es: las ligasas

P: la enzima ligasa, de hecho el término ligasa acuérdense que es para unir que es una enzima que se encarga de unir los segmentos de ADN. ¿Cuáles serán las ventajas de insertar un gen humano

Hace referencia a clases anteriores

dentro de una bacteria?, fíjense que esto que les estoy preguntando va ligado al tema de las aplicaciones de los transgénicos que vamos a ver ahorita ...

Realiza preguntas relacionadas con las ventajas de la técnica que ya explicó

E: fabricación de medicamentos como la insulina

P: si la insulina es el producto de un gen pero finalmente es un fármaco que se utiliza para el tratamiento de una enfermedad, ¿alguna otra respuesta?

Presiona para que den más opciones

E: la producción de melanina

P. bueno si no hay más respuestas vamos a la última, esta pregunta está interesante... se refiere a lo que yo les comentaba de que las enzimas de restricción se producen de manera natural en cierto tipo de bacterias, de hecho se han aislado de bacterias ¿qué utilidad pueden tener esas enzimas en las bacterias, pero de forma natural? Estamos hablando de la utilidad de las enzimas para las bacterias, no para la ingeniería genética; piénsenle un poquito, s lo que hacen las enzimas de restricción es degradar ADN, romper ADN, ¿qué ventajas tendría esto para las bacterias?

Realiza preguntas relacionadas con la utilidad y con las ventajas del proceso natural

E: reconocen ciertos nucleótidos para después ser cortados

P: ¿ustedes creen que les convenga a las bacterias cortar su ADN? (al ver que nadie responde continua diciendo) las bacterias no usan a las enzimas de restricción para cortar su ADN, porque si rompieran su ADN esto significaría de alguna manera alterar su información genética. Muchas de esas enzimas de restricción, las bacterias las utilizan como mecanismo de defensa cuando las ataca otro ser vivo, lo que hacen las bacterias es utilizar esas enzimas de restricción para cortar el ADN de otros organismos para defenderse. Esto era un poquito para que pensáramos, si las bacterias lo producen, ¿para qué lo producen? ... bueno ahora vamos a ver las aplicaciones e implicaciones del uso de estos organismos (mientras dice esto va apareciendo en la pantalla una transparencia que dice

Pregunta y responde ella misma

Introduce el tema siguiente

Aplicaciones e implicaciones de  
la **INGENIERÍA GENÉTICA:**  
**Organismos Transgénicos**  
(Organismos Genéticamente Modificados)

Precisa el nombre del tema  
que va a tratar

P: la clase anterior si se acuerdan platicamos de las técnicas básicas que se usan en la tecnología de ADN recombinante, específicamente nos centramos en la técnica del uso de ciertas enzimas de restricción y algunos vectores de origen biológico como los plásmidos. Se acuerdan que habían otros vectores mecánicos, otra manera de insertar ADN era a través de inyecciones... por aquí traigo algunas imágenes con respecto a eso... Dependiendo del organismo transgénico que se trate, el método para hacerlos transgénicos varia un poquito... vamos a platicar de manera general qué tipo de organismos se han utilizado en ingeniería genética para hacerlos transgénicos y los principales métodos utilizados para cada uno; y un poquito sobre las implicaciones de esto, aunque esto lo vamos hacer con el artículo “Cerdos y maíz transgénico” para la siguiente sesión. (Cambia a la imagen 3 y dice).

Recuerda puntos de la  
clase anterior

### Organismos Transgénicos

- Algunos de los organismos que han sido sometidos a procesos de **transgénesis** son:
- **Bacterias**
- **Plantas**
- **Animales**



Planta de tabaco con gen de bioluminiscencia

Ratón desnudo transgénico con gen de luminiscencia

Muestra imágenes

Imagen 3



Estas imágenes ya los conocen sólo es para recordar un poquito que son ejemplos de organismos transgénicos... lo que es importante acordarnos es que el uso de transgénicos generalmente tiene un propósito, en este caso es algo curioso, plantas o ratones que producen luminiscencia, por eso es curioso. Pero los transgénicos se usan con una finalidad y generalmente es dar algún beneficio; estos casos los mostré porque son llamativos, pero ahora vamos a ver casos de aplicaciones importantes (cambia la diapositiva y dice)

Retoma puntos de la clase anterior



**Bacterias transgénicas**

Las principales áreas donde se han empleado bacterias transgénicas son:

- Agricultura
- Industria
- Medicina

P: con respecto a las bacterias transgénicas, vamos hablar de las áreas en donde se han utilizado (lee la transparencia y pregunta) ¿qué utilidad tendría el hecho de insertarle un gen de otra especie a una bacteria? ... algunas bacterias por ejemplo que son importantes para el funcionamiento de los ecosistemas se han transformado genéticamente para potenciar sus propiedades o para modificarlas... en el caso de la medicina está la insulina que ya habíamos mencionado (cambia la diapositiva, lee la primera parte de ésta y menciona)

Realiza preguntas

## Bacterias transgénicas en la agricultura

- Bacterias que **producen congelación** en plantas de interés alimenticio, como la fresa han sido manipuladas para **suprimir este efecto**.
- **Bacterias** asociadas a las raíces de las plantas que **fijan nitrógeno** atmosférico.

P: de esta manera las fresas dejan de producir congelación y ya no se echan a perder, pues algunas frutas y verduras no resisten la congelación y pueden estropear todo el cultivo. Otro caso más interesante (señala la segunda parte de la transparencia y la lee, después apunta), no se si recuerden que en su curso de Biología 2 vieron que hay ciertas bacterias que tienen un papel muy importante en el ciclo del nitrógeno ... estas bacterias de manera natural tienen la capacidad de tomar el nitrógeno de la atmósfera y convertirlo en sales minerales en este caso nitratos, es la forma a través de la cual las plantas toman el nitrógeno; esto es muy importante porque si no existieran las bacterias que convierten el nitrógeno atmosférico en nitratos, entonces las plantas tendrían problemas para realizar los procesos como en la fotosíntesis y la síntesis de compuestos necesarios. Entonces lo que se ha hecho es que a estas bacterias se les ha modificado genéticamente para que rindan una mejor fijación del nitrógeno, que se acelere o mejore este proceso.... Esto es muy importante porque hay muchas plantas que dependen de este proceso como por ejemplo todas las leguminosas como las habas, el frijol, los chícharos, todas esas plantas necesitan de estas bacterias para fijar el nitrógeno. Estas bacterias se encuentran asociadas a las raíces de las plantas y forman unos nodulitos, se ven como bolitas y ahí es donde se encuentran las bacterias... esos son algunos ejemplos de cómo las bacterias transgénicas tienen una aplicación directa (Refugio cambia la transparencia y en esta ocasión sin leerla empieza a explicarla)

Explica sobre el segundo punto de la transparencia

Da ejemplos relacionados con lo que acaba de explicar

## Bacterias transgénicas en la industria

- Bacterias transgénicas que **degradan productos contaminantes**, por ejemplo el **petróleo**. Lo hacen a **mayor velocidad** que las poblaciones naturales de dichas bacterias.
- En la **industria alimenticia**, se usan bacterias que producen el **aminoácido fenilalanina** usado para la fabricación de *NutraSweet*.

P: En la industria... este es un caso muy interesante muchachos, hay bacterias que de forma natural pueden degradar el petróleo, ya ven que es muy común el caso de los derrames de petróleo en muchas zonas y representan un problema de contaminación severa. No se si ustedes sabían eso que existen bacterias que de forma natural degradan el petróleo para transformarlo en productos no contaminantes. Entonces lo que se ha hecho es modificarlas genéticamente para que hagan esto mismo que ya hacían de manera natural, igual que las que fijan el nitrógeno, pero se modifican genéticamente para mejorar el proceso, en este caso la degradación del petróleo, esa es una aplicación muy importante en la industria... también en la industria farmacéutica y en la de alimentos, aquí hay un ejemplo específico en donde se utilizan bacterias transgénicas para producir un aminoácido que se llama fenilalanina que es un aminoácido necesario para los humanos, pero además si se acuerdan hay productos edulcorantes, que son sustitutos del azúcar, que si se acuerdan siempre le ponen una leyenda que dice “cuidado fenilcetonuricos contiene fenilalanina”. Muchos de esos edulcorantes como el Nutrasweet o Canderel se elaboran utilizando fenilalanina, pero aquí lo interesante es que esa fenilalanina se obtiene usando bacterias transgénicas como vemos el campo de acción que tienen las bacterias transgénicas es muy amplio...(ahora cambia la transparencia empieza a leerla de abajo hacia arriba y comenta)

Realiza observaciones con enfoque CTS

Da ejemplos con enfoque CTS

## Bacterias transgénicas en la medicina

- Se usan bacterias transgénicas para producir:
  - **Hormona de crecimiento** para tratar el enanismo
  - **Interferón**. Para el tratamiento de ciertos tipos de cáncer.
  - **Insulina humana**. Para el tratamiento de la diabetes.

P: ...estos casos ya los habíamos comentado como el de la insulina, el interferón es una sustancia que produce el sistema inmune, específicamente las células del sistema inmune que se llaman linfocitos, esas células de manera natural producen interferón y los médicos han encontrado un uso terapéutico para el interferón en la detección del cáncer esto para nosotros, muchachos es muy interesante pues todo esto es a través del uso de bacterias transgénicas... hormona de crecimiento para tratar el enanismo...(pregunta si hay dudas hasta ese punto, al no responder los alumnos, anuncia que va a continuar con plantas y animales transgénicos, cambia la transparencia y continua diciendo)

Da ejemplos que relacionan el tema con el contexto

## ¿Cómo pueden crearse animales transgénicos?

- Se basa en la utilización de las técnicas básicas de la **tecnología del ADN recombinante**.
- La introducción de genes en animales puede hacerse de dos modos :
  - **Inyección de ADN** con una **micropipeta** en huevos de animales antes de ser fertilizados.
  - A través de **vectores**

Inicia la lámina con una pregunta

P: ...aquí vamos a platicar un poco de cómo se pueden crear animales transgénicos,... esto es un poquito de repaso de las técnicas que ya habíamos visto, por lo que voy a ir rápido, es decir (señala la pantalla) la

Ubica el tema  
Retoma lo visto la clase

manera de hacer animales transgénicos es por dos métodos, uno es utilizando un vector y otro es inyectando directamente ADN a través de una micropipeta, ahorita lo vamos a ver, traigo por hay una foto donde se ve como en un huevo fertilizado, bueno para hacer un animal transgénico, no podemos hacerlo cuando ya es adulto, imagínense, sería difícilísimo, cómo le hacemos en un adulto para que el gene que nos interesa le llegue a los millones de células que tiene, ¿cómo es más fácil hacer a un animal transgénico? Pues en la etapa de embrión... por eso dice (señala la transparencia) antes de ser fertilizados o durante la fertilización. (Cambia la transparencia)

anterior

Explica sobre las limitaciones de hacer animales transgénicos  
Pregunta y responde ella misma

**Vectores**

- Los vectores son vehículos utilizados para insertar genes en los animales:
  - Genes “saltarines” o transposones presentes en las bacterias, las levaduras, los invertebrados y las plantas.
  - Virus de ARN (**retrovirus**) que atacan de manera natural a **aves** y algunos **mamíferos**.

P: (lee la primera parte y comenta) En los animales transgénicos no se usan plásmidos como el que nosotros construimos, esto se usa generalmente para hacer bacterias o plantas transgénicas, en los animales es muy difícil usar plásmidos, entonces ¿Qué se utilizan en lugar de plásmidos? Se utilizan genes “saltarines” o transposones, así se llaman, que se encuentran en las bacterias, las levaduras, los invertebrados y las plantas, o bien se utilizan “retrovirus” que son virus que en lugar de tener ADN tienen ARN, ... ahorita ningún investigador lo ha hecho por el grado de peligrosidad del VIH, pero virus parecidos al VIH, retrovirus, podrían ser utilizados como vehículos para introducir genes, porque los retrovirus tienen una característica, infectan células animales, en este caso el ARN tiene que ser copiado primero a ADN para que se puedan producir más partículas virales, entonces los retrovirus han sido también utilizados para la producción de animales transgénicos, pero déjenme que les diga un detalle las técnicas que se utilizan para hacer animales transgénicos no son tan sencillas, tienen su grado de complejidad, es mucho más sencillo hacer plantas transgénicas, tal vez debido a las propias características del desarrollo de los animales. Si nosotros comparamos el desarrollo de una planta y un animal, es mucho más complejo el del animal, hay una multitud de factores como hormonas, aunque también en el desarrollo de las plantas intervienen hormonas es como mucho más simple el proceso; en

Presenta otra analogía, la de “los genes saltarines” con los transposones

Explica sobre el papel de los retrovirus como vehículos para introducir genes

Marca dificultades en la creación de animales transgénicos

cambio en los animales es más complejo por eso no ha sido tan fácil la creación de animales transgénicos... (cambia la transparencia y muestra la imagen 4)



Imagen 4

Muestra imagen

P: Aquí está el ejemplo de introducción de ADN con una micropipeta (señala la figura) esto que está aquí es una micropipeta, no se si alcanzan a distinguir, pero está deteniendo a la célula huevo y esto delgadito ya es la micropipeta que contiene el ADN que se va a introducir al huevo, fíjense que son técnicas muy precisas. Estas técnicas son hasta cierto punto exitosas para hacer animales transgénicos, incluso más que el uso de vectores o retrovirus... ¿qué pasa si yo le inserto aquí el ADN que me interesa que contenga? Pues cuando esta célula huevo se vaya a dividir y a formar más células ya ven que esto se va a convertir posteriormente en embrión, ¿sí o no? Y ese embrión en un feto, y ese feto en un animal de x especie. Entonces aquí lo interesante es que cuando esta célula ya se divida, ya va a contener el gene de interés entonces, ¿si están de acuerdo? Por eso es que la transgénesis se tiene que hacer en esta etapa y no tanto en un animal adulto formado por millones de células, porque sería difícilísimo, cómo le haríamos para transformar tantas células, entonces como que la manera más directa es cuando es un huevito, ahí se le inserta el ADN y cuando sea adulto ya lo va a tener ¿alguna duda muchachos? (al ver que los estudiantes

Muestra imágenes de técnicas precisas para la creación de animales transgénicos

Pregunta y responde ella misma

no responden cambia la transparencia)

## Las aplicaciones (usos) de los animales transgénicos

- Se han utilizado para estudiar el **funcionamiento básico** de **ciertos genes**, por ejemplo, los relacionados con el **cáncer**, o los involucrados en el **desarrollo embrionario**.

P: usos de los animales transgénicos, les decía que sí tienen utilidad, una muy importante es en el estudio del funcionamiento de ciertos genes, generalmente los relacionados con enfermedades... se hacen animales transgénicos a los que se les insertan ciertos genes, los que están relacionados con la enfermedad, esto con la finalidad de entender un poquito como se generan las enfermedades, hagan de cuenta que estos animalitos sirven como conejillos de indias para entender el proceso a través del cual se produce cierta enfermedad, en este caso el cáncer, si en realidad son conejillos de indias... por ejemplo se ha demostrado que el cáncer tiene un factor determinante que es genético, es decir muchos tipos de cáncer tienen una predisposición genética, la alteración de la actividad de algunos genes es la que provoca muchos tipos de cáncer, entonces el tratar de comprender como se generan esas enfermedades está en el estudio de esos genes, ha sido una de las aplicaciones, otra es el estudio del desarrollo embrionario, son como los principales usos (cambia la transparencia).

Presenta ejemplos que relacionan el tema con el contexto

## Uso de los animales transgénicos

En la **industria alimentaria**:

- La inserción del gen de la **hormona de crecimiento** **acelera el crecimiento** de los animales domésticos, que al crecer más rápido consumirán menos alimento, lo que reduciría los costos de la crianza.
- Otra posible aplicación es la inserción de **genes de aminoácidos esenciales** en animales de interés alimenticio.

En esta otra lámina vemos el uso de los animales transgénicos en la industria alimentaría, por ejemplo, imagínense el insertarle un gene como el de la hormona de crecimiento del humano a una res ¿qué ventajas podría tener esto? Ahí lo dice, crecen más rápido y si crecen más rápido los tenemos que alimentar menos tiempo; entonces para la gente que se dedica a la crianza de ellos les resulta benéfico hasta cierto punto, esta es una de las aplicaciones,... otra posible aplicación es la inserción de genes de aminoácidos (a.a.) esenciales, hay ciertos aminoácidos que se llaman esenciales y forman parte de las proteínas, nuestro organismo no los puede sintetizar, hay que consumirlos a través de la dieta, este es el problema de desnutrición en muchos países, precisamente porque a veces la gente come alimentos que no llevan a.a. esenciales. Una posible aplicación es hacer animales transgénicos que produzcan a.a. esenciales y si ese animal es parte de nuestra dieta, por ejemplo pollos transgénicos que produzcan a.a. esenciales, ya sería una ventaja para nosotros, ¿está claro? ¿alguna duda hasta aquí?, ... entonces vamos a ver una ilustración del método (cambia la transparencia y aparece la imagen 5)

Este párrafo ejemplifica una enseñanza en contexto, tipo CTS





Método empleado para obtener **terneras transgénicas** productoras de **hormona de crecimiento**

Muestra imagen

Imagen 5

P: ... fíjense el método no es nada sencillo, es complejo, mucho más que en las plantas transgénicas, por las propias características del desarrollo, fíjense aquí en este esquema está representado como podemos hacer una vaca transgénica que en su leche produzca hormona de crecimiento (señala el esquema) para esto hay que insertar el gen de la hormona de crecimiento del humano desde las etapas tempranas del desarrollo, pero la cosa no es tan fácil porque hay que hacer uso de otras técnicas que ahorita no hemos comentado y son las que se utilizan para la clonación de animales, como en el caso de Doly, ¿no se si se acuerden de Doly?... la técnica es parecida nada más que aquí el núcleo que se va a insertar en el óvulo, al óvulo que se le quito el núcleo, aquí en esta etapa es donde se le inserta el gen de crecimiento, luego este óvulo se va a depositar en una vaca que va servir como incubadora. En este óvulo ya con este núcleo (señala la imagen) que tiene el número de cromosomas completo se va ya a producir un organismo transgénico, o sea una vaca clonada, que su información genética proviene de este núcleo, en este sentido esta vaquita es un clon de la información genética de este núcleo que a su vez se sacó de otra vaca, si se fijan no es un proceso sencillo

Explica a través del esquema cómo se puede hacer una vaca transgénica

E: ¿entonces ya estamos comiendo alimentos transgénicos?

P: seguramente, pues esto no esta todavía legislado....(de repente cambia la transparencia y la lee)

## Los problemas económicos y éticos de los animales transgénicos

- Existe la posibilidad de que éstos **no se desarrollen de manera normal** desde el punto de vista fisiológico.



Esterilidad en ratones transgénicos con gen de la hormona del crecimiento (izquierda)

Imagen 6

Muestra imagen

Hay casos documentados en donde en algunos animales se genera esterilidad, por ejemplo algunos experimentos en el que se hicieron ratoncitos transgénicos (señala la imagen 6) este es un ratoncito normal y el otro es uno transgénico, al que se le inserto la hormona de crecimiento, si se fijan este (el transgénico) es el doble de lo normal, pero es estéril y el otro no. Estos son algunos de los problemas que se han encontrado los científicos al usar estas técnicas. Los aspectos éticos los vamos a retomar la siguiente clase cuando veamos “los cochinos y el maíz transgénico”, por lo tanto esta lámina la vamos a reservar para entonces (cambia la transparencia e inmediatamente la vuelve a cambiar)

Presenta ejemplos relacionados con el tema

Anticipa lo que vera la próxima clase

## Problemas económicos y éticos de los animales transgénicos

- Que tan válido, desde el **punto de vista ético**, es introducir genes extraños, en los animales de interés alimenticio.
- Hay que considerar el hecho de que los animales transgénicos **no sean mantenidos en estrictas condiciones controladas y regresen a sus ambientes naturales.**

¿Existe la posibilidad de que se produzcan **humanos transgénicos**?

- Los **experimentos** encaminados en este sentido están prohibidos.
- En la actualidad los esfuerzos están dirigidos a **reemplazar genes defectuosos** que pongan en peligro la vida de los individuos.

Plantas transgénicas

Inicia la lámina con una pregunta

## Técnicas para crear plantas transgénicas

- Las técnicas más importantes hasta ahora utilizadas se basan en:
- 1) la utilización de un **agente patógeno natural** como una **bacteria** o un **virus** y,
- 2) en la **transferencia directa** de **ADN** a las células vegetales.

P: ...para finalizar vamos a hablar de las técnicas para producir plantas transgénicas y de manera semejante a como se hacía en los animales se puede hacer la transferencia directa del ADN, a través de las técnicas de micropipeta, ¿se acuerdan? A través de la microinyección. En el caso de las plantas la manera más fácil es inyectarles el ADN a través de una pistola de genes que ahorita vamos a ver por ahí; y la otra es la utilización de un agente patógeno, es decir, bacterias y virus que de manera natural infectan a plantas; hay plantas que de manera natural padecen enfermedades debido a que las afectan bacterias o virus, lo que han hecho los ingenieros genéticos es aprovechar a estas bacterias y virus las usan como vectores para introducirles genes. Ahora vamos rápidamente a comentar el caso de los agentes patógenos (cambia la transparencia)

Relaciona lo que ya explico con lo que ahora quiere explicar  
Retoma la analogía de la “pistola de genes”

## Utilización de un agente patógeno natural

- Los más frecuentemente usados son bacterias del género *Agrobacterium*.
- *A. tumefaciens* es responsable de la enfermedad de la agalla (algo parecido al cáncer) principalmente en dicotiledóneas.
- El resultado de esta técnica es la inserción y expresión de los genes externos en forma estable.

P: el caso del genero *Agriobacterium*, que es una bacteria que produce tumores en las plantas, a estas bacterias se les introducen plásmidos recombinantes, así como lo hicimos ahorita; luego la bacteria se usa para enfermar a la planta, entonces la bacteria al infectar introduce a la planta ese ADN, esa es una técnica a la que se le ha sacado provecho, pero tiene un problemita y es que su uso es muy limitado porque no ataca a todas las plantas generalmente sólo a las dicotiledóneas pero no a las monocotiledóneas. Entonces el resultado de esta técnica es la inserción y la expresión de los genes externos en forma estable, digamos que la técnica si es exitosa (cambia la transparencia y dice)

Explica la información contenida en la lámina

## Utilización de un agente patógeno natural

- Esta técnica utiliza como **vector** un **plásmido bacteriano**, que transporta además del gen que se desea insertar, un **gen "marcador"**, que permite seleccionar las células vegetales que integraron el gen de interés.
- Los **genes marcadores** que se utilizan son **genes de resistencia a los antibióticos** o a los herbicidas.

P: un detallito es que la técnica utiliza un gene marcador, eso no lo habíamos platicado, aparte del gene de interés se utiliza otro gene que generalmente es de resistencia a antibióticos como para marcar a las plantas que tienen genes foráneos, hagan de cuenta que es como poner una etiqueta a las plantas, entonces el problema con las plantas transgénicas es ponerles esos genes o heroicidad. Esto es lo que ha generado problemas o controversias en el uso de estas plantas; porque fíjense, si de por si los humanos ya somos afectados por ciertas bacterias que nos afectan como por ejemplo la gripa o el estómago, ahora si tomamos plantas transgénicas que contengan el gene de resistencia a los antibióticos se ha especulado mucho y se ha discutido que esto pudiera traer riesgos profundos para los humanos, pero eso esta en el marco de la discusión (cambia la transparencia)

Introduce otra analogía la del gen marcador con "poner una etiqueta"

Plantea probables riesgos del uso de transgénicos

## Método para la obtención de plantas transgénicas

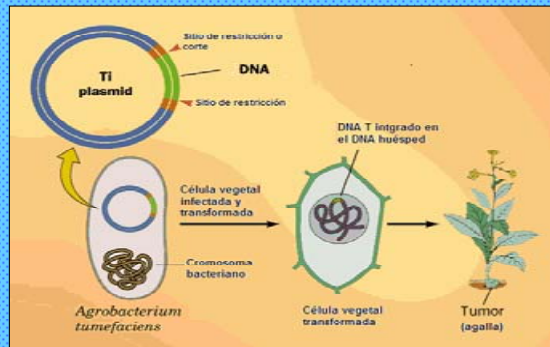


Imagen 7

Este es el método que se utiliza para obtener plantas transgénicas, este es el plásmido y la bacteria que se utiliza *Agrobacterium* (señala en la imagen); este es el plásmido que se introduce en la bacteria y cuando la bacteria infecta esta célula vegetal introduce este ADN (señala) el de color verde, aquí vemos que el gene verde ya se encuentra en la célula vegetal, de manera que aquí la plantita ya es transgénica ¿si lo ven? (sin esperar respuesta cambia la transparencia)

Muestra imagen

Explica con ayuda del diagrama el método que se utiliza para obtener plantas transgénicas

- La principal limitación del uso de *Agrobacterium* es su incapacidad para infectar a la mayoría de las monocotiledoneas, como el arroz, el trigo y el maíz, por lo que ha sido necesario recurrir a otros métodos de transformación.

Maíz transgénico



Precisa las limitaciones de la técnica

P: decíamos que el problema de usar *Agrobacterim*, es que no infecta a todas las plantas, por ejemplo no me sirve para el arroz ni para el maíz que son monocotiledoneas sólo me sirve para ciertas plantas las que tengan dos cotiledones, para las otras se tienen que buscar otros métodos (cambia la transparencia)

## Transferencia directa de ADN a las células vegetales: Vectores mecánicos

- La **pistola de genes**
  - Método frecuentemente utilizado principalmente en **plantas monocotiledoneas** como el maíz, arroz, cebada, etc.
  - La **producción de células transformadas** de forma estable utilizando este método **ha sido muy exitosa** para plantas de interés económico como el maíz.

P: Y el último método que vamos a ver es usar vectores mecánicos que son las pistolas de genes, ahorita les voy a enseñar la imagen, también es muy exitosa (sin decir más, cambia la transparencia)



## La "pistola de genes"



Imagen 8

Muestra imagen

Esa es la pistola de genes, si el investigador lo cree conveniente se pueden insertar en alguna parte directamente en la hojas por ejemplo (cambia la transparencia)

## Las aplicaciones de las plantas transgénicas

- Plantas transgénicas **resistentes** a:
  - el ataque de **plagas de insectos**.
  - ciertos **herbicidas**
- Introducción de genes que proporcionan **tolerancia a ambientes poco favorables**.
- Introducción de genes para la **producción de nutrientes**, originalmente ausentes en tales plantas.

Me parece que esta es la última parte (lee la transparencia y dice) por ejemplo el caso del arroz que es la alimentación principal de los chinos, tiene un problema, pues existen regiones en China que tienen deficiencias alimenticias por sólo comer arroz, un caso concreto es la deficiencia de vitamina A. A través de la ingeniería genética se inyectan genes para que se produzca este nutriente y de esta manera las personas que están comiendo arroz transgénico ya tienen una dieta más balanceada... son algunas de las aplicaciones que se pueden dar, el problema muchachos, es que el uso de los transgénicos sobre todo en el campo de la alimentación es un campo muy debatido, eso lo vamos a discutir con el artículo de “los cerdos y el maíz transgénico” la próxima clase porque habla precisamente de eso y vamos a ver una última aplicación de la ingeniería genética con lo de la medicina genómica y ya con eso cerraríamos el tema, no se si ¿hay alguna duda? Les voy a pedir que de tarea lean los artículos que les di y que me subrayen las ideas más importantes, los vamos a discutir la próxima clase, nos vemos pasado mañana.

Presenta ejemplos con un enfoque CTS

## ANEXO 2. PaPer 3, Nivel Medio Superior

### Clase 3

### Análisis

Fecha: Noviembre 30, 2006

La clase inicia como siempre, la profesora Refugio Saldaña instala el equipo que usa para dar sus clases, la computadora y el cañón; los alumnos toman su lugar y se disponen a escuchar la clase. Mientras ella instala el equipo va diciendo

P: ... vamos a ver las implicaciones del uso de los transgénicos, estuvimos mencionando algo la clase pasada, sobre todo en el uso de los animales transgénicos ¿se acuerdan del caso de los ratoncitos? A los que se les había insertado el gene de la hormona de crecimiento y les enseñe la foto. Vimos que se asociaba con el fenómeno de la esterilidad, por lo que hay ciertas cuestiones que los científicos todavía están discutiendo y la sociedad en general. Esta última parte que les quería enseñar es sobre las cuestiones éticas muchachos, ¿qué tan correcto o incorrecto es que se manipulen genéticamente a los organismos? Además de las cuestiones éticas tenemos que ver las cuestiones que se relacionan con el impacto de estos organismos cuando lleguen a liberarse y mezclarse con organismos que no son transgénicos, con organismos naturales, y esto es particularmente importante para las plantas y animales; si se fijaron ahí en el artículo de los cochinitos había una parte que decía riesgos del maíz Bt y habla precisamente de estos aspectos que si son necesarios tomar en cuenta, de hecho el autor del artículo así lo menciona. Déjenme localizar la imagen que quiero mostrarles (mientras dice todo lo anterior Refugio sigue instalando el equipo, así encuentra la imagen 1 y la muestra)

Anticipa el tema que tratará en clase y les recuerda algunos puntos de la clase anterior

Realiza preguntas para introducir el tema

Relaciona el tema que va a tratar con el artículo que dejo de tarea

## Introducción de **gen de resistencia** al ataque de insectos

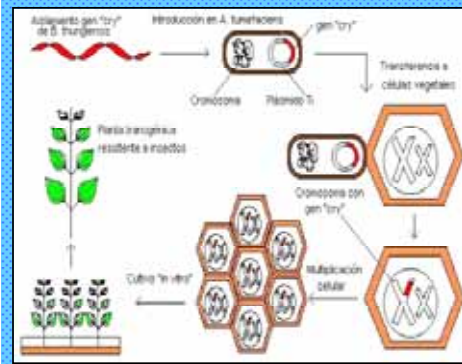


Imagen1

Muestra imagen

P: este es el mecanismo que se usa para la inserción del gene de resistencia al ataque de los insectos, el caso del maíz es uno de ellos. Esta es la bacteria que se comenta en el artículo (señala en la imagen) de donde se extrae el gene de resistencia a los insecticidas y es el que se inserta a través de un vector, ¿se acuerdan que en las plantas se usaban bacterias patógenas que causaban tumores en las células?... una vez que se han insertado en este vehículo se incorpora el plásmido a los cromosomas de las plantas; las plantas nuevas que se reproduzcan de éstas, ya van a ser resistentes de manera natural a los insectos, que es el caso del maíz Bt que se discute en el artículo. Esta foto (señala la de a lado) es de otras plantas transgénicas que si se fijan a nivel externo, fenotípico no se observa ninguna alteración, por ello es necesario que se le agregue otro gene como marcador, ¿se acuerdan que dije que es como una etiqueta? Es una señal, un gene de resistencia... porque aquellas plantas que posean este gene pueden diferenciarse de las otras cuando se les agregan antibióticos a los medios de cultivo, así las que logren sobrevivir serían las que contienen el gene de resistencia... esto les decía que han traído algunas implicaciones (cambia la transparencia y la lee)

Vincula el esquema presentado con la información de la tarea

Retoma su analogía de gen marcador con “etiqueta”

## Problemas económicos y éticos de los animales transgénicos

- Que tan válido, desde el **punto de vista ético**, es introducir genes extraños, en los animales de interés alimenticio.
- Hay que considerar el hecho de que los animales transgénicos **no sean mantenidos en estrictas condiciones controladas y regresen a sus ambientes naturales.**

P: ...particularmente en los animales ya que están más ligados a nosotros, puesto que pertenecemos al mismo reino, como el caso de los mamíferos, de los ratoncitos o los cerdos transgénicos. Como que todo esto muchachos, es la causa de discusiones polémicas de qué tan correcto es manipular genéticamente a los organismos. Esto que está marcado de color blanco (señala en la transparencia) es otra cuestión que ha preocupado a los científicos, ya que si no se mantienen controlados, es decir que cuando esos organismos se reproduzcan se mantengan aislados de los naturales, ya que si se mezclaran esto puede tener consecuencias para las especies, sobre todo en el caso de las plantas, eso lo plantea el autor y ustedes ahorita me lo van a comentar. (cambia la transparencia)

Explica sobre la causa de las discusiones polémicas sobre el tema

Plantea la preocupación sobre el control de organismos transgénicos

## ¿Existe la posibilidad de que se produzcan **humanos transgénicos**?

- Los **experimentos** encaminados en este sentido están prohibidos.
- En la actualidad los esfuerzos están dirigidos a **reemplazar genes defectuosos** que pongan en peligro la vida de los individuos.

Inicia la lámina con una pregunta

P:... lo más lógico sería pensar que pudieran existir humanos transgénicos, si ya se han hecho otros mamíferos transgénicos ¿qué impediría que se hicieran los humanos? Que se nos insertaran genes provenientes de otras especies. Bueno hasta ahorita estos estudios no están permitidos, por ejemplo la clonación de organismos completos es algo que en los humanos está prohibido. Cuando se empezaron hacer ese tipo de experimentos con éxito, muchos gobiernos dijeron que la clonación en humanos no está permitida, la manipulación genética en ningún sentido. La mayoría de los estudios encaminados con la genética moderna podríamos decir que está encaminado a la cura o prevención de enfermedades como lo habrán visto en el segundo artículo que habla de la medicina genómica. Más bien el interés está en conocer cuáles son los genes que poseemos los humanos y no solamente saber cómo están estructurados, cuál es la secuencia de las bases nitrogenadas sino saber cuál es la función, porque en la medida en que sepamos cuál es la función de cada uno de los 30 mil genes que tenemos, se podrán conocer qué predisposiciones tendrán algunas personas para padecer ciertas enfermedades. Entonces como que ahorita toda la ingeniería genética en los humanos está más centrada en la salud. Pero no podemos saber si existen algunos riesgos en estas condiciones hasta que los den a conocer (cambia la transparencia y la ley)

Realiza preguntas sobre los impedimentos para hacer humanos transgénicos y ella misma responde

Realiza precisiones con un enfoque CTS

### ¿Existe algún riesgo en la utilización de plantas transgénicas?

- El principal riesgo se relaciona con la presencia de genes de resistencia en estas plantas, que pueden contribuir a la expansión de la resistencia a antibióticos en las bacterias, a través de una posible **transferencia de ADN de las plantas transgénicas** a ciertas **bacterias patógenas** para los humanos.

Inicia la lámina con una pregunta

P: ... creo que esto si lo vimos la clase pasada, les decía que se introducen otros genes que son de resistencia a antibióticos en estas plantas el riesgo potencial que podría existir es que cuando se consuman plantas transgénicas por los humanos, la posibilidad que este gene de resistencia ya sea que pasen a ciertas bacterias patógenas y este sea un foco de incidencia de resistencia a ciertas enfermedades infecciosas, ustedes saben que ya de por si la resistencia a los antibióticos es un problema

Hace referencia a algunos puntos vistos en la clase pasada

real de salud. De hecho la industria farmacéutica debe estar continuamente buscando nuevos antibióticos, creo que la mayoría de los antibióticos son de origen sintético. En un inicio los antibióticos eran naturales como la penicilina que es producida por un hongo para combatir las enfermedades por bacterias... ¡imagínense si se incrementan las posibilidades de este tipo de enfermedades!, estos son los inconvenientes que algunos científicos han manifestado. Otro de los riesgos que ya discutimos es el hecho de que las plantas transgénicas se mezclen con las naturales, pues esto produciría que se modificara la composición de genes de las poblaciones naturales, y esto si tiene repercusiones sobre todo para especies que son centro de origen, como el caso del maíz en México o del jitomate... esto podría tener consecuencias ecológicas (terminan las transparencias, enciende la luz y pregunta)

Hace comentarios con un enfoque histórico

Retoma puntos ya vistos

¿Quisiera saber cuales son las conclusiones que tienen de todo esto?, ¿cuáles son sus respuestas del cuestionario?...bueno estas preguntas se responden fácilmente con el artículo, vamos a revisarlas... ¿cuál es la idea central del artículo? (entonces pregunta un alumno)

Realiza preguntas sobre el artículo leído

E: antes que comentemos algo ¿saben de algunas enfermedades que de por el consumo de plantas transgénicas?

P: lo que yo se de los riesgos, es sobre el desarrollo de ciertos tipos de alergias...las alergias se pueden dar por diversos factores como granos de polen, ciertas proteínas o también saben que hay alimentos que de por si ya son alergenicos, o algunas personas son muy sensibles al consumos de ciertos alimentos como los pescados, los frutos rojos, las nueces, las semillas, porque muchas de las sustancias que contienen, particularmente proteínas que cuando uno las ingiere, las personas que son sensibles y generan una respuesta inmune que es a lo que le llamamos una reacción alérgica; lo que yo he sabido.... Los genes tienen información para codificar proteínas, entonces muchas proteínas con son el resultado de esos genes transgénicos, pudieran en algún momento, desencadenar reacciones de alergia, bueno eso es lo que yo he sabido, pero no lo tengo documentado, no se de algún alimento transgénico en particular que produzca esto. Lo que maneja el autor es que los organismos han cambiado a lo largo del tiempo su información genética pero de manera natural, la diferencia es que la biotecnología moderna lo está haciendo de manera intencional, es decir los científicos ponen genes de manera intencionada con un fin, como el caso del maíz transgénico que viene en el artículo o quitan genes como el caso de la medicina genómica. Entonces como que la modificación genética siempre ha ocurrido, acuérdense muchachos de los casos de mutación, la misma recombinación genética durante la meiosis ¿se acuerdan? Cuando la división celular se introduce modificaciones, aquí lo interesante sería ver en que medida los transgénicos obtenidos por ingeniería genética tienen consecuencias, pero estas son cosas que se encuentran en debate.

Responde dudas sobre enfermedades originadas por plantas transgénicas

Relaciona sus explicaciones con las lecturas realizadas extraclase  
Relaciona el tema con temas vistos anteriormente

<p>Bueno, ahora si <u>¿quién quiere empezar? (unos alumnos levantan la mano) Le damos la palabra a Sandra y Fernando para que nos digan las ideas principales del texto</u></p>	<p>Atención personalizada</p>
<p>E1: trata de los organismos transgénicos</p>	
<p>E2: de las cerdas que no pueden tener crías debido al maíz Bt causado por hongos</p>	
<p>P: <u>bueno digamos que esa es la suposición de la que partimos, ¿qué más?</u></p>	<p>Acepta la respuesta , pero presiona para que los alumnos precisen</p>
<p>E3: para mí la idea principal es que, si vas a investigar hay que investigar bien, pues dicen que es a causa del maíz transgénico y esto no es cierto</p>	
<p>P: esto que dice Carlos es como la conclusión a la que llega el autor ¿cómo dijiste? “Si vas a investigar investigalo bien”, esto es lo más importante para ti, de esta noticia que salio en la “Jornada” y que asocia el consumo del maíz Bt con ciertos pseudos embarazos en las cerdas...bueno el artículo habla de todo esto ¿algo más de lo que yo había preguntado?</p>	
<p>E4: lo que no entendí es la relación entre el maíz transgénico, los cerdos y los hongos.</p>	
<p>P: bueno es que son cosas separadas</p>	
<p>E4: si los hongos producen unas micotoxinas que infectan al maíz y estas son las responsables de que las cerdas no concibieran, pero que tampoco abortarán</p>	
<p>P: <u>...creo que se entendieron cosas diferentes</u>, lo que decía Carlos es que el artículo de la “Jornada” aparentemente relacionaba el consumo del maíz transgénico con los pseudos embarazos de estas cerdas, la autora de este artículo decía que se debía tener cuidado con el uso de transgénicos, que las especies y los humanos no deberíamos ser conejillo de indias para experimentar cuáles eran los efectos, esas eran las conclusiones de ella. Pero este investigador lo que hace es un seguimiento que lo lleva finalmente a otras conclusiones, <u>entonces aclárenme qué fue lo que paso, ¿existe relación del maíz transgénico con los pseudos embarazos o no existe?...</u></p>	<p>Atiende todas las opiniones de los alumnos</p>
<p>E: si se relaciona, porque ellos creían que el maíz era la causa de que las cerdas no se embarazarán, pero hicieron investigaciones y se dieron cuenta de que las cerdas abortaban por los hongos, pero en sí el maíz transgénico no les provocaba ningún daño, eran las micotoxinas que infectaban al maíz.</p>	
<p>P: <u>¿si están de acuerdo?...</u>Lo que no habían aclarado en el artículo de la “Jornada” es que las cerdas eran alimentadas tanto por maíz natural, no modificado genéticamente, como maíz transgénico, entonces el investigador decía “por ahí hubieran empezado”. El maíz que tenía la micotoxina era el maíz no transgénico ¿por qué? <u>No se si alguien entendió esta parte. ¿Por qué el maíz no transgénico era más susceptible a ser contaminado por las micotoxinas?</u></p>	<p>Busca el consenso del grupo</p>
<p>E: porque el maíz transgénico tiene un gene que es el de la bacteria Bacillus thriugensis, por eso se llama Bt, y el maíz criollo no tiene este gene, según esto, este gene ayuda a eliminar el ataque de insectos</p>	
<p>P: <u>si de un barrenador que hace como túneles en los tallos y esto favorece que (hace una mueca para</u></p>	<p>Apoya al alumno para</p>



invitar al alumno que continúe)

continuar su explicación

E: eso es lo que favorece que al maíz transgénico y como el maíz criollo no lo tiene se ve afectado por este insecto y de ahí se agarra la micotoxina

P: exactamente, porque las micotoxinas son producidas por hongos que atacan al maíz cuando se han perforado, hagan de cuenta muchachos que es como abrirle una herida a una planta, lo mismo que a un humano, si a nosotros nos abren y queda expuesto parte de nuestros tejidos se propicia una infección por varios agentes patógenos, lo mismo ocurre en las plantas. Si nosotros dañamos alguna parte de la planta como en este caso, perforamos el tallo, ésta es una puerta de entrada para que la planta se infecte, una infección común es por hongos... estos hongos producen unas sustancias llamadas micotoxinas y estas micotoxinas son las responsables o las que se han asociado con lo pseudo embarazos. La conclusión es muy interesante, ya lo dijo Carlos muy claro “si vas a investigar algo investigalo muy bien” porque al final el autor habla de algunos aspectos éticos... bueno creo que la idea central del texto quedo clara ¿alguna duda? (al ver que nadie responde continúa). La siguiente pregunta es definir al maíz Bt ¿quién lo quiere definir?

E: es un maíz conocido así porque lleva una bacteria llamada Bacillus thuringiensis y forma parte de la biotecnología...

P: vamos a aclarar una cosa ¿el maíz transgénico contiene una bacteria o un gene de la bacteria?

E2: contiene un gene

P: exactamente, por eso la palabra transgénico significa que contiene un gene extraño y ese gene es de esa bacteria, ¿si Diego?... entonces es un organismo que se ha modificado genéticamente, al que se le ha introducido un gene de resistencia a insectos que lo produce a su vez esa bacteria. La siguiente pregunta es sobre las micotoxinas ¿quién quiere contestar esto?

E: las toxinas son producidas por hongos del género aspergillus, atacan al maíz durante el cultivo, la cosecha o en el almacén...

P: por cierto muchachos, déjenme decirles que hay ciertas toxinas, las que producen este género de Aspergillus, que es un género de hongos que se llaman aflatoxinas... esas toxinas han sido como señales de alerta para los científicos, porque resulta que estas sustancias es muy común que contaminen semillas con la que nos alimentamos los humanos... se ha encontrado que estas aflatoxinas son cancerígenos muy poderosos, es decir pueden inducir el desarrollo del cáncer ...es muy interesante y nosotros como ciudadanos comunes debemos tener esto en cuenta. Si nosotros consumimos algún alimento que provenga de harinas o semillas que estén contaminados con aflatoxinas, entonces hay un riesgo importante de padecer cáncer. Porque estas aflatoxinas les decía que propician que las células se conviertan en cancerígenas... ¿hasta aquí alguna duda? La siguiente pregunta dice ¿cómo se relaciona

Realiza preguntas para aclarar términos

Atiende de forma personal

Relaciona el tema con el contexto

el problema del pasado embarazo en las cerdas con el maíz Bt y las micotoxinas? Creo que esto ya lo comentamos, las siguientes preguntas son como más amplias ¿qué riesgo representa para México la siembra del maíz transgénico? Ahí si me gustaría saber la respuesta de los tres equipos. Empezamos por acá

Realiza preguntas para continuar en la discusión del tema

Es: como México es el país con mayor variedad de plantas, si llegará una plaga en Estados Unidos y acabará... (el alumno habla con voz muy baja y no se logra escuchar toda la idea)

P: eso sería como la importancia de mantener la biodiversidad genética en las poblaciones de maíz mexicano, eso lo menciona por ahí el autor el dice por ejemplo si existiera la necesidad de buscar genes que pudieran resistir a ciertas condiciones ambientales adversas, el lugar en dónde inmediatamente los investigadores voltean a buscar generalmente es México. Esto que menciona Fernando es importante para entender cuáles serían los riesgos de que se extendiera el maíz transgénico aquí. Por cierto no se si se fijaron que el autor menciona que ya se ha plantado maíz transgénico aquí, en ciertos estados de la Republica, son de alguna manera “focos rojos” porque no se sabe que impacto pudiera tener esto. Pero quisiera escuchar que pusieron los otros equipos

Personaliza  
Hace comentarios que relacionan el tema con el contexto

E: nosotros pusimos que afecta a la reserva de diversidad genética, aquí también decía que el gene que se plantó en unos Estados ya se paso a otros y que no sabemos qué es lo que pueda suceder

P: exactamente, ¿ustedes chicos?

E3: problemas alimenticios, dejar atrás la siembra del maíz natural y comenzar a tener riesgos en la alimentación

P: México tiene una particularidad y es la diferencia con Estados Unidos... México cuenta hasta la fecha con una mayor riqueza de especies y las plantas no es la excepción. En el caso del maíz este es el centro de origen es decir aquí se originó todas las variedades que existen. Estados Unidos en realidad su reserva de variedades de maíz se originó aquí en México y el problema de empezar a usar transgénicos aquí en México es precisamente esto que se ha mencionado, se pone en juego la diversidad genética que existe ya. Hagan de cuenta que la diversidad de especies es como un patrimonio de los países, eso debería ser mantenido como un patrimonio y algo que deberíamos cuidar, desgraciadamente son de las cosas que ya están ocurriendo. Por ahí en el artículo también se menciona que ya se han dado iniciativas de ley para regular el uso de transgénicos y muchos de los legisladores si buscan asesoría de los científicos... la siguiente pregunta dice ¿qué planteamiento hace el autor a cerca de los aspectos éticos inmersos en el caso de temas polémicos?, ¿pueden contestar? (pregunta dirigiéndose a un equipo)

Contextualiza

Hace comentarios con un enfoque CTS

Realiza preguntas para continuar con la discusión

E: es una pena que en este país no tengamos suficientes espacios y gente informada, como para evitar que quien escribe algo tan delicado como es el tema de los transgénicos no trate de dar una evidencia sobre lo que escriben y sólo quiera hacer ver sus planteamientos

P: muy bien chicos porque eso es lo que dice el artículo, pero ¿ustedes qué piensan?

Realiza preguntas para

- E2: ...quien escribió en la “Jornada”, escribió sin tener fundamentos para hacer valer lo que decía, por eso él hace una investigación para saber si esto era verdad...
- E3: también dice que debemos de leer más para saber que es lo que pasa en nuestro entorno
- P: si por un lado leer más pero con un sentido crítico. El autor dice: si yo hubiera leído y sólo me hubiera quedado con lo que dice el artículo... me hubiera quedado con una idea falsa. Quizá la culpa no es de ella, probablemente es lo que se había reportado hasta ese momento, el problema es que ya no investigó más, no le dio un seguimiento. Lo que no se vale o no es ético es que uno que escribe sobre un tema tan polémico no tenga la precaución de hacer un seguimiento o investigación; porque yo como divulgador lo que escriba está expuesto a millones de gentes, entonces ¿cuánta gente no se quedo con la idea de que el maíz Bt es el responsable de los pseudos embarazos? Y la otra es que si uno como lector no busca en diferentes fuentes te quedas con lo primero. Fíjense lo que dice el autor la “Jornada” es un periódico serio que le da espacio a las noticias de corte científico y aún así hay que tener precaución... bueno la conclusión que dio él (señala a un estudiante) está bien dila otra vez
- E: si vamos a hacer una investigación hay que hacerla bien
- E2: el mismo autor se sorprende, pues dice que la “Jornada” generalmente da seguimiento a este tipo de casos
- P: como ven este investigador dice que no esta a favor ni en contra de los transgénicos, pero que si es muy importante estar informados. Vamos a la última pregunta de opinión chicos.
- E: me parece interesante el uso de trangénicos en el país, pues puede tener beneficios económicos pero también repercusiones para el medio ambiente.
- P: habría que valorar las ventajas y desventajas, tú estás hablando de que puede haber mejoras económicas, por ejemplo en el caso de los que contienen genes resistentes a insectos, gastas menos en el uso de insecticidas, contaminas menos y es mejor para los consumidores. Pues muchas de las plantas que consumimos han sido tratados con insecticidas, lo que representa riesgos para nuestra salud, entonces tienen ventajas pero habría que ver la otra cara de la moneda como dice Fernando. (voltea a ver a otro equipo y les pregunta) ¿Cuál es la opinión de ustedes?
- E: que esto es una buena llamada de atención para la prensa y esto es una invitación a que nos pongamos al día en lo que comemos.
- P: muy bien, haber ustedes (se dirige a otro equipo)
- E: hablando de manera realista en un futuro México también va a producir y consumir productos transgénicos.
- P: ya los estamos comiendo, sólo que como esto no se ha regulado no nos damos cuenta. Con esto de la globalización se han introducido productos de diferentes países que son transgénicos, sino vayan a cualquier supermercado y se darán cuenta, aunque en los tianguis también se ven.
- indagar el pensamiento de los alumnos
- Recopila las ideas que se discutieron y concluye
- Hace énfasis en las ventajas y desventajas del uso de transgénicos
- Realiza comentarios con enfoque CTS

E: También muchas frutas y verduras que entran al país son transgénicas

P: seguramente muchas de ellas

E: pero no se supone que en las aduanas si se regulan todos estos productos

P: se supone

E: hace poco rechazaron unas lechugas porque estaban contaminadas ¿no?

P: si creo que estaban contaminadas con escherichia coli

E: el maestro de química nos dijo que era una bacteria que tenían todos los excrementos o algo así, pero que como se estaban pasando de la norma las rechazaban. Él dijo que si hay normas.

P: Si muchas de las frutas y verduras que consumimos provienen de Estados Unidos como las lechugas o las manzanas, las zanahorias chiquitas que les llaman babys o los jitomates chiquitos. Lo que si es una realidad es que los productos de México tienen que competir con los extranjeros por lo del tratado de libre comercio.

Realiza comentarios tomando en cuenta el contexto

E: en Japón hay sandias cuadradas

P: (Refugio sonrío y sin dar mucha importancia a este último comentario dice) La conclusión de todo esto sería que, tratemos de estar informados, pues una característica de todos los ciudadanos es que nos mantenemos al margen de todo lo que sucede, por ahí escuchamos sobre el uso de transgénicos o si se están legislando sobre ellos. Lo importante es que nosotros contemos con las bases, número uno sobre como es que se generan los organismos transgénicos, que es lo que estábamos tratando de ver en la primera parte y dos las aplicaciones, su importancia y los riesgos para tomar una postura fundamentada. Como vieron en el artículo, si uno pregunta a la gente sobre los transgénicos, la mayoría tiene una actitud de rechazo hacia ellos.

Concluye la discusión

E: si pero es porque no conocen sus beneficios

P: exactamente, por ello es importante estar informado para tomar una posición fundamentada o razonada, esa es la idea de que ustedes leyeran esto. Bueno finalmente veremos el último texto ¿terminaron de contestar? Me gustaría que en lo que nos queda de tiempo me comentaran sobre que trata este artículo “La biomedicina del siglo XXI para una mejor salud”. Se habla ahí de dos temas importantes del genoma humano de la nueva biomedicina que se está desarrollando, la medicina molecular. ¿Qué fue lo que entendieron?

Realiza preguntas para iniciar la discusión

E: los avances en la medicina

P: cuáles son esos avances que marca, si ya no habla de remediar males

E: ahora se habla de prevenirlos

P: ¿cómo se podrían prevenir?

Realiza preguntas para dirigir la discusión

E: con el genoma humano

P: exactamente, pues muchas de esas enfermedades son de origen hereditario, pero no todas; espero que

eso si lo tengan claro. Muchas enfermedades son causadas por agentes patógenos, o sea agentes infecciosos que deterioran la salud de los humanos, por ejemplo, las que son causadas por bacterias, hongos o virus, como el Sida que es adquirido no se obtiene por herencia, es decir no nos las transmiten nuestros padres, es una enfermedad que se adquiere por ello se llama Síndrome de Inmuno Deficiencia Adquirida. Los bebés que nacen infectados con el VIH son infectados durante su desarrollo dentro de la madre, o bien en el momento del parto o cuando la madre los amamanta, porque el virus pasa de la sangre de la mamá a la sangre del bebé. Entonces si hay que diferenciar que la medicina genómica se enfoca en prevenir las enfermedades de origen genético, es decir que son heredadas o que tenemos predisposición genética porque nuestros padres nos las han heredado. Por ello el conocimiento del genoma humano es un factor importante. Yo les hice algunas preguntas interesantes que podemos ir respondiendo. Haber Alejandra ¿Qué es el genoma?

Da ejemplos relacionados con el entorno

E: Consiste en el ácido desoxirribonucleico de un organismo que incluye a los genes decodificados

Atiende de forma personal

P: bien pero también incluye al total de información genética, es decir es el conjunto de genes que nos dan el total de información genética de un organismo, ¿de cuántos genes consta nuestro genoma humano? Bueno esta información se obtuvo de un proyecto que ya concluyó y que fue llamado genoma humano. El objetivo de este proyecto era determinar la cantidad de genes del total de los cromosomas humanos a través de la secuenciación de las bases nitrogenadas del ADN de los 46 cromosomas humanos, entonces cuál es el número aproximado de genes que tiene.

Realiza preguntas para dirigir la discusión

E: el 99.9% codifica para las mismas proteínas

P: ¿qué quiere decir esto?

Presiona para que los alumnos sean precisos

E: que el 0.1% es lo que nos hace ser humanos

P: exactamente, es decir nosotros somos idénticos en el 99.9%, esto es importante...no se si ustedes saben que hay sociedades con ideologías racistas o que creen que hay supremacía de algunas razas, como los blancos que a través de la historia tendieron a tener estos aires de superioridad, pero con este proyecto de la secuenciación del proyecto humano se demuestra que el racismo no tiene ningún fundamento biológico, eso es lo bonito porque negros, blancos, chinos o como seamos somos idénticos en un 99.9%, lo que nos hace diferentes es 0.1%...Antes de iniciar el proyecto de genoma humano se creía que el número de genes de nuestro genoma era 100 000, pero ahora sabemos es aproximadamente la tercera parte, son como 30 000. Se pensaba que nuestro genoma era mucho más grande y más complejo pero resultó que no... una pregunta que les hice es qué porcentaje del genoma codifica para proteínas

Apoya sus comentarios con datos históricos

E: del 2 al 3%

P: fíjense nada más de toda la cantidad de ADN sólo el 3% va a codificar para proteínas, se acuerdan cuánto media el ADN de un cromosoma completo

Pregunta datos vistos en otras clases

E: 2 cm

P: esto refuerza lo que ya les había dicho que sólo el 3% corresponde a nuestras características fenotípicas, se acuerdan que cuándo vimos el tema de flujo de información se había enfatizado eso, que lo que determina nuestras características fenotípicas es la cantidad de proteínas que tenemos y qué clase de proteínas. Dimos el ejemplo de la queratina que es la que determina el pelo si es chino o lacio; o la melanina que es la que determina el color...Entonces ¿para que queremos tanto ADN, qué hacemos con el ADN restante? Esto esta siendo estudiado por los científicos es decir que función tiene el ADN restante, pero todavía no esta aclarado... Por ahí se menciona la bioinformática que es toda esta tecnología que se usa para el análisis del genoma...si nosotros pensamos en el genoma sin el afán reduccionista, pero si como es esto, nuestra información se traduce a un análisis de letras, ¿cuáles son esas letras?

E: los aminoácidos

P: si se pueden traducir a aminoácidos, pero cuáles son esas cuatro letras

Es: las bases nitrogenadas

P: si son adenina, guanina y citosina, hay ciertas paginas de Internet, muchachos...donde viene el genoma de muchas especies, por ejemplo el de Escherichia coli, si uno ve su genoma lo único que ve es una secuencia de puras letras... si uno ve el genoma de la mosca drosophila, la mosca de la fruta,... también ve uno una secuencia de puras letras, finalmente lo que es el genoma reducido a términos de información es una secuencia de letras, entonces qué es lo que analiza la bioinformática, pues precisamente esa secuencia ya que para un humano sería imposible analizar millones de bases nitrogenadas. Estas herramientas les permiten a los científicos comparar de volada la secuencia de las bases, ver cuales coinciden, por ejemplo si se quiere comparar el genoma de la mosca de la fruta con el del humano, se puede hacer fácilmente. Hay programas computacionales que hacen el análisis, comparan los dos genomas y pueden decir que tanto son diferentes, por ello estas herramientas son importantes para la medicina. Por ahí decía que se pueden detectar mutaciones, polimorfismos que son formas diferentes de las proteínas por medio de este análisis. Como ven la nueva medicina es diferente a la medicina tradicional donde vas a ver al medico para que te mande unos análisis...aunque esto se sigue haciendo. ¿Algún otro comentario? (al ver que nadie contesta dice) Entonces, terminan el cuestionario y me lo entregan,...pues esto ha sido todo por este día y por este semestre...

Vincula el tema con los vistos en otras clases

Pregunta y responde ella misma

Realiza preguntas para mantener la atención de los estudiantes

Habla de la bioinformática como una herramienta de apoyo de la biotecnología

### *ANEXO 3. PaPer 2, Nivel Superior*

#### *Clase 2*

#### *Análisis*

Fecha: 28 de marzo de 2007

En términos generales la clase se efectúa de manera similar a lo que podríamos llamar el estilo de la profesora (P). Ella utiliza en todas sus clases además del pizarrón, proyector de acetatos, sus clases son por lo general expositivas, sin mucha participación de los estudiantes (Es). Aunque guía el desarrollo de las mismas con preguntas, comúnmente no espera respuesta de los alumnos. Así mismo el comportamiento de ellos no varía, se muestran como siempre, poco participativos, pero atentos y respetuosos.

Maricarmen aclara que continuará con el mismo tema, “Coordinación del metabolismo microbiano”, pero que ahora abordará la parte de la “regulación de la expresión genética o génica”. Les recuerda algunos puntos de la clase anterior y les recalca que la expresión génica tiene que ver con la transcripción y que los genes se transcriben de acuerdo con las necesidades de la célula. Les muestra una figura (figura 1) que tiene que ver con el proceso de transcripción y les explica:

Sitúa el tema en el programa

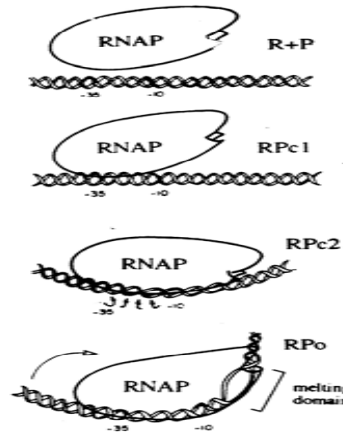


FIG. 1. Events leading to transcription initiation in promoters with canonical  $-35$  and  $-10$  hexamers. The subsequent steps which determine formation of a transcriptionally competent open complex ( $RP_o$ ) are summarized in the figure. Recognition of promoter sequences and early binding of the RNAP seem to start through the interaction of a channel-shaped surface of RNAP with the  $-35$  hexamer to form a first closed complex ( $RP_{c1}$ ). This complex then proceeds into an intermediate complex,  $RP_{c2}$ , which engages DNA sequences further downstream (down to  $+20$ ) and provokes the realignment of the  $-10$  box with respect to the  $-35$  hexamer. Such torsion helps drive the complex into an open form ( $RP_o$ ) concomitantly with a significant increase in DNA bending of the region, which may also engage sequences further upstream (see text for explanation). The figure was inspired by reference 221.

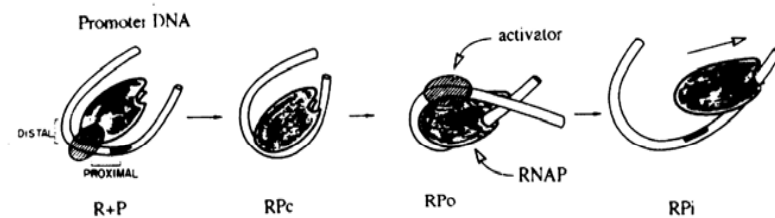
Figura 1

P: ... les voy a enseñar como es que se lleva a cabo ese proceso de transcripción normalmente, sin la necesidad de ninguna proteína activadora. Entonces, vean, éste es un modelo muy sencillo (señala la figura) casi de caricatura de lo que es la enzima RNA polimerasa y su interacción con el promotor para poder llevar a cabo la transcripción. Entonces, vean está ahí el promotor en menos 10 y menos 35 como lo habíamos comentado en otra clase; está la RNA polimerasa que interactúa con el menos 35 en primer lugar y aquí ya sabemos, como lo platicamos la vez anterior, que es por el factor sigma; aquí lo ponen como una sola cosa, pero esta aquí, ésta es la primera interacción. Luego, vemos que la proteína es muy grande, entonces lo que hace es que induce a que el ADN se curve un poquito y se pueda formar el complejo abierto. El complejo abierto es, ahora sí, donde se empieza a sintetizar la copia del mensajero que después se va a traducir, esta parte de la curvatura del ADN es bien interesante.

Ella les dice que estos estudios se hicieron recientemente. Por lo que se han dado cuenta que el ADN no es algo estático, no es nada más la doble cadena, está super-enrollado y que éstos son los eventos como ocurriría en un promotor común y corriente. Pero, que ahora les mostraré un esquema en donde las secuencias del promotor no son las mismas y entonces cambia el esquema.

Muestra modelo





Muestra esquema

FIG. 2. General model for bacterial promoters responsive to DNA bending. Analysis of a variety of cases reveals a general trend which is summarized in this scheme. Statically bent DNA or protein-induced bends within promoter regions are frequently located either relatively close to the RNAP-binding sequence (proximal sites, from  $-40$  to  $-80$ ) or further upstream ( $-80$  to  $-240$ ). In most cases, proximal bends help the formation of closed complex (RP<sub>c</sub>), whereas more distal curvatures are frequently also involved with the isomerization into an open complex (RP<sub>o</sub>). A simple explanation of this could be the existence of several RNAP surfaces which interact actively with DNA through sequences significantly upstream of the promoter core. Proximal sites may help the initial docking of the polymerase into the promoter by facilitating the initial wrapping of the DNA around the back of the enzyme (Fig. 1). DNA sequences farther upstream may also interact with a different protein surface aided by intervening static or protein-induced DNA bends, resulting in a stressed overall conformation which is eventually relieved by driving the complex into an open form and subsequent transcription initiation (RP<sub>i</sub>). Potential distribution of static and/or activator-induced bends throughout the promoter region is symbolically indicated. The figure was inspired by reference 272.

Figura 2

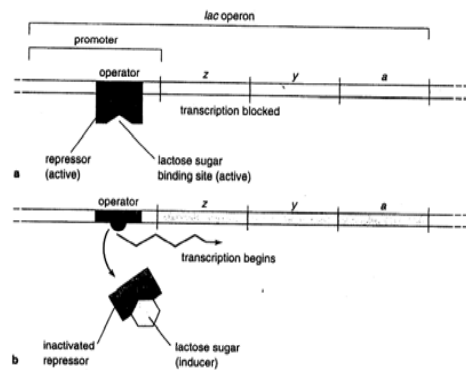
P: si la secuencia en el ADN en esta región del ADN es rica en adeninas y timinas consecutivas, que tengan por ejemplo 7 adeninas o 5 timinas, y que estén consecutivas por el tipo de interacción que hay entre esas bases, lo que va a ocasionar es que el ADN sea por sí curvo. Entonces se calculan los ángulos que hay en esa curvatura y cada adenina-adenina o timina-timina que estén 4 o más consecutivas, causa una curvatura. Entonces, vean en ese mismo tipo de modelo, aquí está la ARN polimerasa (señala en esquema) que interactúa con el promotor y queda unida. Aquí pongan mucha atención, esto (señala un punto en el esquema) que es el sitio activo de la enzima no hace buen contacto con el ADN, queda como separadito. Entonces, para que haga un buen contacto, necesita una proteína que le da como un coscorrón para bajarla, y que haga buen contacto con el promotor para que se quede el dominio abierto, o que se forme el complejo abierto; entonces, ya la ARN polimerasa se sigue de corrido para seguir copiando en dirección 3', para seguir copiando a mensajero. Pero el punto es éste, necesita algo que la ayude a hacer buen contacto, y ese algo es la proteína activadora.

Marca los puntos en que se debe poner atención

Ella aclara que este mecanismo está en estudio, pero lo que está claro es que al tener un activador, la frecuencia de transcripción es más alta y que pasa de cuatro o cinco moléculas de mensajero por minuto, a cientos.

Les comenta que van a ver con calma el operón de triptófano y la diferencia con el de la lactosa, pues uno tiende a confundirse porque se parecen los dos, después coloca otro esquema (figura 2) y les recuerda que ya lo habían visto la clase pasada.

Marca diferencias entre operones



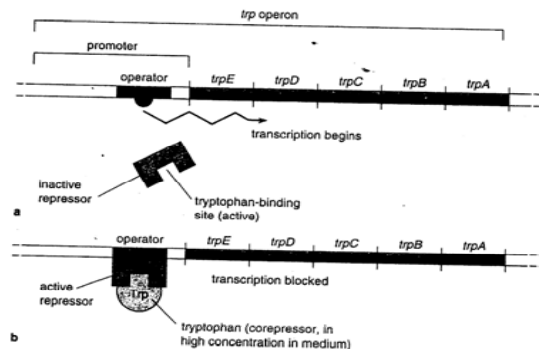
**Figure 3.20** Regulation of the lac operon. (a) When the active repressor binds to the operator in the absence of lactose, RNA polymerase cannot bind to the promoter and transcription is blocked. (b) In the presence of lactose, a derivative of the sugar binds to the repressor and inactivates it so that the repressor can no longer bind to the operator, thus allowing RNA polymerase to bind to the promoter and transcription to proceed.

Figura 2

P: ... tengo aquí el operón, recordemos que es esa región de ADN donde se pega la proteína reguladora, que es el represor. Entonces, en ausencia de lactosa, el represor va a estar unido al operador y va a evitar que haya transcripción. Cuando hay lactosa presente, actúa sobre un sitio alostérico de esta proteína; le cambia la conformación y la separa, le quita afinidad al ADN. Como dato cultural, esas proteínas que interaccionan con el ADN tienen una estructura muy curiosa, una especie como de pinza, entonces tienen dos dominios que abrazan al ADN y ahí se quedan pegados. Entonces, por otro lado que es el sitio alostérico, se cambia la conformación, la pinza se abre y ya no puede abrazar al ADN, eso es lo que ocurre aquí (señala en la figura) la pinza se abre y esto se separa, entonces es cuando ya se permite que haya transcripción. Aquí hablamos de que la lactosa es el inductor porque es la que ocasiona que se separen. Ahora comparen este modelito con el del triptofano (cambia el esquema).

Muestra una figura que ya había trabajado la clase anterior

Retoma lo que ya había explicado de esta figura y añade en su explicación los puntos que ahora le interesan



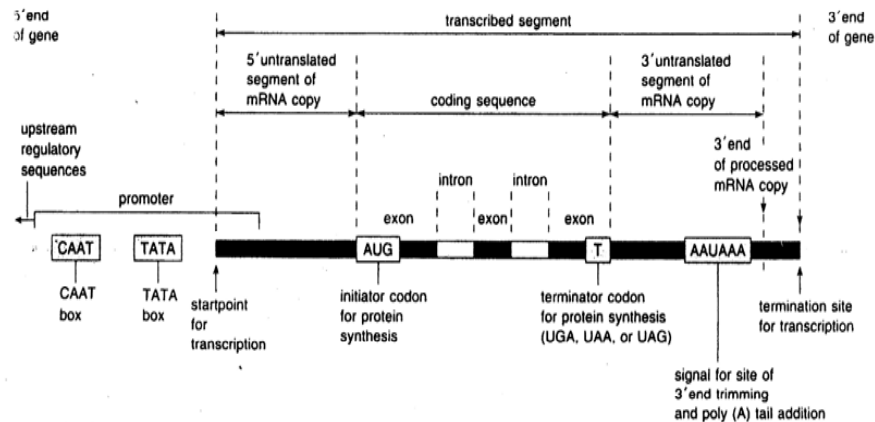
**Figure 3.21** The trp operon showing the five structural genes and the promoter region. (a) In the absence of tryptophan, the repressor is inactive and cannot bind to the operator, thus allowing RNA polymerase to bind to the promoter and transcription to proceed. (b) When tryptophan is present it binds to and activates the repressor, thus allowing the activated repressor to bind to the operator and block transcription.

Figura 3

Presenta esquema

P: Aquí en este caso, la transcripción está llevándose a cabo de forma constante, la proteína represora no tiene esa afinidad por el ADN hasta que interactúa con el triptofano. Entonces el triptofano tiene una función de corepresor. Sólo cuando la proteína represora está unida con el triptofano, es cuando adquiere esa conformación de pinza que puede abrazar al ADN. Se pega aquí (señala en el esquema) y entonces ya no hay transcripción. De todos estos genes que están en consecutivo, que forman parte de un operón polisistémico, de acuerdo a lo que hemos dicho, y que tienen que ver con las enzimas de la ruta anabólica de síntesis de triptofano. La síntesis de triptofano requiere de varias proteínas que están todas en un mismo operón. Éste es otro de los ejemplos donde uno ve, que en el caso de los procariotes, sus sistemas de regulación son muy eficientes, porque no tienen que ir prendiendo gen por gen, sino que prenden todo el grupo metabólico de una ruta completa...

Maricarmen precisa que las células nativas, las que están en la naturaleza, a las que no les hemos hecho ninguna variación, van a sintetizar los productos a los niveles que ellas lo necesiten, y que esos niveles nada tienen que ver con los niveles de producción industrial. Por lo tanto, tenemos que hacerles algo para mejorar esa producción. Cita algunos ejemplos de lo que se puede hacer y muestra otro diagrama (figura 4).



**Figure 3.12** Eukaryotic promoter elements and other sequences important for transcription and translation. Introns also may be present within the gene coding sequence. The transcribed segment is presented as RNA (with uracil in the sequence). The CAAT and TATA boxes are shown as the DNA missense sequence (the sequence complementary to the DNA templates).

Muestra esquema

Figura 4

P explica que se trata de un operón de eucariote, pues se quiere realizar una construcción transgénica en plantas. Se requiere que se exprese en las hojas, una proteína tóxica a los insectos, eso quiere decir que el promotor tiene que ser especial, es un virus. Ese promotor es un virus del mosaico de la coliflor, que no tendría nada que hacer en el maíz o en el arroz, o en las papas, y si se encuentra, la única razón es porque hay una construcción transgénica. Esto nos da una idea de que para detectar transgénicos, lo que se tiene que buscar como primer punto, como prueba preeliminar es el promotor o el terminador (señala el terminador y el promotor en el esquema). Si se encuentra alguno de esos dos, es muy probable que ahí haya una construcción transgénica, ya después se buscan reacciones más específicas para caracterizar al transgénico.

Menciona puntos claves en un transgénico

Después da el ejemplo de la producción de bioetanol a partir de levaduras que utilicen celulosa. Como las levaduras no degradan la celulosa se construye una levadura transgénica que lo haga, es decir se le introduce a la levadura el gen de la celulasa. Ahora las señales que se deben poner son un promotor y un terminador de levaduras. También dice que eso de la detección vale para todo tipo de organismos, no sólo para plantas, también nos interesa detectar microorganismos transgénicos, insectos transgénicos, animales transgénicos, y dice:

Recalca las señales importantes en un transgénico

P: ... entonces debo yo saber con qué herramienta cuento para poderlos detectar; ya hablamos de algunas que siempre van a estar ahí y podemos utilizar, ¿hasta aquí alguna duda, pregunta, comentario? ¿No? Entonces continuamos con esta historia de la regulación.

Da la oportunidad de que los alumnos pregunten

Maricarmen también les menciona que en general la biotecnología ve a los microorganismos como aliados, pero que no se debe olvidar que existen los patógenos. Luego comenta de una noticia que se dio sobre *salmonella*, el artículo se llama “La ciencia moderna revela los secretos de la efectividad de la *salmonella*”, el artículo informa que *salmonella* tiene la capacidad de ahorrar energía cuando no esta infectando a un mamífero, resulta que está en un estado energético disminuido, eso quiere decir, que tiene muchos genes que están apagados, pero cuando infecta a un individuo, a la temperatura del cuerpo, los genes de la patogenicidad se activan. Ella dice que lo que hace que *salmonella* sea tan eficiente, es justo eso, que sepa cuando prender sus genes y que es, específicamente a la temperatura del huésped. Maricarmen insiste en que la biotecnología toma todos sus modelos de la naturaleza, los estudia y después los manipula para beneficio del hombre.

Insiste sobre puntos importantes de la biotecnología  
Sitúa el tema que se verá

Posteriormente P declara el nombre del tema que verán, “Mejoramiento, aislamiento y conservación de microorganismos de interés industrial”, aclara que no se habla sólo de microorganismos que también

pueden ser células de cualquier tipo. Ella inicia esta parte preguntando al grupo: ¿qué es una mutación? A lo que un estudiante responde

Inicia el tema con una pregunta

E: es un cambio que puede ocurrir dentro de la célula ya sea de manera intencionada o espontánea, que repercute en la estructura o funcionalidad de la célula

P: o sea que es un cambio a nivel genético, aquí nos tenemos que acordar que hay dos cosas que son: el genotipo y el fenotipo. El genotipo es a nivel de genes, de ADN y el fenotipo es la expresión de esos genes, entonces, yo puedo tener una célula que en condiciones nativas [Un paréntesis de la profesora para explicar el término “nativo”]. Aquí vamos poner palabras del vocabulario básico (se dirige al pizarrón y escribe las palabras: nativa, mutantes, genotipo, fenotipo, luego continúa diciendo) bueno a las células a las que no se les ha hecho ningún cambio intencional se llaman nativas. Ese es un buen comentario de su compañero, porque todos los seres vivos del planeta estamos sujetos a condiciones ambientales como: luz ultravioleta, sustancias químicas, etc., y sobre todo nosotros, que estamos en la Facultad de Química, estamos rodeados de estímulos que pueden traer como consecuencia un cambio a nivel genético. De hecho eso es lo más normal y es la base de la evolución, pues, si las células fueran las mismas que hace 10 000 millones de años, no estaríamos aquí. Entonces, debido a que hay esos cambios o mutaciones a nivel genético, ha habido evolución, piensen en una misma proteína, por ejemplo, la glucosa cinasa, que la tenemos todos los seres vivos, pero la glucosa cinasa de los vertebrados, es diferente de los invertebrados y diferente de las bacterias, son isoenzimas. El sitio activo se ha mantenido constante, pero todo lo demás ha tenido cambios que tienen que ver con el genotipo; aquí estamos hablando de la secuencia del ADN. Ahora, no todos los cambios en genotipo traen como resultado un fenotipo diferente, ¿por qué, qué creen que pase así?

Marca las palabras importantes para el tema

E: es la parte del ADN que simplemente no codifica para algo, es posible que la luz incida sobre esta parte y simplemente no hay ningún cambio

Realiza preguntas

P: puede ser. Hay muchos organismos que tienen espacios de ADN que no se saben para qué son, que no codifican para nada, una de las hipótesis es que esas regiones sirven como colchón para muchas mutaciones, o sea, no importa que muchos cambios ocurran ahí, porque no se van a ver reflejados en el fenotipo, también puede ser que tenga que ver con el código genético. Recuerden que todos los seres vivos tenemos el mismo código genético, salvo algunas excepciones como mitocondria y cloroplasto, de ahí en fuera, ya sabemos que es un mismo código genético y que es por tripletes, que la combinación de tres bases nos va a dar un aminoácido, ahora ¿por qué se dice que el código genético es degenerado?... bueno el que sea degenerado es que un solo aminoácido es codificado por varios tripletes. Es importante que nos acordemos porque hay algo que está relacionado con esto de las mutantes...

Realiza preguntas y las responde

Ella continúa su explicación haciendo énfasis en los casos en que puede haber alguna variación en los tripletes, pero que no se ve reflejado a nivel del fenotipo.

Después recalca que a las células nativas no se les ha hecho ningún cambio, y las mutantes si tienen cambios que pueden ser provocados por nosotros o se pueden producir de forma espontánea, pues es muy común que haya mutaciones o re-arreglos en el cromosoma, que hagan que de repente pierda la capacidad por la cual nosotros las seleccionamos. Por ello es importante monitorearlas frecuentemente desde el punto de vista genético. También insiste que en las mutaciones debemos tener claro que son cambios dentro del ADN que son permanentes y explica:

P: ...hay sistemas de reparación dentro de su ADN, que todas las células tienen, debe de asegurarse que su ADN se va a mantenerse lo más íntegro que se pueda. Entonces, si se encuentra por ahí la proteína que anda verificando su ADN y encuentra un hueco en el ADN, aunque no se haya perdido ninguna base, eso para la célula no es normal; entonces, pasa una ligasa y las une. Si falta información pasa una polimerasa que copia la información y luego pasa la ligasa que las une. Siempre hay sistemas que están verificando que la información se mantenga lo más íntegra posible. Eso quiere decir que si nosotros vamos a inducir la mutación de alguna forma va a ser una cosa muy dramática...además de que esas mutaciones son permanentes, son heredables. O sea, que si pasan dos horas, y ya tengo otro tiempo de generación, ya tengo células nuevas, que esas células nuevas también tengan la mutación y que a las siguientes dos horas también la tengan y que si me voy por lotes, cada lote siga teniendo el mismo tipo de microorganismos con la misma mutación, que no se revierta, esta es otra de las palabras interesantes (se dirige al pizarrón y anota la palabra “reversión” y dice). Reversión es que si ustedes tienen a la célula mutante que se arregló por un sistema de reparación pues revierte muchas veces al genotipo original y por lo tanto al fenotipo original...Ahora, ¿cómo nos podemos dar cuenta que hay mutantes?, esa es otra de las cosas interesantes, sobre todo a nivel de laboratorio, de trabajo ahí. Si ustedes, por ejemplo, tienen *Aspergillus niger* que ya saben que es de los más utilizados para producir ácidos orgánicos, enzimas y mil cosas más, bueno si tengo *Aspergillus niger* ¿se acuerdan cómo es *aspergillus niger*, de qué color es?

Marca las palabras claves

Realiza preguntas y no espera respuesta

Es: es negro

P: sí, lo más fácil de ver es que cambia de color, entonces, de ser negro a lo mejor se queda en blanco, es un micelio blanco, entonces ahí también debemos estar bien abusados, porque que tal, que de repente veo que está el hongo negro y de repente una zona blanca, eso podría decir dos cosas: una que se contaminó con un hongo blanco y la otra es que a lo mejor unas células de por ahí mutaron. Lo más probable es que cuando tienen una mezcla así es que se les contaminó, entonces, tienen que ver al microscopio y hacer pruebas para ver si es el mismo ¿no?

Maricarmen cita otros ejemplos para distinguir la mutación de una colonia, como la movilidad, color o

forma, también menciona que el cambio se puede dar a nivel ADN, por lo que no será fácil verlo a simple vista, se tendrán que usar otros métodos. De pronto ella dice

Cita ejemplos para ilustrar el punto

P: recuerdan el *penicillium crisolobum*, a ver ¿qué produce este microorganismo y por qué es importante?

Es: penicilina

Ella toma este microorganismo para ejemplificar qué tanto se puede aumentar la producción, en este caso de penicilina, de una célula nativa a una que ha sido alterada genéticamente, menciona que después de varias mutaciones se puede haber incrementado 5000 veces la producción de penicilina.

El siguiente punto que ella considera importante tocar, es lo de la “protección intelectual” de las cepas que se han mejorado genéticamente, ya que esto es un logro de una persona o compañía, por lo que no pueden estar al dominio del público y habla sobre la situación en nuestro país.

Toca puntos que tienen que ver con la visión CTS

P: De esto de las protecciones intelectuales, la situación en México es muy diferente que en otras partes del mundo, aquí sólo se puede patentar una línea celular vegetal o animal o de un microorganismo, cuando ya ha sido mejorada genéticamente, ¿a qué me refiero?, que si ustedes se van allá abajo y hacen unos aislamientos de un microorganismo que es maravilloso para producir ácido glucónico, no lo pueden patentar porque es algo de la naturaleza y es la cepa nativa y eso no se puede patentar. Ahora si ustedes se meten a hacerle alguna mutación por algún método, que ya platicaremos, utilizando métodos tradicionales como es mutación al azar por agentes físicos o químicos, o si se meten a hacer biología molecular para introducirle genes y cosas de estas, entonces, ahí sí se puede patentar, esto es muy importante porque seguramente ustedes han oído por ahí algo que se llama la biopiratería ¿si lo han oído? Hasta los legisladores están tratando de sacar una ley en contra de la biopiratería ¿por qué? Porque si como México es biodiverso en plantas, insectos, animales, también lo es en microorganismos.

Compara los eventos de visión CTS con los del resto del mundo

Nuevamente se refiere a Situaciones que vinculan a la sociedad con la ciencia y tecnología

Después, Maricarmen menciona sobre la necesidad de legislar para saber quién es el dueño de una célula mutante y cita un ejemplo relacionado con los hidridomas, y dice que son proteínas de fusión y que se producen con células animales, células humanas que son de bazo con células tumorales y que el objetivo es obtener células humanas que se comporten como microorganismos, o sea, que se duplicaran y duplicaran y duplicaran sin control, ella platica la historia de cómo fue que se hicieron estas células.

Menciona las implicaciones de la ciencia y tecnología en la sociedad

P: ... resulta que en un hospital de Estados Unidos a un doctor le llamó la atención este asunto y pensó que tenía un potencial industrial. Las células de bazo de un paciente y las células de un tumor del otro, se le ocurre hacer la

fusión y empezar a producir, así empezó a ganar mucho dinero, pero el paciente que tenía el tumor pensó que él debería recibir ganancia de ello porque eran sus células, de ahí empezó toda una historia porque la cuestión no estaba legislada, ni en Estados Unidos, por supuesto que aquí, ni siquiera está pensado. Pero, allá empezaron a ver que se podía hacer, porque en efecto el señor tenía razón, pero el doctor fue el que ganó, porque fue a él a quien se le ocurrió la idea innovadora...

P: esto es para concientizarlos de este tipo de cosas. Ahora si ustedes trabajan en la universidad por ejemplo, son investigadores de aquí y encuentran una célula de un determinado ambiente que resulta que es interesante y le empiezan a hacer modificaciones y la quieren patentar, pero también está la historia de lo que se debe publicar ¿qué se debe hacer primero? Primero hay que patentar porque si publican primero, ustedes mismos se están invalidando la patente que quieren hacer, no importa que sean ustedes mismos, entonces primero se patenta y luego se pública.

Realiza preguntas y no espera respuesta

Maricarmen introduce el punto que trata sobre la forma en que se debe patentar y publicar, así como en el orden en que esto se debe hacer.

Resalta puntos importantes en la administración del conocimiento

Ella hace énfasis en que en toda esta área de la biotecnología el microorganismo tiene que estar disponible para toda la comunidad mundial, y para eso lo que existe son algo que se llama “colecciones microbianas”. Esas colecciones son sitios físicos, o sea, es un edificio de una institución que se dedica a eso, es una colección. Afirma que en México la colección más importante está en el CINVESTAV. Sin embargo les aclara que estas colecciones cobran por aceptar o proporcionar una cepa, por lo que les sugiere que es mejor contactar a los autores y solicitárselas a ellos, así como cualquier otra información que necesiten. Después regresa al asunto de las mutaciones, para ello muestra un acetato (figura 5).

Proporciona tips para buscar información



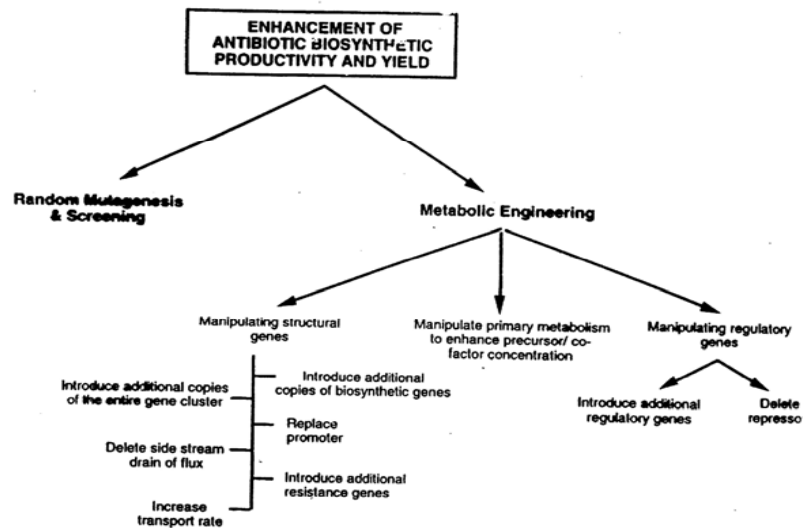


FIGURE 1. Strain improvement. Conventional strain improvement engineers the metabolism in a random manner. The mutated strains have to be screened or selected for the desired endpoint property. Metabolic engineering using molecular genetic tools uses a preexisting knowledge database to produce strains that have directed and precise changes.

Figura 5

Ella habla sobre dos estrategias para hacer mejoramiento de estructura en las células, señala en el acetato para apoyar su explicación y dice que la primera es la más utilizada, que corresponde a la mutagénesis al azar y selección, menciona que la desventaja es que es al azar, por lo que no se sabe a dónde cayó la mutación, si cayó en el gen regulador o en el operador, o en una proteína de membrana o en todas. Dice que generalmente se hacen las dos cosas en paralelo, la mutagénesis al azar y biología molecular, ella explica el diagrama diciendo

P: Hay tres cosas que a uno le interesaría hacer utilizando estas metodologías, dice aquí (señala en el esquema) manipulación de genes estructurales, acuérdense que ese es el gen que codifica tal cual para la producción de la proteína, dice (se refiere al esquema) que se le pueden “introducir copias adicionales”. Ustedes ya tienen *E. coli* productora de beta galactosidasa, pero ahora quieren que produzca más, bueno, de entrada hay que ponerle más copias de ese gen; voy a tener más mensajeros y por lo tanto más proteína. Dice (nuevamente se refiere al esquema) “introducir copias adicionales del cluster entero”; el cluster es lo que yo les decía que es el casete, o

Presenta diagrama

Menciona desventajas de la mutación

sea, genes consecutivos que codifican para la ruta metabólica de una enzima. Pues entonces, de una vez clónales todas y métele varias copias para tener gran cantidad de proteínas, lo que dice aquí es “reemplazar el promotor”, esto es, si el promotor no tiene las características que yo quiero, si es un promotor débil o si quiero que sea regulable y no lo es. Entonces le puedo cambiar el promotor (continúa con la descripción del esquema) dice “regular flujos” o ramas que están desviando el flujo principal, era un poco como lo que platicábamos de los auxótrofos pero ahora sí sabiendo qué gen es el que voy a modificar. No es nada más de córtale la rama y ahora ya no lo tiene pero no se adónde le corte, sino que, si yo se cuál es la enzima, esa es la que voy a mutar, entonces, toda esa rama de la ruta catabólica la vas a eliminar. Después dice, “introducir genes de resistencia”, eso lo vamos a ver después, cuando ya veamos con más calma los métodos de biología molecular y veamos para qué son esos genes de resistencia, pues eso tiene que ver con selección o el aumentar la velocidad de transporte (señala otra parte del esquema y de esta forma continua su explicación y al finalizar ésta dice).

Presenta ideas que parecen consejos para un tenólogo

Presenta ideas amañera de consejos

P: ... díganme si hasta ahorita no tienen una pregunta por ahí, ¿sí queda clara la diferencia entre las dos técnicas? Finalmente, lo que quiero hacer es lo que dice aquí (señala el esquema) “aumentar rendimientos y productividad”, hagamos lo que tengamos que hacer sin tocarnos el corazón, sin pensar “pobre célula la hago sufrir”, aun que esta sea una visión antropocéntrica, lo que al hombre le convenga y hace lo que sea necesario.

Da la oportunidad de que los estudiantes pregunten

Para continuar la clase, Maricarmen habla de los agentes de mutación al azar, dice que tenemos dos tipos de sistemas y escribe en el pizarrón: mutación al azar, agentes físicos y agentes químicos; y continúa diciendo que los más utilizados son bromuro de etidio y nitroso guanidina. El primero es un agente intercalante, y el segundo lo que hace es provocar deleciones, o sea, hace que se eliminen algunas bases, como entre 5 y 10 bases. Ambos se utilizan para hacer deleciones y son la herramienta de todos los días para cuando se hace biología molecular, así como la electroforesis. La electroforesis es una herramienta analítica donde se aplica una carga, hay un polo negativo y uno positivo y de acuerdo a la carga de la molécula se va a mover, en este caso estamos hablando de ácidos nucleicos, por ello la carga será negativa.

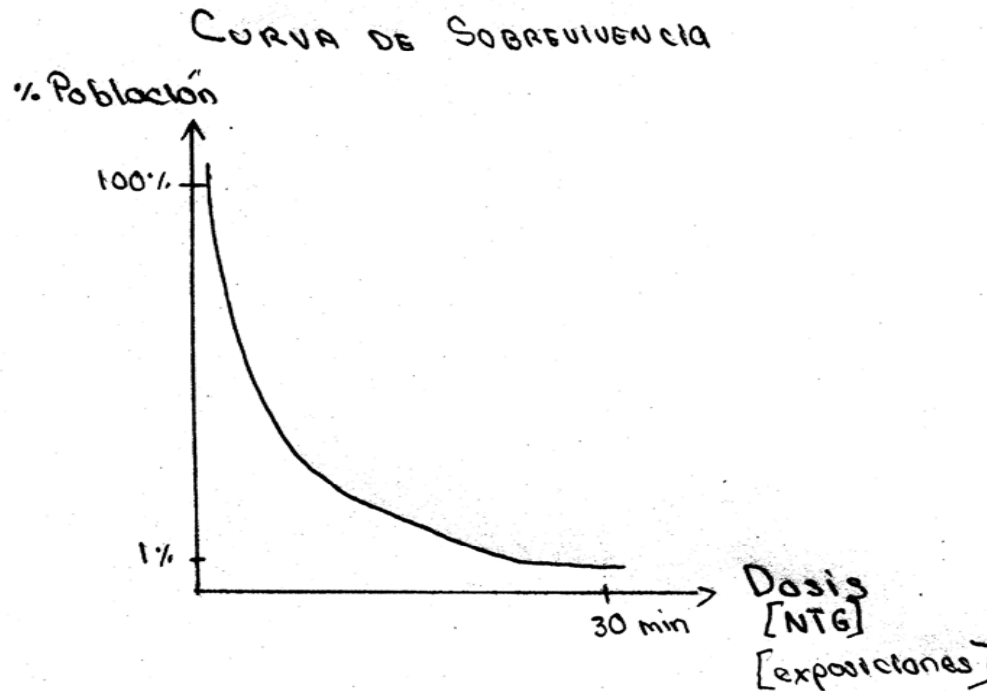
Marca las que son herramientas cotidianas

Maricarmen también habla sobre la metodología que se usa al aplicar estos compuestos, así como de las precauciones que deben tenerse para su uso correcto. Después toca el caso de los agentes físicos a donde vienen la luz ultravioleta y las radiaciones ionizantes; de la misma manera habla sobre su uso correcto. Inmediatamente dice:

Señala precauciones de la técnica

P: Ahora si, lo que nos queda por ver es cómo se hace una mutación, ahora sí la queremos inducir, queremos que como resultado nos de una cepa que produzca más. Entonces, ya sea que se utilicen los agentes físicos o químicos la estrategia es la misma, la vamos a poner aquí (señala el pizarrón, borra lo que contiene y dice) lo primero que

hay que hacer para inducir una mutación es calcular la dosis que se tiene que aplicar, para eso tienen que construir una cosa que se llama “curva de supervivencia” (en el pizarrón dibuja una grafica y coloca en el eje de las ordenadas la palabra población y en el de las abscisas dosis y dice señalando la palabra dosis) en el caso de que fuera un agente químico sería concentración y si fuera un agente físico, como luz ultravioleta, sería tiempo de exposición. Se llama curva de supervivencia porque vamos a matar con esas dosis. Vamos a empezar con un 100% de población (al mismo tiempo que va explicando va construyendo la grafica)



Construye una grafica para ejemplificar

Posteriormente construye un diagrama, el cual va explicando al tiempo que lo construye. Para comprender mejor el diagrama, cita un ejemplo.

Construye un diagrama para explicar

P: .... vamos a suponer que yo empiezo con una población que es de  $1 \times 10^9$  células por mililitro, ¿cuánto sería el 0.1% de esta cantidad?, pues  $1 \times 10^6$  células por mililitro, vean a pesar de que mate al 99.9% de células, me quedo con un millón de células por mililitro, son un montón de células, de las cuales a lo mejor sólo una o dos tienen la mutación, por eso la parte de seleccionar a las mutantes es de lo que va a depender nuestro éxito. Entonces,

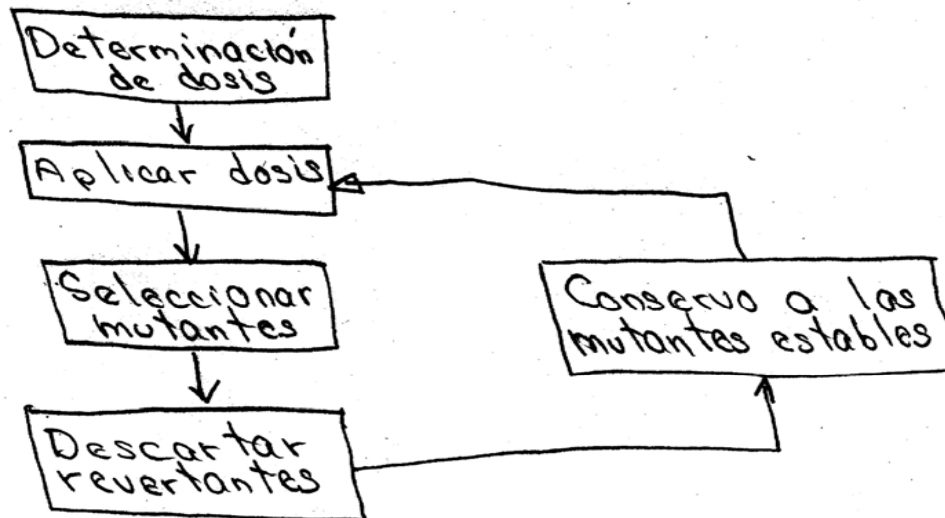
¿qué tengo para seleccionar mutantes?, les digo que aquí es mucho del conocimiento químico y microbiológico que tengan, les voy a poner un ejemplo fácil, ustedes quieren obtener una cepa sobreproductora de ácido cítrico, ¿qué se les ocurre hacer para que ustedes en una caja petri puedan ver así, a ojo, cuáles son las que producen más y cuáles son las que producen menos?

Realiza preguntas

Formula problema para que sean resueltos por los alumnos

Es: un indicador

P: si, un indicador. Así de fácil, como el púrpura de bromocresol que es el clásico y cambia de moradito a amarillo, así fácilmente puedo ver el tamaño del halo. Entonces, veo la cepa nativa y el tamaño del halo, tomo una muestra, hago una alícuota, siembro y selecciono a los más grandes... el objetivo de todo esto es que, a ojo en menos de 5 minutos pueda seleccionar. Bueno, después lo que debo de hacer es eliminar a las que revertan, pues de acuerdo a lo que dijimos, no nos interesan, después vamos a descartar, luego hay que resembrar en cajas petri y checar que el fenotipo que ustedes seleccionaron se mantenga... Entonces qué sigue, pues me quedo con las que hayan mantenido la mutación y de aquí me puedo regresar (señala en el diagrama), a esa mutantes estables les vuelvo a aplicar la dosis, así hago rondas de mutación.



Presenta esquema

Más adelante explica que no necesariamente es con el mismo agente, por ejemplo la primera ronda se hace con luz u.v., la segunda con nitroso guanidina, etc., el punto es que estas mutantes que se seleccionen, cada vez, produzcan más. Que al principio se puede ver el cambio sólo con el fenotipo, pero que después de varias rondas se debe hacer un cultivo en líquido, en un matraz se pone la cepa nativa y en otro la cepa mutante y ahí si miran, por titulación u otro medio, la concentración del producto que interesa. Entonces, ahora sí, se pueden tener números reales, y saber en cuanto se mejoró la cepa nativa. Así se seguirán haciendo cambios hasta lograr la mutante máxima productora. Después estas mutantes se pueden utilizar para hacer técnicas de biología molecular para estar intercambiando en esas dos ramas, para lograr tener entre los dos la mutante que produzca más. Con esto Maricarmen concluye el tema y la clase.

## ANEXO 4. PaPer 3, Nivel Superior

### Clase 3

### Análisis

Fecha 16 de abril de 2007

Maricarmen inicia recordando los temas de la clase anterior, dice que ya se había iniciado el tema de mutagénesis al azar, así como los agentes físicos y químicos que se pueden usar para hacer que un organismo mute y que la clase anterior había concluido con el cálculo de las dosis requeridas para lograr una mutación. También menciona que se debe hacer énfasis en las características que debe tener un microorganismo o una célula para que sea aplicada a nivel industrial, entonces se dirige hacia el pizarrón y al tiempo que va explicando va escribiendo:

Retoma puntos de la clase anterior

Habla sobre la aplicación de los conceptos que vió

Propiedades de los microorganismos industriales

- ❖ Producir el compuesto de interés con alto rendimiento y productividad
- ❖ Cultivo puro
- ❖ Deben ser genéticamente estables
- ❖ Deben ser blanco de modificación genética
- ❖ GRAS (generalmente reconocido como seguro)
- ❖ Alta viabilidad
- ❖ Fáciles de cultivar a gran escala

Ella explica que lo de GRAS se refiere a que el producto sea inocuo, pero que esto puede variar dependiendo de la utilidad que se le dará al producto final, ya que puede ser para alimentos donde sí importa o bien puede relacionarse con otro tipo de industria donde el grado de pureza no importe o bien se le aplique posteriormente un proceso de purificación, después da un ejemplo de *E. coli*:

Habla sobre la utilidad de ciertos conceptos

P: ... en el caso de *E. coli* existe una gran variedad de cepas, unas son inocuas y que son las que se usan en biología molecular, pero también hay cepas silvestres, es decir, que producen algún compuesto de interés y no importa, puedo utilizar esas cepas siempre que vayan con un grado de pureza alto, también podemos usar pseudomona o cándida que sabemos que producen enfermedades, pero no importa, siempre que sean con un alto grado de pureza. Si pensamos en biotecnología y no sólo en alimentos, nos debe de caer el veinte y pensar en la producción de productos farmacéuticos...

Después Maricarmen les habla de que existen niveles de contingencia, en referencia a lo de GRAS, les cita el ejemplo de *Clostridium boturini* y les dice que en este caso la contingencia es mayor por lo que se cuida hasta los filtros de aire, pues no puede haber ni una sola bacteria rondando por ahí. Les comenta sobre las armas biológicas donde se utilizan algunos microorganismos como el ántrax, pero dice que el nivel de contingencia es cuatro, o sea que debe estar en una instalación más sofisticada que asegure que no va a salir nada.

Atiende condiciones especiales

Con respecto a la viabilidad, ella menciona que es importante que las células se mantengan vivas, hay que evitar que se mueran aunque se almacenen por tiempos muy prolongados, pues si se requiere otra vez la célula, existe la garantía de que la vamos a tener. También habla de la dificultad para cultivar a gran escala algunos microorganismos.

Para finalizar la explicación de esta parte, P hace énfasis en que estas son algunas de las características que se buscarían en los microorganismos y que estos microorganismos deben estar depositados en las colecciones, tema que trató la clase anterior.

Recurre a temas de otras clases

Más adelante da un ejemplo donde cambia el marco de lectura.

P: ...esas mutaciones que son de una base son muy importantes, porque cuando ustedes aplican métodos de mutación como los que vimos la vez pasada, o cuando son dirigidos como los que vamos a ver más adelante, muchas veces lo único que queremos hacer es mutar o cambiar un aminoácido (a.a) por otro; o si es al azar puede ser que sólo haya cambiado un a.a., pero esto nos lleva a un cambio de lectura...les voy a poner un ejemplo que me invento yo para saber, qué pasa cuando se cambia el marco de lectura, (de pronto pregunta) ¿qué es el marco de lectura? Se acuerdan que para copiar la información del ADN hay que pasar al RNA mensajero (RNAm) y de ahí a proteínas. Entonces tengo ya el mensajero donde las secuencias son idénticas que en el ADN, excepto porque las timinas se cambian por uracilos; si tengo ya el mensajero para pasar a proteínas ¿cómo se copia? ¿Es base por base o lleva un orden? (sin esperar la respuesta dice) por tripletes, no es base por base y se va leyendo de tres en tres. Cada triplete corresponde a un a.a.

Formula una pregunta para guiar el tema

Pregunta pero no espera respuesta

Entonces Maricarmen va hacia el pizarrón y escribe una secuencia de bases, donde explica que no es fácil saber en qué base inicia la formación de tripletes, que en este caso hay tres posibilidades o marcos de lectura que son:

5'...ATGCCTGTTATG...3' (original)

Muestra un ejemplo que da origen a varias posibilidades

5'...ATGCCTGTTATG...3', (posibilidad 1)

5'...ATGCCTGTTATG...3', (posibilidad 2)

5'...ATGCCTGTTATG...3', (posibilidad 3)

Después explica que para saber cuál de esas posibilidades es la indicada, es necesario pasar la información de esos tripletes a a.a. y que esto no se hace manualmente, sino con el apoyo de la bioinformática, pues las secuencias reales son muy largas. Una vez que se tiene la secuencia de a.a. se determina para la proteína que mejor codifique. Les recuerda que todas las proteínas inician con metionina, por lo que esto puede facilitar la búsqueda. También les recuerda que en el código genético, pueden encontrar la relación de los tripletes y a.a.. Pero que el código genético es degenerado pues diferentes tripletes pueden dar el mismo a.a., y que solo para el caso de la metionina se codifica con un solo triplete que es ATG.

Discute la probabilidad de cada posibilidad

P:... entonces en una secuencia dada hay que sacar los diferentes marcos de lectura, después ver cada triplete para qué a.a. codifica y de ahí se van a buscar metioninas. Otra cosa que deben buscar son los codones de alto, acuérdense que hay tres. Bueno, de cada marco de lectura van a tener diferentes proteínas, entonces la más probable es la que codifique para una más larga, no pedazos de proteínas, a ver, les pinto un ejemplo (va hacia el pizarrón y pinta unas líneas)

Marca los puntos importantes que deben observarse

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Utiliza un modelo, en donde el tamaño de una línea representa el tamaño de la proteína

Maricarmen explica que la primera línea continua corresponde a la secuencia de bases inicial y que las otras tres, las que están segmentadas son las probables proteínas que se pueden obtener con los marcos de lectura, en este caso la más acertada de las posibilidades sería la segunda línea, la que contiene el segmento más grande. Después de esto una alumna pregunta:

Utiliza el modelo para explicar una idea

E: ¿qué son los codones de alto?

P: son AUG, AGA y GAU, bueno en este último no estoy segura, lo pueden ver en el código genético. No se trata de que se los aprendan de memoria sino de que los sepan utilizar. Además recuerden que el código genético es el mismo para cualquier ser vivo: virus, bacterias, protozoarios, humanos, es para todos. Aunque hay unas

Responde preguntas



excepciones en cloroplastos y mitocondrias , pero eso no lo vamos a ver por el momento, también acuérdense que deben buscar al promotor que debe estar hacia el 5'...

Más adelante, Maricarmen escribe en el pizarrón la secuencia de bases inicial, y debajo de ella coloca a los a.a. que codifican

5'...ATGCCTGTTATG...3'  
-Met-Pro-Val-Met-

P: Esto sería considerando el primer marco de lectura como correcto y ahora vamos a ver qué pasa si quito o meto bases, ¿por qué me interesa quitar o meter bases? Porque así es como se producen las mutaciones, ya que el cambio de bases...

Realiza una pregunta pero no espera la respuesta

En seguida dice que van a ver un ejemplo y propone quitar la segunda timina de la secuencia inicial, de tal manera que ahora quedaría de la siguiente forma:

Da ejemplos

5'...ATGCCGTTATG...3'  
5'...ATGCCGTTATG...3'

-Met-Pro-Leu-

Ella dice que esto es una mutación silenciosa pues aunque cambio el triplete de CCT por CCG, llegamos al mismo a.a., Pro. Aclara que generalmente el cambio en la tercera base origina este tipo de mutación. Después les pide que se centren en el tercer triplete, que cambio de GTT a TTA y de Val a Leu, que ahí si hubo un cambio en la secuencia de a.a. y de ahí en adelante todo cambia. En el caso de que esta fuera la proteína reguladora, ya no tendría función pues no reconocería la nueva secuencia de a.a. y por lo tanto esa vía ya no estaría regulada. Después dice.

Realiza aclaraciones

P: ahora vamos a ver un segundo caso en donde en lugar de quitar, ponemos un a.a., este caso se llama por inserción, ya no es la eliminación vean (va hacia el pizarrón y escribe)

5'...ATGCCTGTTATG...3'  
5'...ATGCCTGGTTATG...3'  
5'...ATGCCTGGTTATG...3'

-Met-Pro-Gli-Tyr-

Después les hace hincapié que también ocurrió un corrimiento del marco de lectura, pero que en este caso se debe a que se agregó una guanina, por ello se llama “corrimiento del marco de lectura por inserción” y que en este caso también tendríamos como consecuencia, una vía desregulada. Posteriormente, comenta que cuando se hace una mutación al azar no se puede saber exactamente qué fue lo que sucedió, pues bien pudo haber ocurrido un corrimiento por agregar una base o bien por quitar alguna, pero que si la mutación se realiza por medio de las técnicas de la biología molecular, entonces sí se puede seleccionar la parte que se quiere alterar. Sin embargo, el requisito indispensable para poder utilizar estas técnicas, es conocer exactamente la secuencia de genes. Ella menciona que rara vez se conoce la secuencia exacta para el metabolismo de metabolitos secundarios, por lo tanto, sólo se pueden hacer mutaciones al azar en esos casos. En cambio, sí se conoce la secuencia de genes para el metabolismo de metabolitos primarios, por lo que en estos casos, se puede hacer uso de las técnicas de la biología molecular, es decir, se puede hacer una mutación totalmente dirigida, por ello también se le da el nombre de “mutagénesis dirigida”. Maricarmen también expresa, que en el caso de la mutagénesis dirigida se puede cambiar solo la parte que se quiere y dejar intacto todo lo demás, pero que en la mutación al azar todo puede cambiar, al final, esto no es de mucha importancia pues ya sea por una forma u otra se obtiene el producto de interés y a la velocidad deseada, la única diferencia es que en un caso no se qué cambió y en el otro sí. No obstante, siempre se puede investigar los cambios que se hicieron al azar.

Marca requisitos indispensables

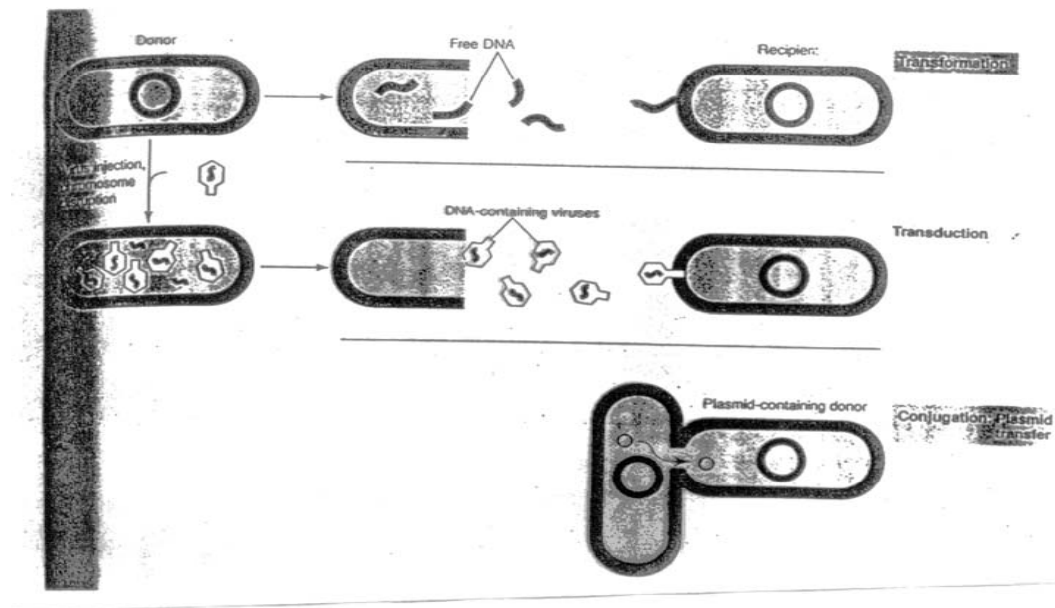
Más adelante Maricarmen explica los diferentes tipos de mutación que existen, dice que cuando se cambia de un a.a. por otro completamente diferente la mutación se llama “en sentido equivocado” o “missense”, pero si se cambia de un a.a. a un codón de termino, la síntesis de la proteína se detiene lo cual no tiene sentido, y precisamente recibe el nombre de mutación “sin sentido” o “no sense”. Sin embargo, puede ocurrir que se cambie el triplete, pero que de todas formas nos dé el mismo a.a., en ese caso será una mutación “silenciosa” en donde hubo cambio a nivel genotípico pero no a nivel fenotípico, pues se obtuvo el mismo a.a. y no se altero la síntesis de la proteína. Ella añade que todo esto que ha explicado es la base de la ingeniería de proteínas, la cual es una parte de la biotecnología.

Más tarde, P declara el nombre del tema con el que continuará la clase “Introducción a los métodos de modificación genética utilizando las técnicas de biología molecular” y dice:

Precisa el nombre del tema que tratará

P:...para hablar de esto les quiero comentar que las metodologías que se utilizan, fueron desarrolladas tomando como modelo lo que ocurre en la naturaleza, en ningún momento salieron de la cabeza de un científico loco que se le ocurrió ver cómo hacerle para meterle ADN a las bacterias. Lo que se hizo fue observar lo que naturalmente

sucede entre bacterias, entre virus y bacterias, lo que sucede entre bacterias y plantas... lo único que se hizo fue observar qué es lo que sucedía a nivel de transferencia de información genética naturalmente y utilizar esos mecanismos, pero ahora manipulando para transferir lo que a mí me interesa que se transfiera. Ahorita lo que vamos a revisar es cómo suceden esos métodos en la naturaleza... Hay tres maneras principales que tienen las bacterias para transferir material genético (muestra un esquema y continúa)



Presenta esquema

Figura 1

P: la primera que vamos a revisar es la transformación, vean (señala el esquema) hay una célula donadora que por alguna razón se lisa o se abre y deja libre el ADN. Ese ADN puede estar en forma lineal o en forma de plásmidos. El punto es que cerca hay una célula receptora y deja entrar el ADN exógeno... ¿Será fácil que una célula deje entrar ADN exógeno? Pues no, que tal que ese ADN es de un virus que puede infectar a la bacteria. Entonces, como mecanismo de defensa lo más normal es que esa célula no deje entrar así como así a ese ADN. Hay algunos organismos como *bacillus* que si lo hacen, tienen un mecanismo para dejar entrar ADN de otros y utilizarlo en su propio genoma e integrarlo, con el objetivo de tener más herramientas para sobrevivir más adelante, *bacillus* sí lo hace, pero sólo entrando a la fase estacionaria, es uno de los pocos que lo hacen... la transformación es de lo más natural.

Realiza una pregunta para fijar la atención en lo que va a explicar

Ella continúa y explica que, si la célula hospedera de forma natural no deja entrar el ADN exógeno es necesario hacerle algo para que lo acepte. Cuando la célula hospedera recibe el ADN en forma natural se llama célula competente, pero que el estado de competencia no lo tienen muchas células, sólo algunas y sólo en algunos estados de crecimiento característicos, por lo que, en la mayor parte de los casos hay que hacer competentes a las células. Dice que esto está relacionado con la permeabilidad de la membrana, por lo que hay que usar iones divalentes como calcio y magnesio o algunas sustancias reductoras como el dimetil-sulfóxido o utilizar condiciones de cultivo adversas. Cita el ejemplo de *E. coli*, que crece bien a 37°C y a 150 rpm, pero que para hacerla competente se debe poner en condiciones mínimas de fuente de carbono, a temperatura ambiente y con una agitación de 250 rpm. En estas condiciones *E. coli* tardará en crecer, pero cuando haya una cantidad importante de biomasa, se le agregan los iones divalentes y el agente reductor, todo para desestabilizar a la membrana, pero además se le provoca un choque térmico, es decir se le aumenta la temperatura hasta 60°C por un minuto e inmediatamente después se le introduce en hielo. Este procedimiento incita a que se formen poros temporales en la membrana, para que así se pueda introducir el ADN exógeno y transformar a la célula. Después se dirige al esquema (figura 1) y vuelve hacer la explicación ayudándose con él. Extiende su explicación diciendo:

P:... a las células transformadas que sobrevivieron al traqueteo se les rescata, y ahora sí se les trata como princesa, en el mejor medio posible y en condiciones óptimas de temperatura y agitación. Después se seleccionan a las células que sí permitieron la entrada del ADN exógeno, por medio de técnicas de tamizaje que ya hemos mencionado...

Maricarmen menciona que otra técnica para transformar a las células es utilizando un equipo que se llama “electroporador”, el cual provoca descargas eléctricas en las células cuando están en presencia del ADN exógeno. Cada que hay descargas eléctricas se crean poros en la membrana por milisegundos, pero es tiempo suficiente para que el ADN exógeno entre. Ya sea por una u otra técnica se pueden transformar a las células. Después se dirige nuevamente hacia la figura 1 y en ella señala hacia la parte de en medio que dice “transducción”, ella dice que también se llama “transfección” y que este evento ocurre de forma natural y está mediado por virus especiales, los cuales tienen fagos e infectan a la bacteria que va a donar el ADN exógeno. También, les recuerda que los virus tienen la mínima información genómica por lo que tienen que apropiarse de la maquinaria genética de la célula que van a infectar, para que se puedan replicar. Por lo tanto, introducen la información genómica de la célula que van a infectar dentro de su cápside y al ser liberados los fagos, contienen tanto su propio ADN como el ADN de la célula donante, por lo que, al infectar estos fagos a otra célula (receptora de ADN exógeno) introducen ambos, entonces la célula receptora acepta esta información genética y la incorpora a su genoma. Es así como utilizando

Da ejemplo

Explica con ayuda de un esquema  
Muestra ideas antropomórficas  
Recurre a puntos de clases anteriores

Explica ayudándose de un esquema

un virus como vehículo, se logra transformar una célula.

Posteriormente P explica que existen 2 ciclos o formas en que un virus infecta a una célula que son la litica y la lisogénica, la primera se refiere cuando la célula infectada se rompe y libera a los fagos y la segunda cuando la célula infectada incorpora a su genoma la información genética del virus, es por ello que se debe conocer completamente el funcionamiento de los fagos para poder manipular en qué momento debe ocurrir un ciclo o el otro. Aclara que, sin embargo, esto se conoce perfectamente y está estandarizado, al grado de que estos fagos se venden en kits con las instrucciones precisas para favorecer una cosa o la otra. Más adelante, hace hincapié en que por esta vía no se necesita que la célula sea competente pues el virus es el encargado de introducir la información genética deseada.

Hace aclaraciones

Resalta puntos importantes

Como último punto explica el fenómeno de conjugación y señala la parte inferior de la figura 1. Dice que existen células que tienen la facilidad de intercambiarse plásmidos. El plásmido es un fragmento de ADN, circular, cerrado, de menor tamaño que el cromosoma. Para que se transfiera la información debe haber una célula donadora y una aceptora, la transferencia es unidireccional, no hay intercambio, una le da a la otra. Lo que une a las células para que haya transferencia es el Pili f (proteínas retractiles) el cual es como un gancho que tiene la célula donadora que atrapa a la receptora y con ayuda de otras proteínas forma un poro en la membrana por donde pasa una copia del plásmido, de tal forma que la donadora no pierde nada. Ella enfatiza que este evento es frecuente en la naturaleza y es el responsable de que se creen cepas resistentes a antibióticos, porque en los plásmidos existe información importante para que la célula sobreviva. También dice que se puede manipular ese plásmido para introducir información seleccionada en otra célula, por lo que se tendría que hacer la construcción deseada que tiene un promotor, el gene de interés y un terminador, por lo que la célula receptora va a tener información genética para producir proteínas que antes no producía. Esa proteína le puede servir para tener una ruta biosintética nueva o enzimas nuevas, para producir cualquier cosa que tenga que ver con proteínas. Para concluir marca que esos son los métodos más usuales para hacer transferencia de información genética

Utiliza un esquema para explicar

Presenta analogía del Pili f con un gancho

Concluye la clase

## ANEXO 5. PaPer 4, Nivel Superior

### Clase 4

### Análisis

Fecha 18 de abril de 2007

Maricarmen inicia declarando el tema que se verá en la clase, el ejemplo de un plásmido y dice:

P: ¿quién me quiere decir que es un plásmido? ¿Es circular? ¿Es material genético? ¿De qué tamaño es? Los plásmidos tienen la capacidad de autoduplicarse, cuando la célula se divide cada célula hija se va a quedar con una copia del plásmido, porque dentro de ese material extracromosomal hay información para que cuando la célula se duplique también el plásmido se duplique. Cuando las células se separen cada célula hija va a tener su material genético y además una copia del plásmido, no hay que hacer nada, solito el plásmido se autoduplica...

Precisa el tema que tratará  
Inicia el tema con preguntas, pero no espera respuestas

Ella explica que esto es muy importante porque las mutaciones o los cambios que nosotros generemos en la célula deben ser transmisibles de generación en generación y esto lo cumplen los plásmidos. Después ella pregunta:

P: ¿cómo le hacemos para introducir ahí material genético que a mí me conviene? Se acuerdan que yo les había dicho que esto es como corte y confección, cortar y pegar, cortar y pegar, ahorita vamos a ver que quiere decir eso de cortar y pegar

Explica la importancia del tema

Coloca en la pantalla un esquema (figura 1) para ayudarse a explicar; ella dice que el esquema muestra una construcción genética en donde se utiliza un plásmido, que es material genético circular cerrado y un fragmento de ADN, que contiene el gene que les interesa que se exprese (señala en el esquema). Dice que lo primero que se debe hacer es cortar el plásmido y generar extremos de cadena sencilla, también conocidos como “extremos cohesivos” porque cuando se encuentran con sus complementos se vuelven a unir. Lo que se corta es el enlace fosfo-diéster del ADN que es un enlace covalente y lo que se queda listo para volverse a unir son puentes de hidrógeno, que aunque no son enlaces tan fuertes, sí son suficientes para que se apareen las bases adenina con timina y citosina con guanina. También menciona que son enzimas lo que se utiliza para cortar, de tal manera que las enzimas que cortan el plásmido son las mismas con las que se corta el fragmento de ADN. Los cortes del plásmido y del fragmento de ADN se hacen por separado, cuando se han generado los extremos cohesivos se ponen en contacto y se baja la temperatura para permitir que el fragmento de ADN se integre al plásmido. Ella aclara que esto no es suficiente para que los extremos

Realiza preguntas para dirigir la clase  
Utiliza el término cortar y pegar por primera vez en la clase. Uso de analogías  
Apoya sus explicaciones con esquemas  
Relaciona el término “cortar y pegar” con “extremos cohesivos”.  
Uso de Analogías

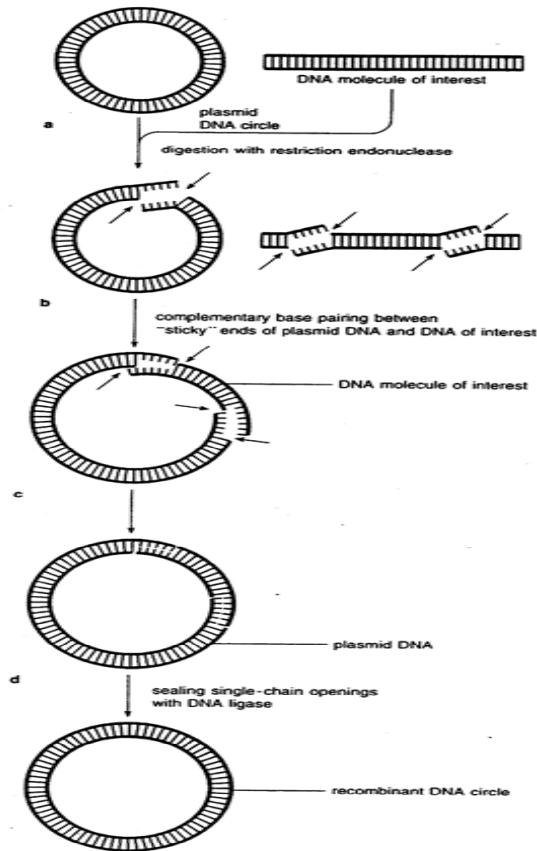
Realiza precisiones para que el

queden unidos, ya que si se aumenta la temperatura los extremos se vuelven a separar pues sólo se encuentran alineados. Por lo tanto, hay que mantener la temperatura baja y agregar una enzima llamada ligasa, la cual va a generar que se vuelva a formar el enlace fosfo-diester que se cortó, para tener nuevamente un plásmido circular cerrado. Después pregunta:

P: Hasta ahorita ¿qué enzimas hemos utilizado? Las enzimas para unir, llamadas ligasas y las enzimas para cortar, llamadas de restricción. Existe una gama muy amplia de enzimas de restricción, les voy a mostrar algunas (coloca una tabla, figura 2)

fenómeno se efectúe

Relaciona la enzima ligasa con el término unir y las de restricción con cortar. Uso de analogías



Muestra esquema

Figura 1

# Enzymes

## Commercially available enzymes and Amersham isoschizomers

Enzyme	Cutting site	Amersham enzyme	Code	Enzyme	Cutting site	Amersham enzyme	Code
<i>Acetobacter</i>	AGGVOCT	Sse I	E1001	<i>BspXI</i>	ATVCGAT	Cla I	E1005
<i>Alcaligenes</i>	GACGTVG	Aat II	E0200	<i>Bsp301</i>	CGVCG	Acc II	E1006
<i>Alcaligenes</i>	GTVMKAC	Acc I	E1001	<i>Bsp106I</i>	ATVCGAT	Cla I	E1007
<i>Alcaligenes</i>	CGVCG	Acc II	E1002	<i>Bsp1286I</i>	GDGCHVC	Bsp1286 I	E1008
<i>Alcaligenes</i>	TVCCGGA	BsrM I	E1616	<i>BspRI</i>	RVCCGGY	Cfr10 I	E1009
<i>Alcaligenes</i>	TCCVCGA	Fsp I	E0212	<i>BssHI</i>	GVCGCGC	BssH II	E1010
<i>Alcaligenes</i>	CCANVNTGG	PfiM I	E0219	<i>BamI</i>	GVGATCC	BamH I	E1011
<i>Alcaligenes</i>	CVTTAAG	Afl II	E1003	<i>BspII</i>	GVGTNACC	Eco065 I	E1012
<i>Alcaligenes</i>	AVCRYGT	Afl III	E0201	<i>BspNI</i>	CCVWGG	Mva I	E1013
<i>Alcaligenes</i>	AGVCT	Alu I	E1004	<i>BspUI</i>	CGVCG	Acc II	E1014

Figura 2

Presenta tabla

Maricarmen les explica cómo está constituida la tabla, haciendo énfasis en que cada enzima reconoce diferente número de bases con diferente secuencia, lo que le da su especificidad a cada enzima de restricción. También aclara que aunque observen en la tabla más bases ello no quiere decir que las haya, sino que estas letras corresponden a un código que por el momento no importa mucho ver. Continúa explicando la tabla y da algunos ejemplos. Más adelante habla sobre la probabilidad de encontrar una secuencia de bases compuesta por 4 bases con relación a la de una compuesta por 9, y aclara que siempre es preferible usar una secuencia que reconozca un mayor número de bases porque así el fragmento de ADN que queremos insertar en el plásmido no queda hecho pedacitos para asegurar que el gene que queremos que se exprese no se destruya.

Explica la tabla

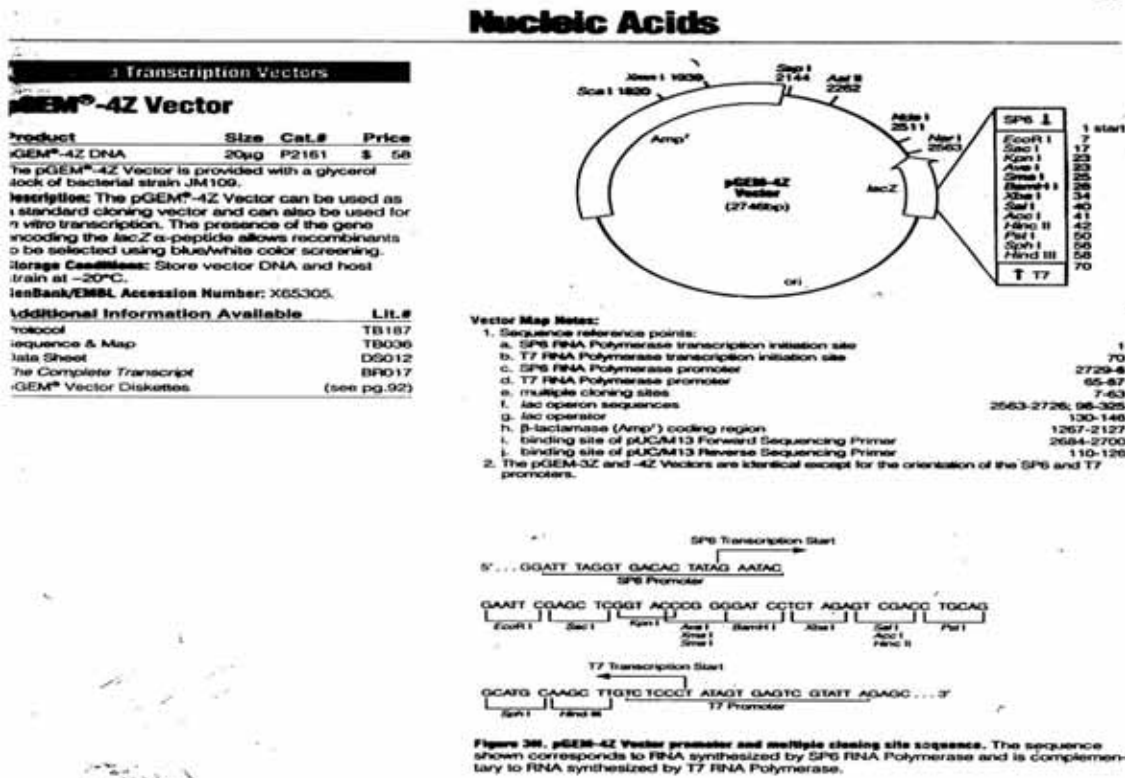
Realiza precisiones sobre preferencias de uso



Después, la maestra platica que si se conoce la secuencia exacta del fragmento de ADN que se quiere insertar, se puede hacer uso de algunos programas de computación con los que cuenta la biología molecular; esos programas pueden decir cuál es la enzima más apropiada para lo que queremos hacer. Sin embargo, no siempre se conoce esa secuencia e incluso en muchos casos se clona precisamente para conocer la secuencia.

Menciona otras alternativas que existen, aunque no entre en detalles

Posteriormente, ella muestra un acetato que contiene una página de un catalogo de productos biotecnológicos, que muestra un vector de clonación (figura 3).



Muestra figura

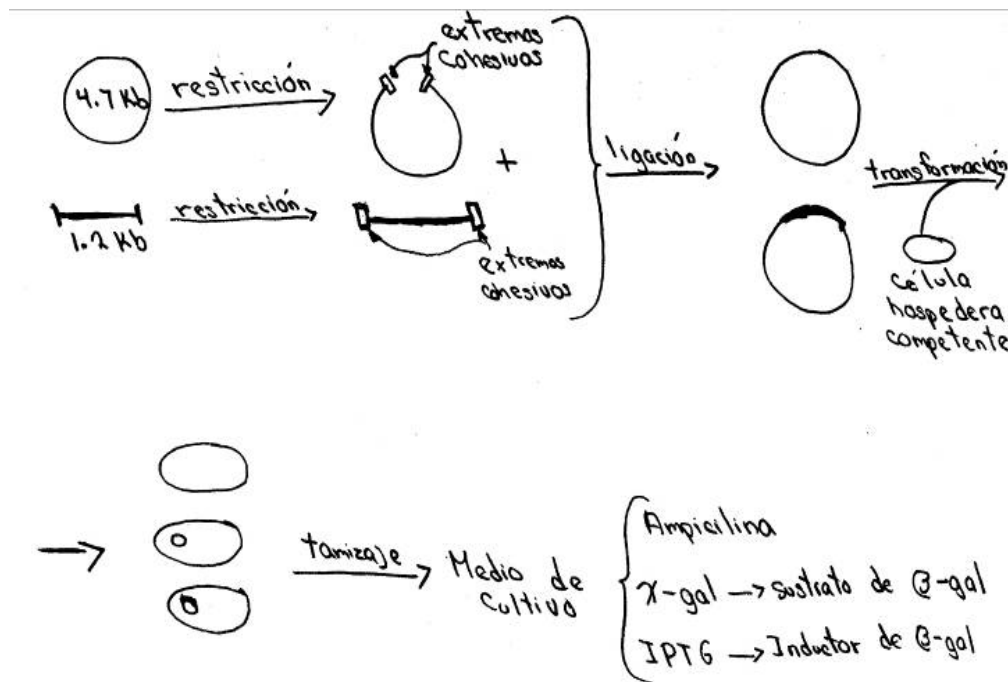
Figura 3

Maricarmen explica que este diagrama muestra un mapa del vector de clonación, en él están todas sus características y como éste, existen muchos más con características diferentes que se encuentran ya a nivel comercial. Ella explica el significado de cada parte del diagrama, por ejemplo, dice que el significado de que tenga las siglas pGEM, es porque tiene un gene de resistencia a ampicilina; por lo que cualquier organismo que contenga este vector va a degradar a la ampicilina y que se llama “gene de selección”, así continúa con todos los demás puntos del diagrama y les dice:

P: Todo esto que les estoy platicando forma parte de lo que conocemos con el nombre de Ingeniería Genética, ya que a alguien se le ocurrió construir vectores con características bien especiales, que en la naturaleza no existen, como ven se necesita del ingenio de alguien para saber qué promotor quiero, qué gene necesito...y así hasta tener la construcción que a mí me conviene. Ahora vamos a ver un ejemplo para poder clonar y después transformar, porque ese es el chiste de todo esto (se dirige hacia el pizarrón y dibuja en diagrama que va explicando al momento de construirlo)

Explica el diagrama y lo relaciona con el tema

Da ejemplos de cómo se efectúa la clonación



Construye esquema, al tiempo que va explicando

Figura 4

Ella parte de un plásmido de 4.7 Kb (kilo bases) y de un fragmento de ADN de 1.2 Kb, explica que se trata de introducir ese fragmento en el plásmido, lo primero que se debe hacer, es cortarlos por separado con las enzimas de restricción para generar extremos cohesivos. Después se ponen en contacto y se realiza la ligación, pero existen dos posibilidades de ligación, la primera es que el plásmido se cierre sin adicionar el fragmento de ADN y la segunda es que sí lo integre; realmente se obtiene una mezcla de ambas y no se puede diferenciar entre ellas en este momento; por lo que la transformación, que es el siguiente paso, se realiza con la mezcla. La transformación se refiere a introducir el plásmido en una célula hospedera competente. Maricarmen les recuerda que habían visto antes el paso que sigue, provocar un choque térmico para obligar a la célula a que deje introducir al plásmido. En este momento se genera una mezcla con tres tipos de células: unas que no dejaron introducir nada, por lo que se mantienen intactas, otras que introdujeron al plásmido en el que no hubo integración del fragmento de ADN y la última, que es la que nos interesa, que posee el fragmento de ADN que nos importa. Posteriormente, esta mezcla pasa por un “tamizaje” que permite seleccionar a simple vista la parte de interés. El tamizaje consiste en sembrar en superficie esta mezcla, pero el medio de cultivo esta compuesto de elementos que favorecen el desarrollo y la diferenciación de las células que deseo aislar y por el contrario desechan o visualizan a las que no interesan. Menciona las características del medio para un caso concreto. Finaliza la explicación a la par que realiza el diagrama, por lo que al terminar vuelve a explicar todo el diagrama de forma continua.

Recurre a puntos explicados en otras clases

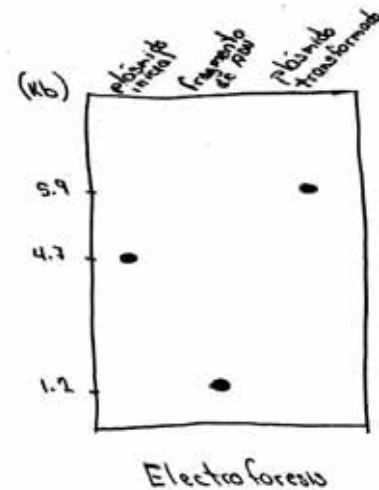
Especifica para casos concretos

Más adelante, precisa que se debe corroborar la transformación, para ello se cultivan las células seleccionadas, se les hace una extracción del plásmido, que posteriormente se abre con las enzimas de restricción para tener un plásmido lineal y se corre un gel de electroforesis (al tiempo de la explicación va dibujando otro esquema en el pizarrón) En el primer carril de la electroforesis se pone un marcador de peso, en el segundo carril se pone el plásmido lineal de 4.7 Kb, en el segundo el fragmento de ADN de 1.2 Kb y en el tercero el plásmido que obtuve, que en teoría debe pesar 5.9 Kb. También explica que en ocasiones se obtienen plásmidos de 4.7 Kb que no corresponden a lo esperado, para ilustrar esta parte dice:

Precisa puntos importantes

P: La explicación de esto podría ser que el plásmido se abrió y se cerro sin introducir el fragmento de ADN, pero al momento de cerrarse hubo un corrimiento del marco de lectura. Es como los dientes de un cierre que en ocasiones al cerrarse se empalman y ya no coinciden, por lo que todos los demás dientes se recorren para poder cerrar, en nuestro caso ya no se formaría la proteína deseada sino quién sabe cuál sería....

Da alternativas de explicación para los casos no esperados



Construye esquema y va explicando al mismo tiempo

Ella explica que una vez que se ha corroborado que se obtuvo la construcción deseada, se deben dar todas las condiciones para que la proteína se exprese y así estar seguros de que nuestra construcción produjo lo que necesitábamos. En caso de que esa proteína no sea conocida, se procede a secuenciarla totalmente y determinar sus características, las bases de este proceso serían las mismas que se utilizaron para construirla.

Da alternativas para casos hipotéticos

De pronto, Maricarmen dice:

P: Antes de esta clase, si alguien les preguntará lo que piensan sobre las plantas transgénicas y les dijeran que tienen genes de resistencia a los antibióticos, tal vez dirían que “sólo a un loco se le ocurre tal cosa” o se les haría medio sospechoso. Pero ahora saben que esto es algo propio de la técnica que se utiliza para hacer la construcción. En muchas ocasiones esos genes marcadores de selección, como los de resistencia a antibióticos, no se los quitan, sobre todo al principio, pues nadie pensaba que fueran a hacer un drama; por ello en la actualidad se utilizan otros tipos de marcadores...

Este párrafo muestra un enfoque CTS

Ella continúa explicando que como ya se vio, en condiciones bien cuidadas y con células competentes, la probabilidad de que la técnica funcione es muy poca, pero que los de Greenpeace aseguran que los alimentos transgénicos tienen genes que codifican para resistencia a antibióticos y genes que son toxinas, y que en esto se cierran completamente. Ella aclara que podría existir la probabilidad de generar genes con

resistencia a antibióticos, pero que las toxinas solo son específicas para los lepidópteros, ya que éstos contienen en la membrana de su intestino receptores específicos para las toxinas, las que al entrar provocan poros en la membrana y que ningún mamífero tiene esos receptores por lo que las toxinas no pueden afectarlos, es decir, que si los humanos o las vacas comen maíz transgénico no les va a pasar nada. Agrega, que otro de los puntos que discuten grupos amarillistas, es que al comer genes con resistencia a antibióticos se propicia que las bacterias del intestino se vuelvan resistentes a antibióticos y que algunas de ellas pueden ser patógenas, Sin embargo, aclara que todo lo que se come se digiere, por ejemplo si se come zanahorias se come ADN de ellas y en ningún momento nos ponemos anaranjados. Todo el ADN de lo que se come, se convierte en pedacitos y la probabilidad de que quede intacto el ADN que codifica para resistencia a antibióticos es pequeñísima. Sin embargo, suponiendo que quede intacto este fragmento, cuál sería la probabilidad de que entre a una célula hospedera no competente, sí... para que ello ocurra en condiciones propicias con células competentes la probabilidad de éxito es bajísima. Dice que lo que sí puede ser más probable es que quede una secuencia de varios a.a. que no se pueda digerir fácilmente con nuestras proteasas, que si entran a torrente sanguíneo pueden causar una alergia. No obstante, existen alimentos como fresas, huevo y otros, que no han sufrido ninguna modificación genética y causan alergia a algunas personas. Ella recomienda que se deba ser objetivo a la hora de emitir un juicio y dice:

Este es otro párrafo que muestra un enfoque CTS

P: esto no quiere decir que yo esté en pro de los productos transgénicos, simplemente es que la ciencia te dice una cosa, ahora, que nos convenga o no nos convenga por razones políticas, económicas, sociales o éticas, eso es otra cosa; pero la técnica es lo que acabamos de ver. Ustedes tienen que hacer un acto de conciencia y reflexionar sobre estas cosas para que lleguen a sus propias conclusiones.

Trata de mantener en reserva su opinión personal sobre los productos transgénicos

Más adelante habla sobre la selección del mejor vector de clonación, dice que se vio un ejemplo de un plásmido, pero que también existen fagos. La selección depende del tamaño del inserto, los fagos funcionan mejor para insertos muy grandes.

Marca los puntos importantes para la selección de un vector de clonación

Por otra parte hay que considerar a la célula hospedera, ya que existen en ellas codones preferenciales, por ejemplo los que utilizan los procariones no son los mismos que prefieren los eucariotes, entonces cita un ejemplo específico. Después recomienda que es importante que al efectuar una técnica de biología molecular, ésta se efectúe como receta de cocina, exactamente como dice el manual, pero que es imprescindible que se conozca el por qué de cada paso, ya que de otra manera se puede, inconcientemente, bloquear el proceso.

Da ejemplos específicos

Ella cita un ejemplo relacionado con la producción de alimentos, comenta que se aisló una proteína de un

Contextualiza los ejemplos

pez polar, que tiene la propiedad de no congelar, por lo que se utilizó en la fabricación de helados, dándoles la propiedad de ser más suaves y más cremosos. Posteriormente se intentó hacer esta proteína por medio de las técnicas de biología molecular para poderla producir a nivel industrial. Sin embargo, algunos países no aceptaron que la formulación de un helado contenga un producto transgénico.

Otro ejemplo que cita es en relación con la producción de vinos, dice que si se transformaran genéticamente a las levaduras que intervienen en la producción del vino, de tal forma que también pudieran utilizar la cáscara de la uva, el rendimiento se mejoraría. Pero así como en el caso anterior no es fácil introducir un organismo transgénico, de hecho muchos países sobre todo europeos se niegan rotundamente. Así comenta otros ejemplos y finalmente dice.

P: Bueno con esto terminamos el tema, recuerden que solo vimos lo mínimo necesario para que cuando lean algo lo puedan entender, o para cuando tengan que tomar una decisión o dar una opinión, lo hagan de forma fundamentada. Ahora, si quieren saber más sobre el tema existe una materia optativa para que lo hagan...

Contextualiza los ejemplos

Como conclusión, especifica los objetivos e importancia del tema para los alumnos, desde su visión