

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL  
FACULTAD DE BIOQUÍMICA Y CIENCIAS BIOLÓGICAS

Título de la Tesis:

**La analogía como estrategia didáctica en la enseñanza del concepto de reactivo limitante y la recuperación de análogos útiles en contenidos de mayor complejidad**

Lugar de realización: Facultad de Ingeniería Química

Maestrando: Lic.en Qca. Nancy Silvana Piovano

Directora: Mag. Ester Mercedes Ocampo

Año: 2012

## Índice

I.	Índice de figuras	3
II.	Índice de tablas	4
III.	Abreviaturas y símbolos	5
IV.	Principio de la investigación	6
V.	Introducción	7
	V.1. Aprendizaje significativo y conocimientos previos	8
	V.2. Analogías, metáforas y similitudes	10
	V.3. El enfoque psicológico	18
	V.4. El enfoque epistemológico	26
	V.5. Algunas limitaciones del uso de analogías como estrategia didáctica	35
	V.6. Dificultades para el aprendizaje del concepto Reactivo Limitante	41
VI.	Objetivos e hipótesis	49
VII.	Diseño experimental	50
	VII.1. Características del diseño experimental	50
	VII.2. Validación interna y externa del experimento	53
	VII.3. Muestra	54
	VII.4. Metodología	54
	VII.5. Instrumentos para la recolección de datos	56
VIII.	Resultados	58
	VIII.1. Discusiones previas al experimento	58
	VIII.2. Resultados del experimento	60
	VIII.3. Análisis estadístico de los resultados	62
IX.	Conclusiones	69
X.	Líneas de investigación posibles a partir de este trabajo	75
XI.	Resumen en español e inglés	76
XII.	Anexos	77
XIII.	Bibliografía	86
XIV.	Agradecimientos	92
	A manera de cierre	93

## I. Índice de figuras

Figura 1: Analogía entre el sistema solar y la representación del modelo planetario que Bohr propuso para el átomo	14
Figura 2: Analogía entre un comedero de pájaros y el concepto de orbitales	15
Figura 3: Analogía entre un salto con garrocha y el concepto de energía de activación	15
Figura 4: Analogía entre una balanza y la masa atómica del hidrógeno relativa a la masa de un isótopo del carbono	16
Figura 5: Analogía entre el movimiento de alumnos ocupando bancos y el movimiento de electrones en elementos semiconductores	16
Figura 6: Analogía entre hombre y máquina	17
Figura 7: Analogía entre circulación sanguínea y de agua por cañería	23
Figura 8: Analogía entre el átomo y el sistema solar propuesta por Oliva	25
Figura 9: Analogía entre dos modelos de Maxwell	28
Figura 10: Analogía entre una serpiente y la molécula de benceno de Kekulé	31
Figura 11: Representación del estado inicial del gas dihidrógeno	43
Figura 12: Representación de los estados posibles al cambiar la temperatura del gas	43
Figura 13: Relación entre los números de moles de dióxígeno y de amoníaco	48
Figura 14: Recuperación de la analogía en porcentajes	62
Figura 15: Relación entre los alumnos que resuelven bien y los que recuperan la analogía	64
Figura 16: Imágenes de la presentación de Joel Weiner	78

## II. Índice de tablas

Tabla 1. Ejemplos de RI con conclusiones erróneas	20
Tabla 2: Relación entre los números de moles de los reactivos	48
Tabla 3. Matriz de datos del experimento	52
Tabla 4. Etapas del experimento	55
Tabla 5. Planilla para las entrevistas	57
Tabla 6. Datos de la experiencia con alumnos	60
Tabla 7. Tabla de contingencia para las variables en estudio	63
Tabla 8. Relación entre los alumnos que recuperaron la analogía y los que promocionaron la asignatura	65
Tabla 9. Test de Fisher aplicado a los datos de Tabla 7	67
Tabla 10. Test de chi-cuadrado aplicado a los datos de la Tabla	68
Tabla 11: Matriz de datos, indicadores y resultados para el objetivo 1	70
Tabla 12: Matriz de datos, indicadores y resultados para el objetivo 2	71
Tabla 13: Matriz de datos, indicadores y resultados para el objetivo 3	72
Tabla 14: Matriz de datos, indicadores y resultados para el objetivo 4	73
Tabla 15: Matriz de datos, indicadores y resultados para el objetivo 5	74
Tabla 16: Ejemplos de analogías autogeneradas y fallas detectadas	83
Tabla 17: Registro de las entrevistas realizadas a los alumnos	86

### **III. Abreviaturas y símbolos**

FIQ: Facultad de Ingeniería Química

FICH: Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

PACENI: Proyecto de Apoyo para Carreras de Ciencias Exactas y Naturales,  
Ciencias Económicas e Informática

RL: Reactivo limitante

RA: Razonamiento analógico

RI: Razonamiento inductivo.

SMT: Structure Mapping Theory

## **IV. Principio de la investigación**

El tema que da origen a este estudio está relacionado con una problemática observada en los alumnos que ingresan a la primera asignatura química de las carreras de Licenciatura en Química, Profesorado en Química y Químico Analista.

La primera parte de esta asignatura, incluye los temas de estequiometría y reactivo limitante (RL), y corresponde a una revisión y profundización de contenidos aprendidos en la escuela media y en cursos preuniversitarios, a pesar de lo cual se observan numerosas dificultades en su comprensión y aplicación.

La elección de este tema de investigación surgió de la inquietud fundamentada en la observación de clases, la experiencia docente, el seguimiento de alumnos, sus exámenes y de conversaciones con docentes de distintas facultades.

La persistencia de este problema constituye una preocupación de profesores y, en general, de toda la comunidad educativa, con el agravante de que aún en asignaturas superiores, los alumnos siguen mostrando dificultades en la conceptualización de algunos contenidos relacionados por ejemplo, con la estequiometría.

## V. Introducción

Es sabido que a partir de que el conocimiento científico se produce, hasta que lo aprenden los alumnos, son numerosas las comunidades que intervienen en su transposición (De Longhi, 2000). Una de las problemáticas esenciales que subyacen a este proceso tiene que ver entre otros aspectos con la metodología utilizada para llevar adelante la enseñanza y también con el rol de profesor como divulgador y mediador entre el conocimiento y el aprendiz.

De Longhi (2000) resume a las acciones de **aprender** y **enseñar** en las siguientes operaciones:

### ***Aprender es:***

- Reestructurar lo que ya se tiene como conocimiento.
- Construir modelos y representaciones para interpretar lo que se recibe e interactuar con ello.
- Conocer y acumular conocimientos con niveles de complejidad creciente.
- Establecer relaciones conceptuales.
- Tomar conciencia de lo que se aprende, como y para que se aprende.
- Haber revisado los conocimientos previos y de sentido común.
- Construir desempeños flexibles y ser autónomos en el manejo del saber.
- Ser responsable del aprendizaje y comprometerse con la tarea.

### ***Enseñar es:***

- Tener un modelo de enseñanza como fundamento.
- Posicionarse respecto a cómo se cree que aprenden los alumnos.
- Generar un sistema de referencia para ese aprendizaje (experiencias, conceptos, relaciones conceptuales).
- Establecer las relaciones entre esos sistemas de referencia y los modelos y teorías del alumno.

- Guiar el aprendizaje y las aproximaciones sucesivas del conocimiento.
- Ayudar a construir lo que el alumno no puede por sí mismo.
- Vigilar e ir legitimando el progreso en el aprendizaje, ayudar a autorregular el proceso.
- Utilizar variedad de estrategias de enseñanza y generar variedad de estrategias de aprendizaje.

Ahora bien, si se habla de didáctica de las ciencias en términos de **didáctica reflexiva** (De Longhi, 2000), se debe tener presente que:

- Un mismo proceso de enseñanza puede conducir a diferentes tipos y niveles de aprendizaje.
- Se debe contemplar la multidimensionalidad de las situaciones de clase y donde no todos los elementos son observables.
- Tanto la enseñanza como el aprendizaje son variables dependientes.
- Se mira el sistema clase con las mediaciones cognitivas y sociales que en ella ocurren.
- El aprendizaje que se espera es la comprensión y formación en competencias pero los resultados pueden ser variados.

### **V.1. Aprendizaje significativo y conocimientos previos**

En el contexto del aprendizaje significativo, y atendiendo a las premisas mencionadas en la introducción, surge la necesidad de direccionar el proceso de enseñanza y el aprendizaje hacia un objetivo claro y concreto: lograr que los alumnos no aprendan conceptos y procedimientos como una lista de datos que deben memorizar. Comprender requiere poner en marcha procesos cognitivos más complejos que la mera repetición.

El *aprendizaje significativo* ha dado paso al estudio del cambio conceptual, entendido como el cambio de los conocimientos previos de los alumnos (Pozo Muncio, J. y Gómez Crespo, M., 1998). Es el tipo de aprendizaje mediante el cual

un estudiante relaciona la nueva información con la que ya posee, reajustando y reconstruyendo ambas informaciones en este proceso. Los conocimientos previos son relacionados de modo no arbitrario y sustancial (no al pie de la letra) con lo que el alumno ya sabe. Por relación sustancial y no arbitraria se debe entender que las ideas se relacionan con algún aspecto existente específicamente relevante de la estructura cognoscitiva del alumno, como una imagen, un símbolo ya significativo, un concepto o una proposición.

El aprendizaje significativo no es la "simple conexión" de la información nueva con la ya existente en la estructura cognoscitiva del que aprende, por el contrario, sólo el aprendizaje mecánico es la "simple conexión", arbitraria y no sustantiva; el aprendizaje significativo involucra la modificación y evolución de la nueva información, así como de la estructura cognoscitiva envuelta en el aprendizaje (Ausubel y col.,1983).

A continuación se enuncian algunas sugerencias tendientes a promover este tipo de aprendizaje en clases (Perren, M. 2000):

- Evitar preguntas y actividades que conduzcan a respuestas reproductivas.
- Evaluar al comienzo de los bloques temáticos los conocimientos previos de los alumnos, activando sus ideas y trabajando a partir de ellas.
- Valorar las ideas personales, interpretaciones y/o conceptualizaciones de los estudiantes, por más que se alejen del concepto correcto.
- Utilizar técnicas "indirectas" que hagan notar la inutilidad del aprendizaje por repetición.

Debido a que la construcción del modelo mental de un concepto nuevo para el estudiante, más aún cuando resulta dificultoso encontrar ejemplos perceptibles en el entorno, puede no resultar fácil, es que a menudo se hace necesario la utilización de algún recurso didáctico adecuado.

La *comparación* es una herramienta muy utilizada en el proceso de enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, y tiene como finalidad ayudar al

estudiante a crear un modelo mental inicial que va a servir de base para el aprendizaje futuro.

Como caso particular, las **analogías** constituyen un recurso didáctico basado en comparaciones. Para ello se aprovechan las relaciones entre dos o más objetos o experiencias, apreciando y señalando características generales y particulares, generando razonamientos y conductas basándose en la existencia de las semejanzas entre unos y otros.

Su utilización resulta de interés ya que:

- facilita la visualización de los conceptos teóricos abstractos,
- permite organizar y contextualizar la información, mejorando de esta manera su recuerdo,
- favorece una disposición positiva hacia el aprendizaje,
- permite construir el conocimiento y desarrollar el pensamiento creativo.

Los atributos mencionados promueven el aprendizaje significativo, convirtiendo a la analogía en una herramienta útil que aporta conexiones entre el nuevo conocimiento y el que ya tiene el alumno (Novak, 1990).

Si bien, el objetivo de este trabajo se limita al estudio, utilización y efectividad de las analogías como recursos en la enseñanza, resulta oportuno clarificar diferencias conceptuales entre términos que se utilizan frecuentemente como sinónimos, tales como: **analogías, metáforas y similitudes**.

## V.2. Analogías, metáforas y similitudes.

En los últimos años se destacó la importancia del rol que juegan las **analogías, metáforas y similitudes** en distintos planos del entendimiento humano, como en la producción del conocimiento científico y en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Gallarreta, 2003). El docente suele recurrir a estas y otro tipo de estrategias didácticas, a manera de mediación entre conceptos cotidianos cercanos al conocimiento común de los alumnos y contenidos o procedimientos científicos.

La **metáfora** formula una comparación implícita entre dos objetos o conceptos. La Real Academia Española (2010) la define como:

*“La metáfora es la aplicación de una palabra o de una expresión a un objeto o a un concepto, al cual no denota literalmente, con el fin de sugerir una comparación (con otro objeto o concepto) y facilitar su comprensión; p. ej., el átomo es un sistema solar en miniatura”.*

La **metáfora** es una figura que cambia el sentido de las palabras. Tomadas literalmente son absurdas, falsas: “la química abre una ventana al mundo microscópico”, “un polisacárido es como un tren de carga”, “el mol es la docena del químico”, “los electrones de valencia son el pegamento de los átomos”, “los espectros de emisión de líneas son las huellas digitales de los átomos”, “el monóxido de carbono es el enemigo invisible”, “la familia de hidrocarburos”. Para un especialista químico las palabras “red” (cristalina) o “nube” (electrónica) no tienen la connotación metafórica que tiene para una persona que comienza a estudiar química. (Raviolo, 2009).

Las **analogías** fueron reiteradamente utilizadas por filósofos y técnicos para analizar la naturaleza, desde la antigüedad. En los primeros momentos de la historia de la humanidad la analogía ocupó el lugar que la observación y el experimento ocupan hoy en los métodos de investigación científica.

Duit (1991) la define como *“una comparación de estructuras y/o funciones entre dos dominios: un dominio conocido y un dominio nuevo o parcialmente nuevo de conocimiento”.*

La **analogía** es un intento de modelizar en aras del aprendizaje, por lo que se puede afirmar que está inmersa en el campo de la modelización, es decir, de la elaboración de modelos en el proceso de enseñanza y el aprendizaje en ciencias experimentales. (Gonzalez Gonzalez, 2005).

Por su parte, Zook y Di Vesta (1991) las definen como comparaciones no literales entre dominios de conocimiento superficialmente disímiles, uno más

conocido, llamado *fuentes* (también vehículo, base o ancla) y otro menos conocido, denominado *blanco*.

González González (2005 y 2005b) afirma que las analogías establecen una relación paralela entre dos mundos, explicando la relación y/o similitudes entre ellos. Si bien es muy usual su utilización en la enseñanza para situaciones en las que un concepto o conocimiento no es fácilmente comprendido por el estudiante, su puesta en acción es todo un proceso complejo, ya que su construcción no es tan sencilla e inmediata para el alumno. Ausubel y col. (1986) justifican su utilidad como organizador previo al aprendizaje.

La *Real Academia Española* (2010) define **analogía** como: “relación de semejanza entre cosas distintas” o “razonamiento basado en la existencia de atributos semejantes en seres o cosas diferentes”.

Es innegable que tanto **metáforas** como **analogías** involucran **relaciones** entre dos objetos o conceptos, induciendo a establecer puentes cognitivos entre la nueva información y los conocimientos previos del que aprende.

En cuanto a su sintaxis, por lo general tanto unas como otras suelen construirse con frases que comienzan con: “*esto es como.....*”, “*esto es lo mismo que....*”, “*piensen en esto como.....*”, entre otras.

Curtis y Reigeluth (1984) sugieren considerar algunas recomendaciones para que estas herramientas resulten eficientes:

- deben presentar múltiples correspondencias (estructurales y funcionales)
- deben mostrar un formato mixto (verbal y pictórico)
- se debe utilizar un análogo concreto (bien familiar) para un objetivo abstracto
- deben ser factibles de enriquecerse fácilmente con correspondencias y limitaciones
- el objetivo debe poder admitir más de un análogo

- deben poder emplearse en distintos momentos de la presentación de un tema (organizador previo, activador, sintetizador).

En las analogías no existe una relación jerárquica entre análogo y objetivo, es decir, están en el mismo nivel Raviolo (2009). Este autor cita algunos ejemplos de analogías:

- choques de bolas de billar (para explicar modelo cinético molecular).
- bolitas dentro de una botella (para explicar diferencias entre sólido, líquido o gas)
- auto que tiene subir una montaña (para explicar energía de activación)
- pintor y “despintor” (para explicar equilibrio químico)
- pelea de puños (para explicar teoría de las colisiones de la reacción química)

Por su parte, Gentner y Kurtz (2006) relacionan **analogías** con otras herramientas: las **similitudes**. Estos autores afirman que ambas estrategias están estrechamente relacionadas en el momento del mapeo. Definen a las **similitudes** como *modelos que implican coincidencias generales en todos los niveles*. En ese sentido consideran como **analogía** a los ejemplos que solo muestran conexiones en la estructura relacional, mientras que en las **similitudes** además existen conexiones entre los atributos del ejemplo y del nuevo concepto a aprender.

En la comparación “la leche es como el agua” Gentner (1989) destaca que gran parte de los atributos de la leche pueden aplicarse para el agua, mientras que en una analogía no. Por lo tanto, este es un claro ejemplo de una **similitud**. Lógicamente, esto constituye una limitación en su elección como estrategia, ya que es mucho más complejo seleccionar una similitud que una analogía.

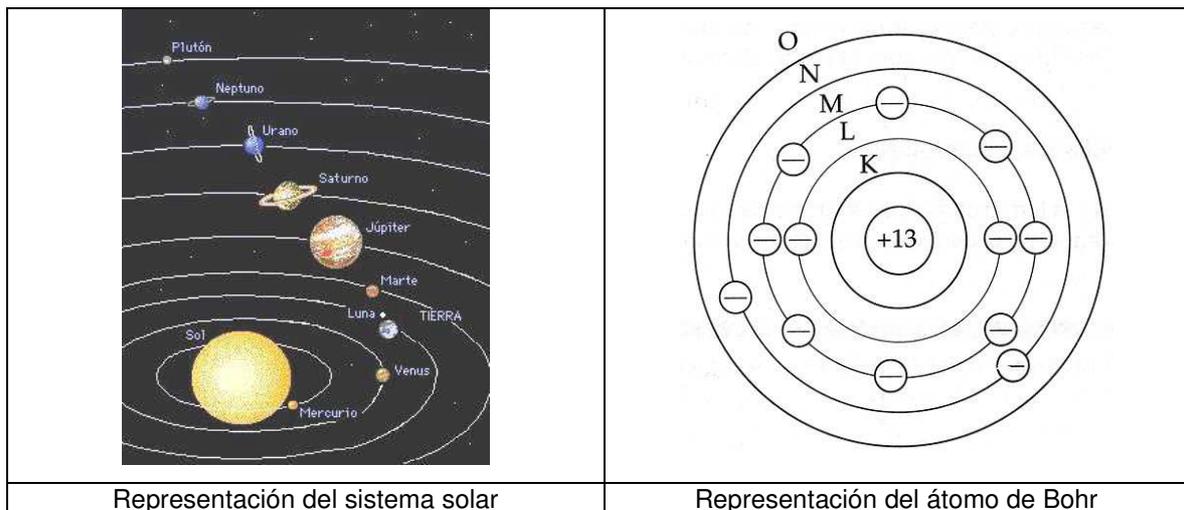
Otro aspecto a considerar son las concepciones erróneas que pueden promover las analogías. Las siguientes son buenas **metáforas** para no olvidar sus limitaciones (Raviolo, 2009):

- “Las analogías son una *espada de doble filo*”
- “El lado oscuro de la analogías”

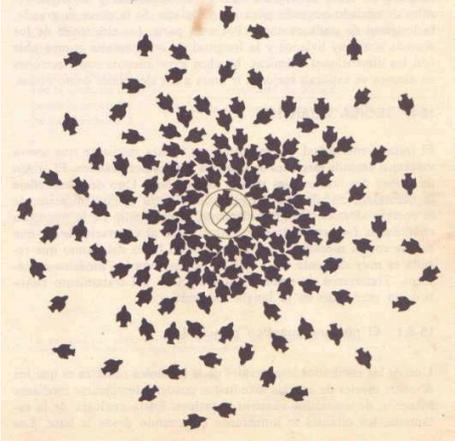
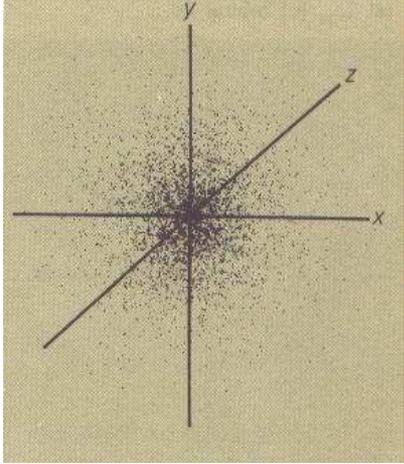
- “Llevar la analogía *demasiado lejos*”
- “Identificar dónde la analogía se *quiebra*”
- “Pueden dar lugar al nacimiento de más *monstruos que bebés saludables*.”

En la actualidad, parece haber consenso entre los docentes en lo apropiado que resulta la exposición ante el alumnado de un conjunto de analogías, incluso ya se ha dado una validación de este hecho mediante entrevistas con los estudiantes (Harrison y De Jong, 2005).

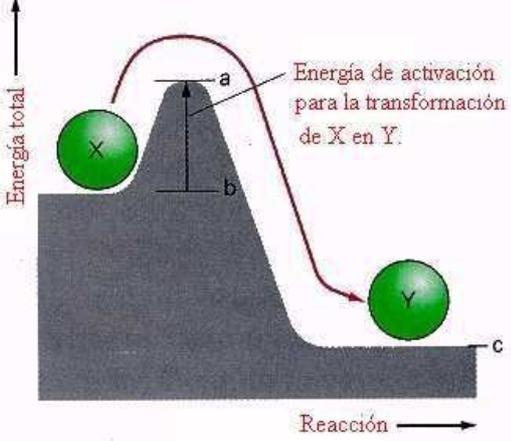
A modo de ejemplo se muestran algunas analogías visuales utilizadas en la enseñanza de la química, en las que, a partir de aspectos macroscópicos, se proponen correspondencias para facilitar la comprensión de aspectos microscópicos relacionados con la estructura o con propiedades de la materia.



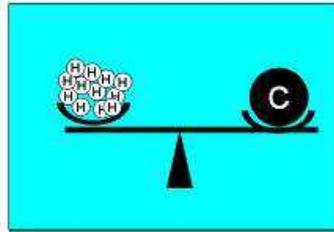
**Figura 1:** Analogía entre el sistema solar y la representación del modelo planetario que Bohr propuso para el átomo

	
<p>Representación de las distintas posiciones de los pájaros alrededor de un comedero</p>	<p>Representación de un orbital atómico según el modelo de Schrödinger (Probabilidad de encontrar el electrón del átomo de H en el nivel 1s)</p>

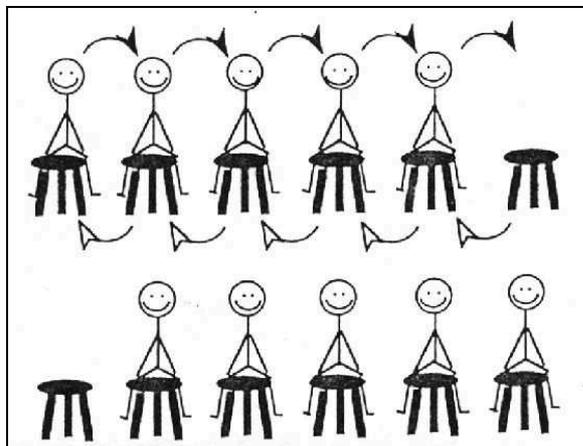
**Figura 2:** Analogía entre un comedero de pájaros y el concepto de orbital s

	
<p>Salto con garrocha del atleta santafesino Germán Chiaraviglio</p>	<p>Representación Energía de Activación</p>

**Figura 3:** Analogía entre un salto con garrocha y el concepto de energía de activación



**Figura 4:** Analogía entre una balanza y la masa atómica del hidrógeno relativa a la masa de un isótopo del carbono



**Figura 5:** Analogía entre el movimiento de alumnos ocupando bancos y el movimiento de electrones en elementos semiconductores

La Figura 6 muestra una analogía algo más compleja que establece conexiones entre los sentidos humanos y los componentes de una computadora.

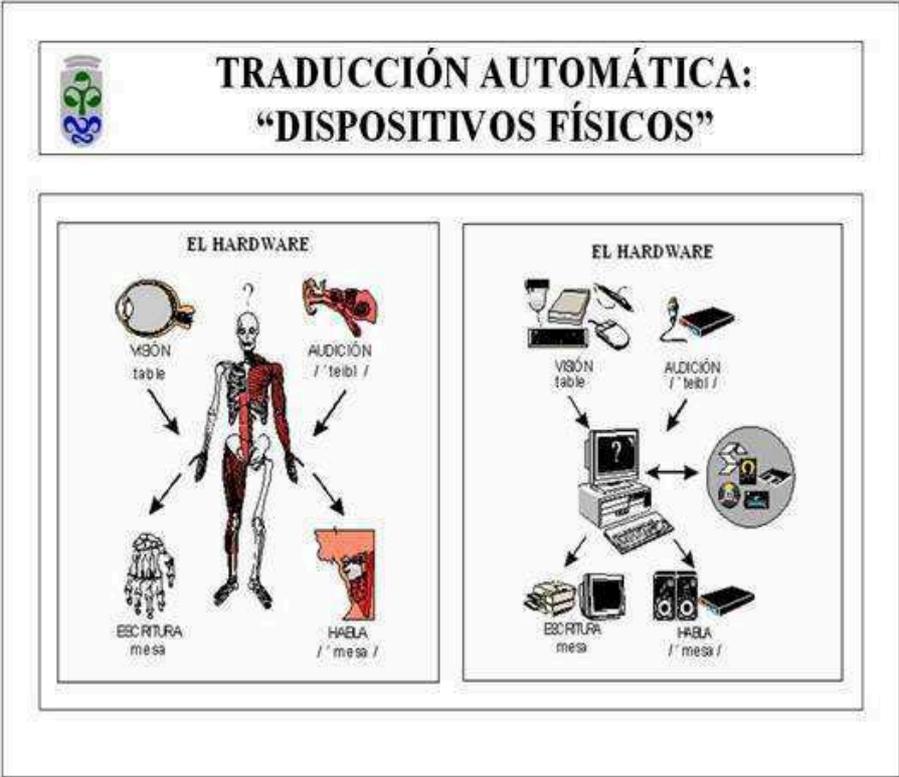


Figura 6: Analogía entre hombre y máquina

### V.3. El enfoque psicológico

Desde los inicios de la Psicología como ciencia independiente, el razonamiento analógico (RA) ha sido objeto de numerosas investigaciones, casi siempre vinculadas al razonamiento inductivo (RI), por lo que en ellas se abordan aspectos transversales a otras disciplinas como la Lógica o la Epistemología.

***Se entiende por RA a una modalidad de razonamiento no deductivo, un proceso mental que tiene lugar cuando se usa la analogía, que consiste en obtener una conclusión a partir de premisas en las que se establece una comparación o analogía entre elementos o conjuntos de elementos distintos. Permite hacer inferencias y construir hipótesis, razón fundamental por la que la analogía se utiliza para facilitar el aprendizaje de las ciencias.*** (González González, 2005).

Dentro de la ciencia cognitiva existe consenso respecto a que el RA puede subdividirse en (al menos) los siguientes subprocesos (Coelho Abrantes, 2003):

- a) RECUPERACION (o selección) de un análogo fuente (entre un número de posibilidades disponibles en una base de conocimientos), dada una representación (parcial) del análogo objetivo;
- b) ESTABLECIMIENTO DE CORRESPONDENCIAS entre las representaciones del análogo fuente recuperado y el análogo objetivo;
- c) TRANSFERENCIA desde el “análogo fuente” al “análogo objetivo” de la estructura y el contenido semántico excedente en el primero.

***El RI supone un proceso de pensamiento cuya conclusión incrementa o aumenta la información contenida en las premisas iniciales.*** (Johnson-Laird y Shafir, 1993).

Un ejemplo de RI es el siguiente conformado por dos premisas y una conclusión, verificándose que *existe un incremento desde las premisas a la conclusión:*

- El oro se funde con el calor (premisa).
- La plata se funde con el calor (premisa).
- Todos los metales se funden con el calor (conclusión).

En la literatura existen diversas opiniones sobre estas formas de pensamiento entre las que se puede reconocer la mencionada por Nickerson y col. (1994) que ubican a ambas formas de razonamiento en *el mismo tipo de procesos intelectuales*. El interés de los investigadores cognitivos se centra en un pensamiento intencionado, resuelto y orientado hacia un objetivo. Se lo considera sinónimo de reflexionar, ponderar, razonar o deliberar.

Estos autores explican que, aunque las analogías muchas veces no demuestran nada, resulta clarificador comparar las habilidades motrices con las del pensamiento, ya que a todas luces ambas se pueden enseñar, practicar y aprender. Si bien es innegable que el potencial intelectual tiene cierta dosis de carácter innato, tampoco se puede afirmar que todas las personas pueden desarrollar el mismo grado de competencia intelectual con sólo darles la misma experiencia de entrenamiento. Se trata de reflexionar sobre el hecho de que es altamente probable que la mayoría de las personas tienen un potencial como para desarrollar habilidades del pensamiento muchísimo más eficaces, y que la disparidad existente entre ese potencial y la parte de él que se realiza es por lo general tan grande que la cuestión de las diferencias de la base genética es, en la mayoría de los casos, de una importancia muy secundaria. Si esta hipótesis es falsa -afirman los autores-, no es demostrable por ahora; en cambio, hay toda una serie de hallazgos alentadores que la apoyan.

La primera idea a destacar reside en el carácter interno de la analogía, como construcción personal que ha de llevar a cabo el que aprende, proceso que no es autónomo ni individual, sino que viene mediado por la interacción con su entorno: profesor, materiales curriculares, compañeros de clase, etc. El profesor puede recurrir a numerosos estímulos externos para inducir y facilitar la analogía, pudiendo utilizar con este fin modelos, imágenes, símiles, metáforas o cualquier otra experiencia que debe mantener coherencia con la acción de enseñar desde la construcción de conocimientos (Oliva, 2004).

Si bien el RI implica una forma muy potente y práctica de generalización, muchas veces puede conducir a resultados erróneos, en los cuales las conclusiones no necesariamente son concordantes con los hechos experimentales.

En el tabla 1 se muestran dos ejemplos más de RI en los que, a pesar de que cada una de las afirmaciones (premisas) utilizadas en el razonamiento es correcta, la conclusión a la que se arriba no lo es.

**Tabla 1:** Ejemplos de RI con conclusiones erróneas

<b>Tipo de ejemplo</b>	<b>Ejemplo químico</b>	<b>Ejemplo de la vida cotidiana</b>
<b>Razonamiento</b>	La molécula de cloro tiene dos átomos y la sustancia es gaseosa en condiciones ambientales La molécula de dióxígeno tiene dos átomos y la sustancia es gaseosa en condiciones ambientales La molécula de hidrógeno tiene dos átomos y la sustancia es gaseosa en condiciones ambientales	Roberto nació en abril y es inteligente Mario nació en abril y es inteligente Alberto nació en abril y es inteligente Laura nació en abril y es inteligente
<b>Conclusión del razonamiento</b>	Todas las moléculas diatómicas corresponden a sustancias que son gaseosas en condiciones ambientales	Todos los nacidos en abril son inteligentes

La conclusión del caso químico es desmentida cuando se comprueba que, por ejemplo, la sustancia dibromo es líquida y la sustancia diyodo es sólida en condiciones ambientales a pesar de que sus moléculas son diatómicas.

En el ejemplo de la vida cotidiana, basta con encontrar una sola persona nacida en abril que no sea inteligente para que la conclusión pierda validez.

Para que el RI sea válido, habría que estudiar cada uno de los elementos incluidos en el conjunto objeto de análisis, como se muestra en el siguiente ejemplo:

*Los elementos naturales que conforman el conjunto de los gases nobles son: helio, neón, argón, kriptón, xenón y radón.*

- *La temperatura de ebullición del helio es de 4,2K*
- *La temperatura de ebullición del neón es de 27,1 K*
- *La temperatura de ebullición del argón es de 87,5K*
- *La temperatura de ebullición del kriptón es de 120,9K*
- *La temperatura de ebullición del xenón es de 165,1K*
- *La temperatura de ebullición del radón es de 211,4K*
- *La temperatura ambiente es de 298K*

**Conclusión:** *Todos los gases nobles tienen temperatura de ebullición inferior a la temperatura ambiente*

Esta conclusión es correcta porque se verificó que la temperatura de ebullición de todos y de cada uno de los componentes del conjunto de gases nobles naturales, cumple con la condición de ser inferior a la temperatura ambiente.

En caso de no conocerse todos los elementos de un conjunto, o que el conjunto tenga infinitos elementos, se debería utilizar un número de premisas lo suficientemente grande como para disminuir las posibilidades de falsación de la conclusión a la que se arribe.

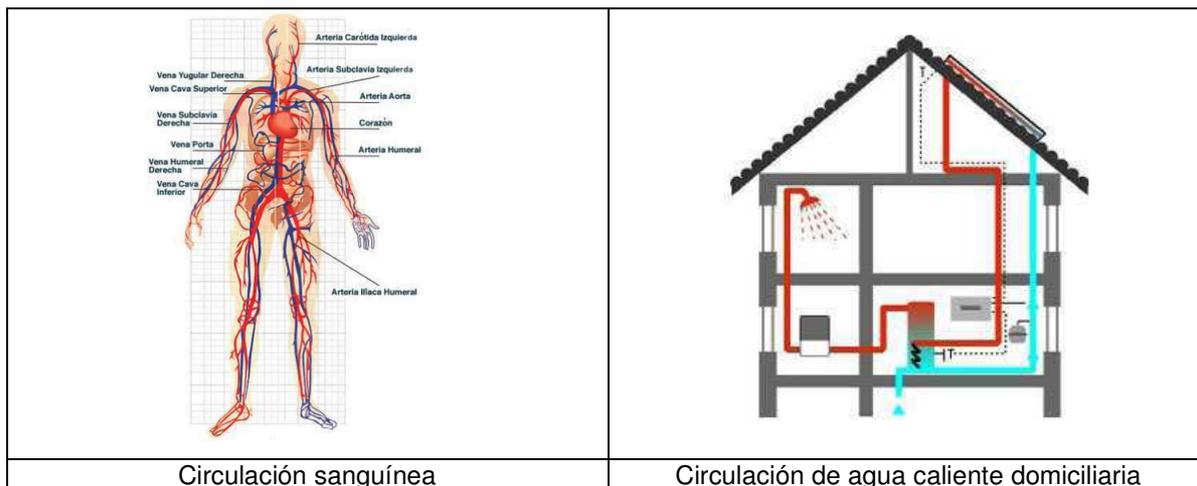
Para Gentner y Loewenstein (2002), el proceso de RA puede descomponerse en varios subprocesos constituyentes básicos dentro de los que el proceso central es el *mapeo*. La *teoría del mapeo (SMT: Structure Mapping Theory)* fue desarrollada por Gentner (1983). En su trabajo definió a la analogía como un proceso mediante el cual un caso o ejemplo es empleado para predecir otro. En esta operación los conocimientos de un dominio (la **base o fuente**), son

utilizados para presentar los de otro (el **blanco o target**) de modo tal que el sistema de relaciones que se mantiene entre los objetos *fuentes*, también se mantiene entre los conceptos objetos del aprendizaje. Esta investigadora resalta en este punto que bajo esta teoría se refuerzan las relaciones entre los objetos y no tanto entre sus atributos o características y agrega que para la comprensión de una analogía debe tenerse presente que cada individuo tiene su propio concepto psicológico, es decir su propia estructura y esto direcciona las representaciones psicológicas de las relaciones entre objetos perceptuales y conceptuales. Como resultado de ello una analogía es el producto del mapeado de estas dos estructuras (Gentner, 1983). Al centrarse en el estudio del mapeado de estructuras, la autora permite diferenciar claramente entre una analogía y otros procesos cognitivos que involucran similitud.

En un escenario de razonamiento típico alguna analogía relevante almacenada a largo término debe estar accesible. De esta manera un análogo familiar debe mapearse frente al *blanco* para poder introducir correspondencias entre los dos. El resultado de este mapeo permitirá luego realizar inferencias analógicas en otros contextos, creando de esta manera un conocimiento nuevo cuyo fin sea completar “lagunas” en la comprensión. Por supuesto que estas inferencias necesitan ser evaluadas y posiblemente adaptadas para que se ajusten a los requerimientos del *blanco*. Como “secuelas” de este tipo de razonamiento el aprendizaje puede resultar en la generación de nuevas categorías y esquemas cognitivos que permitan futuras comprensiones. En otras palabras, el esquema de razonamiento puede resumirse en:

- Recuperación de un caso dado con anterioridad.
- *Mapeo* entre los dos casos en la memoria de trabajo
- Evaluación de la analogía y sus inferencias y en algunos casos abstracción de la estructura de la misma.

En la analogía entre la circulación sanguínea y la circulación de agua en cañerías (Figura 7), en primer lugar los estudiantes pueden alinear lo que saben respecto al bombeo de agua para que fluya por las cañerías para luego relacionar el hecho con el sistema de bombeo del corazón para que la sangre fluya por los vasos sanguíneos.



**Figura 7:** Analogía entre circulación sanguínea y de agua por cañería

Teniendo en cuenta esta correlación entre estructuras, el alumno puede luego hacer inferencias adicionales como: que la presencia de placas en las venas hace trabajar más intensamente al corazón al igual que las tuberías mas estrechas requieren de una bomba más potente.

En Gentner (1982) y Gentner (2003) se recomienda no pasar por alto en la instrucción por analogías las diferencias entre la *fuentes* y el *blanco*. En el ejemplo anterior es importante remarcar que las venas son flexibles, pero la flexibilidad de las cañerías es limitada aunque sean de plástico, de lo contrario los estudiantes pueden pasar por alto los cambios en el salto de una estructura a otra, lo cual podría llevarlos a hacer inferencias incorrectas.

Gallarreta y col. (2009) agregan algunos aspectos relacionados con el aspecto psicológico tales como:

- La ventaja de promover la utilización de **analogías auto-generadas** por los estudiantes. De esta manera se logrará desarrollar la habilidad

de identificar y representar fenómenos científicos de un modo que les resulte útil para poder comprenderlos por sí mismos.

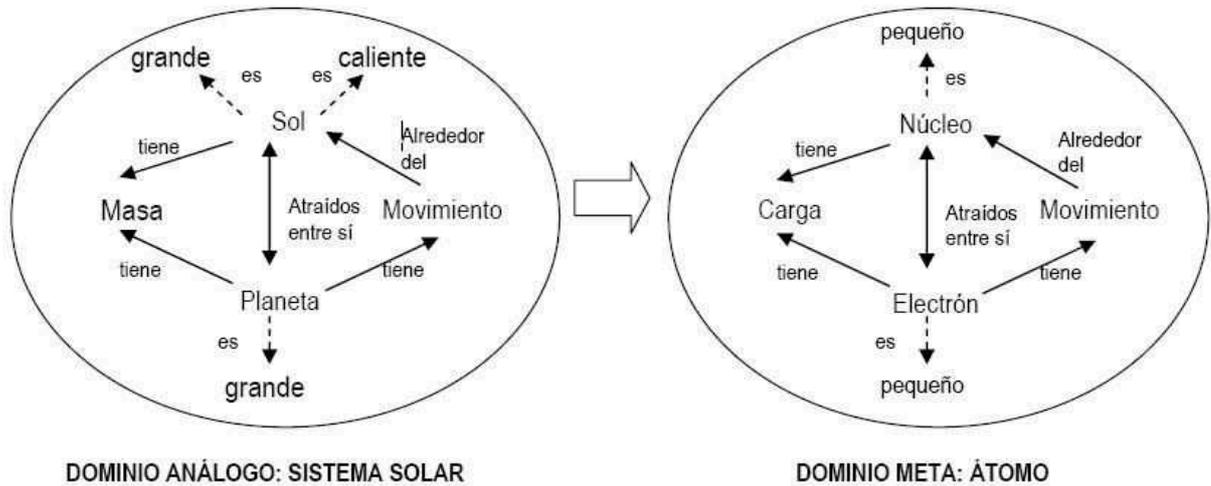
- La promoción del uso autónomo del conocimiento, que conduce a lograr mejores explicaciones de los fenómenos científicos. La enseñanza, por consiguiente, debe capacitarlos para identificar problemas y trabajar con ellos con máximo énfasis en la posibilidad de utilizar su propio conocimiento acerca de un fenómeno particular. Durante este proceso es recomendable solicitar a los alumnos que hagan explícitas las relaciones, semejanzas y diferencias entre la fuente y el blanco, para que de este modo puedan corregir las relaciones incorrectas.

Goodstein y Howe (1978), citados por Furió y col. (2002) realizaron investigaciones con el objeto de conocer algunos conceptos con elevado grado de abstracción. Algunas de ellas abordaban el problema desde un enfoque de la psicología del aprendizaje, poniendo énfasis en las dificultades intrínsecas de comprensión debido a su no-adequación a los niveles piagetianos de desarrollo cognoscitivo de los estudiantes. Estos autores afirman que algunos estudiantes de nivel concreto no pueden aprender conceptos que requieren pensamiento operacional formal avanzado.

Niaz (1987), citado por Furió y col. (2002) afirma que los estudiantes de la escuela media frecuentemente ingresan a la universidad sin haber alcanzado el estadio piagetiano operacional formal. Es en este punto en donde deben entonces planificarse estrategias de enseñanza o modelos concretos para lograr superar este escollo.

Producto de esta naturaleza relacional compleja de la analogía es que sea el sujeto el que, desde su propio punto de vista, tenga que decidir qué relaciones se conservan y cuáles no al pasar de un sistema al otro durante la fase de extrapolación. Además, la transferencia analógica no acabaría con la fase de extrapolación en sí, sino que requeriría una fase posterior de adaptación o acomodación de relaciones al nuevo dominio de conocimientos (González Labra,

1997) citado por Oliva (2004b). Este autor toma como ejemplo de analogías a la del átomo con el sistema solar (Figura 8).



**Figura 8:** Analogía entre el átomo y el sistema solar propuesta por Oliva.  
(Sólo se extrapolan las relaciones representadas mediante líneas continuas)

En este ejemplo Oliva explicita cuales son las relaciones que se extrapolan en líneas continuas y muestra a las que no se extrapolan identificándolas con líneas discontinuas.

El uso de analogías contribuye positivamente a la **negociación didáctica** de los significados que está implícita en toda adquisición de conocimientos.

#### V.4. El enfoque epistemológico

Gómez Moliné y Sanmartí Puig (2002) se interesaron en el reconocimiento de posibles obstáculos epistemológicos para el aprendizaje. La idea de *obstáculo* guarda relación con las representaciones o concepciones alternativas de los alumnos pero fundamentalmente, se considera como tal a la forma de pensar arraigada, a antiguas estructuras tanto conceptuales como metodológicas, que pudieron tener en el pasado cierto valor, pero que en la actualidad se contraponen con el progreso del conocimiento científico.

Es así como se encuentran presentes tanto los obstáculos *del que aprende* como *del que enseña*. En el primer caso pueden distinguirse obstáculos relacionados con:

- La percepción, es decir la prioridad de los sentidos sobre la conceptualización.
- “Lagunas” que provienen de la falta de dominio de conceptos indispensables para la construcción del nuevo conocimiento.
- La forma de relacionar la información que por lo general no corresponden a una sola área del conocimiento y son transdisciplinarias.

En el caso de los obstáculos *del que enseña* las fuentes no son tan obvias y, como consecuencia, su manejo resulta más dificultoso. Por ejemplo, es muy común que el profesor evalúe y explique desde su propia “lógica” sin tener en cuenta la “lógica” de sus alumnos. De allí que la intervención didáctica debería diseñarse a partir del conocimiento de todos estos obstáculos y conducirse bajo un discurso y con la realización de actividades que promuevan la superación de los mismos. Desde esta perspectiva puede afirmarse que *enseñar consiste básicamente en ayudar a los alumnos a superar sus errores que son algo totalmente normal y positivo en el proceso de aprender* (Astolfi, 1999).

Este enfoque renueva el concepto de *obstáculo*, convirtiéndolo en un reto que obliga a los profesores a plantear condiciones y estrategias de enseñanza adecuadas con el fin de superarlo. En este contexto se estudian los resultados de

la *utilización de analogías* con el objetivo de “acercar” el nuevo conocimiento a los estudiantes.

Se pueden identificar varias funciones de las analogías desde la perspectiva epistemológica (Godoy, 2002a), tales como:

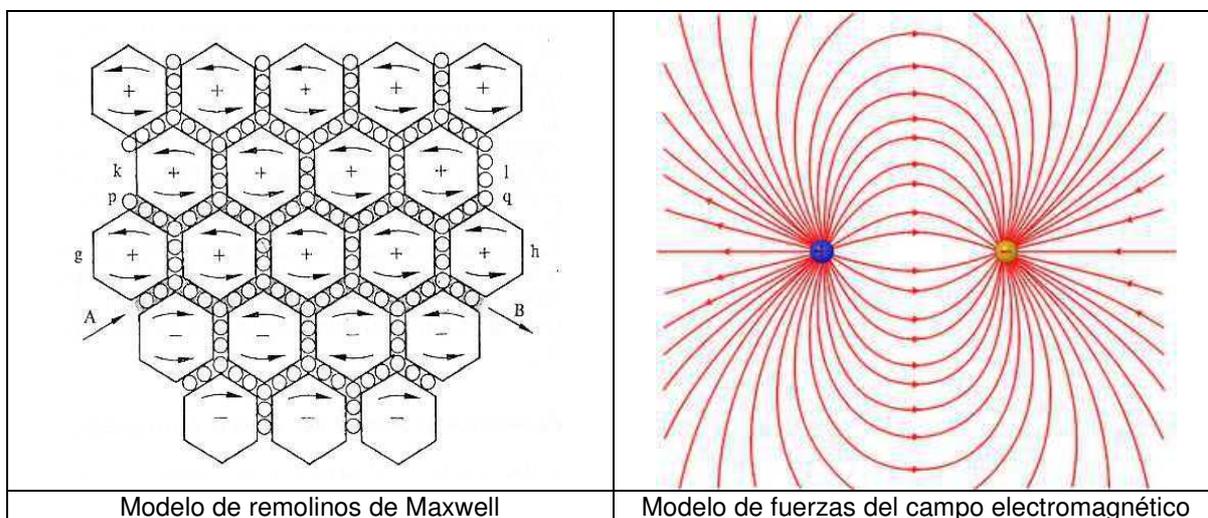
- **Explicación:** la analogía cumple la función de permitir asimilar lo nuevo en términos de cosas conocidas, y evita que las premisas explicatorias nuevas resulten demasiado extrañas.
- **Generalización:** al relacionar cosas diferentes, las analogías sirven de base para el proceso de generalización. Si se establece que varios problemas son análogos, se puede usar el proceso de inducción para extraer conclusiones.
- **Formulación de hipótesis:** esta función es crucial en el contexto del descubrimiento, ya que las analogías pueden ser útiles para hacerse preguntas que de otra manera no habrían surgido.
- **Validación:** esta función tiene que ver con la transferencia de valores reconocidos de una teoría hacia otra de conocimiento incipiente, de manera de validar conceptos en un campo determinado utilizando una transferencia desde otro campo. Por ejemplo, filósofos como Feyerabend (1975) emplearon analogías entre la forma en que los niños aprenden y la forma en que los científicos construyen conocimientos.
- **Predicción:** al dominar un conocimiento dado pueden realizarse predicciones en otro campo similar. Por ejemplo en la física, cuando existen fenómenos similares, se utilizan las mismas ecuaciones que gobiernan uno de ellos.

Acevedo Díaz (2004) investigó sobre el papel de las analogías en el pensamiento creativo de los científicos, aplicado a un caso paradigmático de la historia de las ciencias del siglo XIX, como fue el desarrollo de la teoría del campo

electromagnético de Maxwell, que daría lugar a uno de los grandes pilares de la física clásica: la de los fenómenos ópticos, eléctricos y magnéticos.

Maxwell (1831-1879), en sus investigaciones sobre el electromagnetismo utilizó el método de las *analogías físicas*, exhibiendo en su manejo una marcada flexibilidad de pensamiento que le permitía, a través de imágenes y modelos, lograr elaborar complejos sistemas matemáticos que pudieron más tarde aplicarse a la resolución de otros problemas (Oliva, 2004a).

A mediados del siglo XIX, Maxwell escribía: *“entiendo por analogía física la similitud parcial que existe entre las leyes de una ciencia y las de otras, similitud que permite que cada una ejemplifique a la otra”*. Trabajó su analogía entre electromagnetismo y fluidos en su famoso artículo en cuatro partes «*Sobre las Líneas de Fuerza Físicas*» publicado en 1861. En su modelo de fluidos había remolinos: las líneas de campo magnético estaban representadas por los ejes de los remolinos, y la fuerza magnética estaba relacionada con la presión en los remolinos, tal como se ve en la Figura 9.



**Figura 9:** Analogía entre dos modelos de Maxwell  
(El de remolinos de Maxwell y el del campo electromagnético).

El modelo resultaba bastante complicado pues dos remolinos vecinos tenían que girar en el mismo sentido, lo cual era inconsistente. Entonces Maxwell

tuvo que introducir partículas de contacto rodantes entre ellos. Considerando el movimiento de las partículas de contacto en su modelo, obtuvo las relaciones entre corrientes y campos magnéticos. Esta propuesta también llevó a Maxwell a considerar la luz como un fenómeno electromagnético.

El mecanismo anterior permitió a Maxwell adicionar propiedades al modelo análogo original y realizar inferencias para deducir un conjunto de ecuaciones que rigen la electrodinámica y la relación luz-electromagnetismo. Esto le permitió explicar numerosos fenómenos, algunos de los cuales se enuncian a continuación:

- *El campo magnético producido por una corriente eléctrica:* la corriente es el movimiento de las partículas eléctricas y en tal movimiento cada partícula roza con las paredes del molino magnético contiguo y lo pone en movimiento, este a su vez hace girar las partículas eléctricas vecinas que también hacen girar otros remolinos y el efecto continúa hasta que todo el espacio se llena de remolinos magnéticos en movimiento.
- *La inducción electromagnética:* si se tienen dos cables, separados por dieléctrico, uno con una corriente eléctrica estacionaria, entonces las partículas eléctricas de este se mueven a través rozando con los remolinos magnéticos externos los cuales hacen girar las bolas eléctricas sin trasladarse, debido a la igualdad de velocidades de los remolinos a ambos lados de la esfera eléctrica. Las bolas del otro cable, al igual que las del dieléctrico, giran sin trasladarse.
- *La intensidad magnética:* está representada por la velocidad del remolino en su superficie, su dirección viene dada por el eje del remolino.

Es lógico que de esta analogía también se desprendieran dificultades, tales como la interacción entre la materia y este mecanismo, es decir, si los remolinos tienen masa y oponen resistencia a ser penetrados por bolas eléctricas. Aquí

Maxwell supone que los remolinos son fluidos pero impenetrables por las bolas eléctricas.

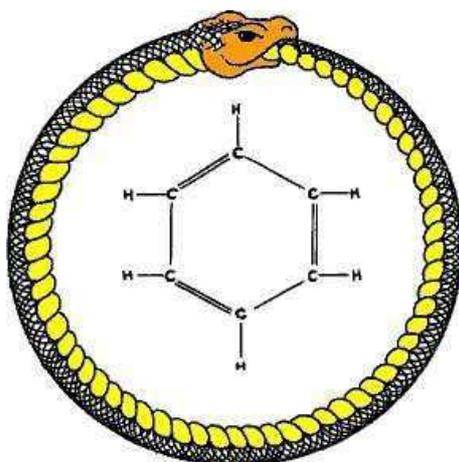
Este caso paradigmático se cita como ejemplo de analogías que se utilizaron para grandes descubrimientos y que fueron pensadas con un fin determinado pero terminaron siendo de utilidad para hallazgos secundarios.

También Faraday, en el año 1859, en su *Experimental Researches in Chemistry and Physics*, recomendaba esta forma de razonamiento analógico y enunciaba:

*“Creo que en la práctica de la ciencia física, la imaginación debería ser ejercitada para presentar la materia investigada desde todos los puntos de vista posibles, e incluso imposibles; para buscar analogías de semejanza y, digámoslo así, de oposición, inversas o contrapuestas [...] No podríamos razonar sobre la electricidad sin concebirla como un fluido, o una vibración, o alguna otra forma o estado.”* (Berkson, 1974 citado por Oliva, 2004).

Aristóteles, en sus investigaciones, partía de la *observación* y sostenía que una explicación científica consistía en lograr DAR RAZON a los hechos y fenómenos, para lo cual identificaba un primer momento en el que sostenía que se pensaba *inductivamente* y un segundo momento, en donde se razonaba *deductivamente*. Es bien conocido en Epistemología de la Ciencia, que tanto Aristóteles como Bacon, entendían por “inducción” a la inferencia de leyes universales a partir de la observación de casos particulares.

Otro caso paradigmático en que las analogías tuvieron un rol importante en la generación de conocimientos fue el razonamiento utilizado por el químico Kekulé para proponer la estructura del benceno, a partir de soñar con una serpiente que se enroscaba y retorció hasta morderse la cola, hecho que le sugirió la idea de que algunos compuestos orgánicos como el benceno no eran estructuras lineales, sino anillos cerrados (Figura 10).



**Figura 10:** Analogía entre una serpiente y la molécula de benceno de Kekulé.

Como ya se mencionó, la inferencia analógica sigue un proceso de proyección de lo conocido a lo desconocido, y este es precisamente uno de los problemas de las analogías, debido a que sus argumentos e inferencias son inductivos por lo que sus conclusiones hacen referencia a fenómenos no observados, cuando las premisas se refieren sólo a fenómenos observables. En otras palabras, las conclusiones de estos argumentos contienen más información que sus premisas. *Estas características son parte de un argumento inductivo.*

El RI, y en consecuencia el RA, han sido ampliamente criticados dentro de la filosofía de la ciencia debido a sus limitaciones (Chalmers, 1984; Popper, 1983).

Chalmers(1984), desarrolló una objeción muy seria a la postura inductivista, basada en el papel desempeñado por la observación. Este autor criticó y se opuso a los dos supuestos que conlleva el inductivismo ingenuo con respecto a la observación: uno es que la ciencia comienza con la observación y el otro es que la observación proporciona una base segura para derivar un conocimiento científico.

Con respecto a su primera crítica argumentó, haciendo referencia al proceso de visión humano, diciendo que no todos los observadores “ven” lo mismo y afirmó “*Lo que un observador ve, depende en parte de su experiencia pasada, su conocimiento y sus expectativas.*” O sea que los observadores que ven la misma escena, pueden interpretar de diferente modo lo que ven.

En cuanto a su segunda crítica sostiene que las teorías precisas, constituyen un requisito previo a algunos enunciados observacionales, y, en este sentido entonces las teorías preceden a la observación. De esta manera entonces, sostiene que los enunciados observacionales no constituyen una base segura para la construcción de leyes científicas.

Es en este punto en donde se encuentra cierta coincidencia con lo que sostiene Popper (1983), quien enunció: *“El éxito de la ciencia no se basa en reglas de inducción, sino que depende de la suerte, el ingenio y las reglas puramente deductivas de la argumentación lógica”*. Y agregó al respecto: *“la inducción, es decir, la inferencia basada en muchas observaciones, es un mito. No es un procedimiento científico”*.

Para este filósofo no existe la posibilidad de que la analogía de la *tabula rasa* pueda ser tomada literalmente y afirma que el sujeto que conoce la realidad no puede "deshacerse" de sus expectativas, prejuicios y concepciones, del mundo físico y social, al entrar en contacto con ella. Es decir, para él no existe la observación "pura", sin sesgos, preconcepciones y/o prejuicios. Según sus consideraciones, la observación siempre estará mediada y basada en un conjunto de ideas y expectativas de las cuales el sujeto no se puede desprender. En otras palabras, para Popper, toda observación estará teñida de teoría, es decir, quien observa la representación de un análogo, lo hace de manera subjetiva, influenciado por sus creencias, conocimientos, teorías previas, etc. Más aún, si con este tipo de razonamiento sólo se alcanzan conclusiones probables, como consecuencia de ello Popper no acepta este tipo de razonamiento, considerándolo a la inducción como un método no válido para la producción de nuevos conocimientos.

Según el razonamiento popperiano, si se toma el siguiente ejemplo de RI:

*A partir de la observación de tres cuervos negros (enunciados singulares), se puede concluir que todos los cuervos son negros (enunciado general).*

La conclusión a la que se arriba no es segura, pues no se han considerado todos los cuervos posibles. Si en lugar de haber visto tres cuervos negros se ven cien, la conclusión se hace *más segura*, pero sigue siendo *igualmente probable*.

Esto es lo que Popper llama el problema de la inducción (“el problema de Hume”), es decir, si está o no justificado lógicamente concluir con certeza una conclusión general a partir de observaciones singulares.

Es en este punto donde Popper no justifica el paso inductivo, afirmando que solo se arriba a **conclusiones probables** y siguiendo ese camino se obtienen también **teorías probables** lo cual no puede considerarse como progreso en el conocimiento. Para que ocurra progreso de conocimiento, Popper afirma que hay que ir descartando teorías, y para refutar teorías se necesita recurrir al razonamiento deductivo, es decir, un razonamiento que, a diferencia de la inducción, tiene una conclusión segura o necesaria.

Algunos ejemplos de razonamiento deductivo se muestran a continuación:

Ejemplo 1:

*Todas las frutas cítricas contienen vitamina C.*

*La piña es una fruta cítrica;*

*Por tanto la piña contiene vitamina C.*

Ejemplo 2:

*Toda figura de cuatro lados es un cuadrilátero.*

*El rectángulo es una figura de cuatro lados.*

*Por lo tanto, el rectángulo es un cuadrilátero.*

En cada caso, para sacar una conclusión por deducción, no es necesario ir a un libro de biología o a uno de matemática, ya que la conclusión deriva de las premisas y por consiguiente la conclusión es necesariamente inferida de las premisas.

Siguiendo con el ejemplo de los cuervos, si se toma como premisa esta hipótesis: "todos los cuervos son negros", y como segunda premisa "este cuervo no es negro" (resultado de una observación), se concluye entonces con seguridad, que es falso que todos los cuervos sean negros, con lo cual la teoría habrá

quedado refutada. A esta concepción del método científico Popper la llamó **Falsacionismo, Refutacionismo o Principio de Falsabilidad**, con lo cual las teorías enunciadas solo pueden aceptarse provisionalmente, hasta que puedan ser refutadas.

Este mismo autor, en su libro *La lógica de la investigación científica* (Popper, 1985), afirmó categóricamente: “... en mi opinión no existe nada que pueda llamarse inducción. Por tanto, será lógicamente inadmisibile la inferencia de teorías a partir de enunciados singulares que estén “verificados por la experiencia” [...] Así pues las teorías no son nunca verificables empíricamente [...] Estas consideraciones nos sugieren que el criterio de demarcación que hemos de adoptar no es el de la verificabilidad, sino el de la falsabilidad de los sistemas”.

En su libro “*Conjeturas y refutaciones*” Popper (1983) agregó además: “*En realidad, la creencia de que podemos comenzar con observaciones puras, sin nada que se parezca a una teoría, es absurda*”.

En la enseñanza de la química se puede recurrir a métodos inductivos, deductivos y metafóricos para presentar problemas que impliquen un aumento de la comprensión de la ciencia y de su metodología o un análisis del grado de validez de las teorías y de las posibles refutaciones a plantear.

La investigación orientada a la mejora en el aprendizaje de conceptualizaciones químicas implica tener en cuenta la compatibilización entre el objetivismo de la ciencia, el subjetivismo de los actores del proceso de investigación y de aprendizaje de la ciencia y el experiencialismo que está asociado a una probabilidad de obtener resultados estadísticamente relevantes.

## V.5. Algunas limitaciones del uso de analogías como estrategia didáctica

Las estrategias se refieren al saber qué hacer y cuándo hacerlo, a qué clase de operaciones mentales se es capaz de aplicar ante diferentes situaciones de aprendizaje (Nickerson y col. 1994 citado por Estevez Nenninger, 1996). Las estrategias del pensamiento son mecanismos a través de los cuales se pueden relacionar los procesos y las estructuras, son heurísticos que dependen de las demandas del tipo de situación y del tipo de tarea; una misma estrategia puede servir a muchas situaciones, todo depende de que el sujeto seleccione uno o varios procesos que sean capaces de aplicar y que también sean los adecuados al tipo de situación y tarea. También se explica de este modo: los buenos pensadores no sólo cuentan con los procesos correctos, también saben cómo combinarlos dando lugar a estrategias útiles para resolver problemas. De hecho, ningún problema puede ser resuelto mediante un solo proceso de pensamiento en forma aislada, por ello debemos aprender a combinar dichos procesos en forma productiva. (Sternberg, 1987).

Como estrategias, las analogías constituyen un recurso útil y frecuente desde el punto de vista del razonamiento ordinario y suelen estar presentes en muchas de las explicaciones que utilizan los profesores de ciencias dentro de sus clases. No obstante, a pesar de lo generalizado de su uso, su utilidad como recurso en el aula ha llegado a ser cuestionada, polarizándose la opinión entre defensores y detractores de esta estrategia didáctica.

En términos generales, para que la utilización de esta estrategia didáctica resulte eficaz, se deben prever eventuales dificultades de los alumnos -como sus conocimientos previos- y recién a partir de ahí diseñar las acciones que puedan contribuir al proceso de aprendizaje. En ese sentido, resulta clave una adecuada selección de la fuente a utilizar para facilitar el aprendizaje del nuevo saber: el *blanco*. Hay que tener presente que para el docente, que es quien le atribuye a la analogía un significado unívoco, tienen una claridad que le permite utilizarlas como modelos de enseñanza, pero para los alumnos, en cambio, cumplen una función

heurística, quedando a su cargo la construcción de las relaciones analógicas correspondientes- el mapeo analógico- y su posterior comprensión, de ambos dominios: fuente y blanco (Gallarreta y col., 2009).

Sin embargo, y si bien resulta innegable su comprobada utilidad didáctica, en algunas oportunidades los alumnos no logran trascender del análogo para ingresar al conocimiento científico puro. En ese sentido, la reflexión de Thagard (1992) cobra vigencia: *"Si las analogías tienen todas esas trampas, ¿por qué usarlas?"*.

El debate entonces no solo debe estar centrado en si son o no útiles las analogías en la enseñanza, sino en cuáles son las condiciones a partir de las cuales estas pueden llegar a resultar fructíferas desde el punto de vista didáctico.

Desde mediados de los ´90 surgió un interés creciente por abordar estudios que evalúen cómo es su utilización en las clases y bajo que supuestos metodológicos se aplican (Oliva y col. 1999, 2001). Sobre este tema pueden encontrarse trabajos como el de Duit (1991) quien demostró que en algunas oportunidades las analogías dejan resultados positivos pero también aparecen otros en los que se constata una aportación limitada de las mismas, e incluso, en algunos casos se detectaron dificultades o peligros que pueden surgir por su uso.

Oliva y col. (2001) y Oliva (2004b) afirman que el mal uso de las analogías puede deberse a que:

- El proceso de selección de situaciones análogas resulta habitualmente poco crítico y escasamente cuidadoso. A veces las analogías que se utilizan son confusas y, en ocasiones, resultan tan complejas o más que el propio objeto que se quiere ilustrar.
- La mayoría de las analogías se presentan bajo un enfoque transmisivo que está muy lejos de un aprendizaje concebido como proceso de construcción.
- Una vez que se introduce la analogía se fomenta escasamente su uso y raras veces se explota más de un punto de similitud entre el objeto y el análogo

- No suele recurrirse a varios análogos para ilustrar el significado físico que encierra un mismo objeto, es decir, no se desarrollan varias analogías para explicar un mismo fenómeno.
- No suelen proponerse límites de validez a las analogías a las que se alude, lo cual contribuye a que el alumno las adopte “al pie de la letra” y las lleve más lejos de lo deseado.

En ese sentido, Oliva y col. (2001) sugieren algunos  ***criterios a tener en cuenta para la selección de analogías:***

- El análogo debe ser más accesible que el objeto. No sería útil, por ejemplo, representar al aparato digestivo con un circuito eléctrico, puesto que este último sistema puede llegar a ser más complejo que el que se desea abordar.
- La analogía debe ser concreta, posible de ser presentada con una imagen u objeto como recursos visuales. Reiner y Gilbert (2000) fundamentan en su trabajo el papel de las imágenes en la formación de modelos mentales.
- El análogo empleado debe simplificarse en lo posible, caso contrario se llegaría a una situación tanto o más compleja que la que se quiere aclarar. De hecho, ningún modelo elegido podrá representar de forma completa al nuevo conocimiento. Heywood y Parker (1997) sugieren utilizar esta ocasión para invitar a los alumnos a presentar nuevas analogías para el concepto nuevo, fomentando así su espíritu crítico.
- La semejanza entre el objeto y el análogo no deber ser ni demasiado grande ni demasiado pequeña. En el primer caso se corre el riesgo de que al ser tan evidente, no resulte estimulante (Duit, 1991) y si los análogos son muy diferentes pueden surgir dificultades para encontrar las relaciones entre ambos.

Oliva (2006) considera además que: “*es conveniente que el profesorado someta a crítica constructiva las analogías que los estudiantes construyen, alentándolos en caso de ser fructíferas o reorientándolos en caso de que puedan ser conflictivas*”.

Gentner (1982) recomienda ser cuidadoso al proponer analogías que consigan buenas predicciones, ya que malas analogías pueden falsarlas. Es posible que buenas analogías conduzcan a malos resultados y, por el contrario, que analogías incorrectas resulten provechosas.

Al respecto, Oliva y col. (2001) enuncian que cualquier secuencia de aprendizaje mediante analogías debería incluir tres etapas:

Etapa 1: génesis de la analogía propiamente dicha, abarcando la delimitación del objetivo y del análogo y el establecimiento de relaciones entre ambos.

Etapa 2: aplicación de la analogía para obtener conclusiones que permitan conocer mejor el análogo y el objetivo, e incluso poder llegar a realizar predicciones.

Etapa 3: establecimiento de diferencias entre el objetivo y el análogo y de las limitaciones de la analogía.

Glynn (1995) propuso otra secuencia, algo más completa, que consta de 6 pasos, como parte de las bases del modelo que denominó *Teaching with analogies (TWA)*:

Paso 1: introducir el concepto “objetivo”.

Paso 2: recordar el concepto análogo para activarlo.

Paso 3: identificar características relevantes de análogo y objetivo.

Paso 4: establecer las similitudes entre ambos.

Paso 5: identificar las limitaciones de la analogía.

Paso 6: Sacar conclusiones.

Al respecto, este autor menciona que el orden de los pasos puede ser alterado, pero sugiere no omitir ninguno dado que esto puede derivar en malas interpretaciones del concepto a enseñar.

Como resultado de su investigación Gentner y Loewenstein (2002) revelaron que las analogías a menudo fallan en su posterior transferencia porque las personas suelen fracasar en la recuperación de los análogos útiles. Una explicación de este fracaso es que se suelen codificar los casos en una situación específica, de modo que más tarde se producen recuperaciones sólo para casos muy similares a ellos. Es habitual que los expertos en un dominio -los docentes- puedan recuperar ejemplos de estructura similar, pero también es muy común que los ejemplos de análogos que se recuperan son relacionables solo superficialmente. Estos investigadores recomiendan al docente asegurarse, durante el mapeo analógico, momento en que el dominio base se entiende, que sus correspondencias con la fuente son claras y que las diferencias en la extrapolación pueden conducir a inferencias incorrectas.

En síntesis, y atendiendo a las ventajas y limitaciones de la utilización de estas estrategias en la enseñanza, Raviolo y Garritz (2007) sugieren considerar una guía o decálogo para que las mismas resulten efectivas:

1. Contar con un repertorio de analogías para el tema. Prevenir que se va a presentar solo una.
2. Asegurarse que el análogo sea conocido. Indagar las concepciones sobre el análogo. También se aprende sobre el análogo.
3. Destacar las similitudes entre ambos dominios (análogo y objetivo).
4. Presentar más de una analogía con el mismo objetivo, que partan de distintos análogos para un mismo aspecto o concepto abstracto. Asegurarse de que las analogías provean una buena visualización de lo abstracto.
5. Establecer claramente los límites de la analogía o atributos no compartidos.
6. Recalcar la relación simétrica entre análogo y objetivo. También usar el objetivo para recrear el análogo.
7. Corroborar que se hayan retenido no solo los aspectos más superficiales de la analogía, sino los más profundos con mayor potencial de inferencia.
8. Evaluar la eficacia de la analogía y la posible permanencia o generación de concepciones alternativas asociadas a su introducción.

9. Solicitar que los propios alumnos elaboren analogías y las expliquen. Aprovechar el interés generado por el potencial motivador de las analogías.

10. Promover la reflexión metacognitiva: ser conscientes de que se ha empleado una analogía como estrategia cognitiva.

Atendiendo a todas estas sugerencias, puede considerarse que estas estrategias, bien utilizadas, pueden llegar a facilitar el aprendizaje de nuevos conocimientos a partir de algo familiar, constituyendo muchas veces un elemento clave en la construcción de modelos que acerquen “la ciencia de los científicos” al ámbito educativo. Al respecto, Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001) afirman: *“El modelo cognitivo de ciencia escolar considera a la analogía como uno de los instrumentos privilegiados para la construcción de modelos teóricos escolares. Esto supone dotar al lenguaje científico escolar de suficiente profundidad y versatilidad como para poder comunicar con él significados relevantes sobre el mundo natural”*.

## V.6.Dificultades para el aprendizaje del concepto Reactivo Limitante

Estudios como los de Montagut y col. (2009) y los de Gauchon y Méheut (2007) demostraron que alumnos de la escuela media y de primer año de la universidad, presentan grandes dificultades para comprender el concepto de REACTIVO LIMITANTE (RL) y en consecuencia no pueden transponer este concepto a otros de mayor complejidad que requieren de un manejo adecuado del mismo. Es sabido que en muchas oportunidades, en ciencias, el énfasis se centra en la resolución de ejercicios, en los aspectos cuantitativos del aprendizaje a expensas del razonamiento cualitativo; se privilegian los resultados de los cálculos sobre la comprensión de los conceptos

Este es el punto en donde surge la duda sobre si los alumnos interpretaron correctamente lo que ocurrió en una reacción química, si son capaces de relacionar la ecuación química con el nivel microscópico y también si advierten que, en todas las ecuaciones químicas que han usado, escriben las cantidades de lo que reacciona y lo que se produce preferentemente como conjunto más sencillo posible de números enteros. Al momento de preguntarles, se obtienen respuestas que son repeticiones más o menos textuales de conceptos vertidos por docentes, libros o apuntes. (Perren y col., 2004).

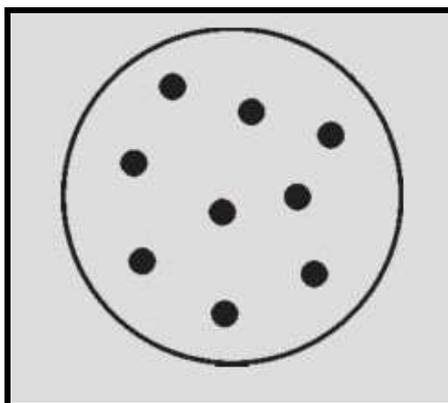
En su investigación, Nakhleh M. B. y Mitchell, R. (1993) notaron que en todos los niveles del primer año de Química (tanto remediales como de grado) los alumnos mostraban mayor dificultad en su habilidad de conceptualización comparado con resoluciones de ejercicios de tipo algorítmicas. Los resultados mostraron que los estudiantes son más adeptos a las resoluciones mediante ecuaciones algebraicas. Esto dejó en evidencia que la comprensión del concepto muchas veces no está ligada con la correcta resolución del ejercicio. Para su estudio, los investigadores seleccionaron diferentes tipos de problemas: a) problemas conceptuales, con la utilización de representaciones de partículas, b) problemas tradicionales, con resolución tipo matemática-algorítmica y c) problemas mixtos. El 85 % de los alumnos tuvieron éxito en la resolución de tipo algorítmica, fueron capaces de manipular ecuaciones, pero concluyeron que la

enseñanza basada en resoluciones algorítmicas no necesariamente conduce a un aprendizaje conceptual significativo. Es muy habitual que, aún los docentes experimentados, confundan esta situación asumiendo que el aprendizaje resultó significativo.

También Nurrenbern y Pickering (1987) demostraron que los estudiantes que pueden resolver ejercicios del tipo matemático-algorítmicos, a menudo tienen dificultad para resolver problemas conceptuales del mismo tema. Según los resultados de su investigación, aproximadamente dos tercios de los alumnos no entienden un atributo crítico dentro del tema "Gases" -esto es que ocupan el volumen completo del recipiente- pero si pueden resolver ejercicios siguiendo un esquema conocido.

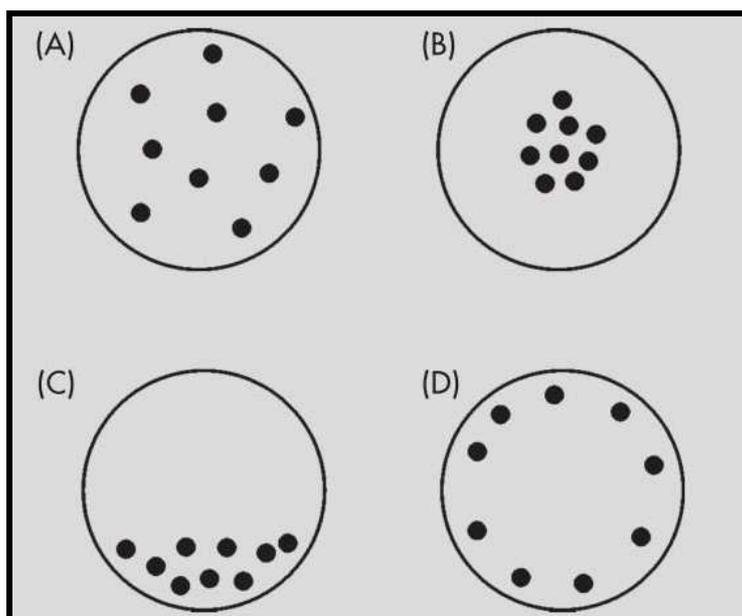
Con estos antecedentes Perren, M. y col. (2004) realizaron una prueba oral con algunos alumnos presentándoles en una primera etapa un problema habitual: dihidrógeno gas en un recipiente a volumen constante a una determinada temperatura y presión. En segundo lugar se les pidió que hallaran la presión a una temperatura menor, aclarándoles que el dihidrógeno seguía como gas. A los alumnos que resolvieron bien el cálculo se les hizo notar qué había pasado con la presión.

Seguidamente, se les presentó el mismo problema de carácter conceptual, ideado por Nurrenbern y Pickering. El esquema del problema era el que muestran las figuras 11 y 12, donde las moléculas se representaban como ● y el recipiente rígido como un círculo.



**Figura 11:** Representación del estado inicial del gas dihidrógeno.

En el problema se les solicitó que seleccionaran la respuesta que mejor representara la distribución de moléculas de dihidrógeno a menor temperatura dentro de los cuatro diagramas representados en la figura 12:



**Figura 12:** Representación de los estados posibles al cambiar la temperatura del gas.

Sorprendentemente la respuesta B estuvo bastante extendida para el gas a menor temperatura. El argumento más frecuente fue que, cuando la temperatura disminuye, las moléculas se acercan más, y al estar en el centro, chocan menos contra las paredes del recipiente, ejerciendo en consecuencia, menor presión. Este hecho se había evidenciado a través de la resolución matemática del

problema. Ello no indica que llegar a un algoritmo para resolver un problema sea malo, siempre y cuando se haya efectuado el razonamiento adecuado para su aplicación. El estudiante debe ser capaz de decidir que procedimiento o algoritmo aplicar, modificarlo, crear uno nuevo, y para esto es necesario haber previamente entendido los conceptos básicos.

Como concepto clave dentro de la Unidad Temática: *Reacciones Químicas y Estequiometría*, el RL se puede definir como ***el reactivo que se encuentra en menor proporción que la que señala la proporción estequiométrica, de tal forma que, cuando este reactivo se acaba, la reacción se detiene y con esto limita o controla la cantidad máxima de producto que se puede obtener.***

El aprendizaje de este concepto resulta fundamental para el análisis del rendimiento de una reacción química, por lo que configura un tema muy relevante como contenido en una primera asignatura química de nivel universitario.

Los cálculos estequiométricos representan la única forma de predecir las cantidades de materia que participan, cambian y se generan durante una reacción química. Es usual que para la enseñanza de este contenido, el docente proponga cálculos basados en la aplicación de factores unitarios aunque algunos alumnos prefieren utilizar la regla de tres simple con este mismo fin.

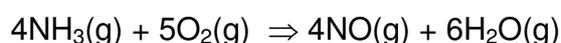
Los errores más comunes cometidos por los alumnos en la aplicación de estos conocimientos son:

- Al escribir la ecuación química olvidan colocar los coeficientes estequiométricos para respetar el balance de masas entre reactivos y productos.
- Al escribir la ecuación consideran que los reactivos se convierten totalmente a final de la reacción, sin tener en cuenta la estequiometría.
- Confunden los coeficientes estequiométricos con las cantidades iniciales.
- Confunden mol con masa.
- Consideran que el RL es aquel que presenta el coeficiente estequiométrico menor.
- Seleccionan como RL a aquel cuya masa reaccionante es menor.

- Calculan la masa de producto con el reactivo en exceso.
- Utilizan concentración o volumen en lugar de masa para los cálculos.

A continuación se transcribe un ejemplo de cómo se explican y desarrollan los problemas en un texto de Química para alumnos de primer año universitario (Ocampo y col., 2009). (*Se seleccionó esta bibliografía por ser el material con el que los alumnos trabajan para la asignatura*).

**Consigna 1:** Calcular la cantidad de amoníaco y dióxígeno necesarios para preparar 3,0 gramos de óxido de nitrógeno (II) según la siguiente reacción:



(el número de átomos debe ser el mismo en ambos lados de la ecuación química)

**Solución:**

Para los reactivos:  $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g})$ , la masa total resulta:

$$4 \text{ mol} \times 17 \text{ g/mol} + 5 \text{ mol} \times 32 \text{ g/mol} = 228 \text{ g}$$

Si los reactivos *se mezclan en cantidades estequiométricas y reaccionan totalmente*, es decir se convierten totalmente en los productos  $4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ , la masa total deberá mantenerse, esto es, la masa de productos será:  $4 \text{ mol} \times 30 \text{ g/mol} + 6 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} = 228 \text{ g}$ .

En la vida real, suelen mezclarse reactivos en *cantidades no estequiométricas* por lo que habrá al menos un reactivo que se consumirá totalmente (llamado RL) y al menos un reactivo que no se consumirá totalmente. El *RL* determina la cantidad de producto que se puede obtener.

Una situación aún más compleja es aquella en que los reactivos, en cantidades estequiométricas o no, no reaccionan totalmente (los reactivos nunca desaparecen).

La siguiente expresión es utilizada normalmente en los cálculos estequiométricos comunes (en los casos en que los reactivos se convierten totalmente en productos):

$$\text{Cantidad de sustancia incógnita} = \text{cantidad de sustancia dato} \times \text{factor}$$

Para el caso de la consigna 1 resulta:

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de amoníaco} &= \text{cantidad de NO} \times (\text{cantidad de NH}_3 / \text{cantidad de NO}) \\ &= 3,0 \text{ g de NO} \times (68 \text{ g de NH}_3 / 120 \text{ g de NO}) = 1,7 \text{ g de NH}_3 \end{aligned}$$

De manera análoga, la cantidad de dióxigeno necesario será:

$$\text{Cantidad de dióxigeno} = 3,0 \text{ g de NO} \times (160 \text{ g de O}_2 / 120 \text{ g de NO}) = 4,0 \text{ g de O}_2$$

En consecuencia, para obtener 3,0 g de óxido de nitrógeno (II) serán necesarios 1,7 g de amoníaco y 4,0 g de dióxigeno.

**Consigna 2:** Si para el caso anterior se dispone de 20 g de amoníaco y 45 g de dióxigeno. ¿Cuánto óxido de nitrógeno (II) se obtendrá?

**Solución:**

Cuando se presenta este tipo de situación, lo primero que hay que determinar es si las cantidades de reactivos disponibles son estequiométricas. De no ser así, uno de los reactivos estará en exceso y el otro será el *RL*.

Esto se debe averiguar antes de hacer cualquier tipo de cálculo de cantidades de productos, porque de lo contrario, si se elige al azar una de las dos cantidades de reactivos para el cálculo de la cantidad de un producto, se puede llegar a un resultado erróneo. El camino correcto consiste en averiguar cuál es el reactivo limitante y luego con éste hacer los cálculos de cantidades de productos.

### **Cálculo del RL:**

Generalmente, para reconocer cuál es el RL, se calcula la “supuesta” cantidad de producto a obtener a partir de ambas cantidades de los reactivos dados como dato, esto es:

$$\text{Cantidad de NO} = 20 \text{ g de NH}_3 \times (120 \text{ g de NO} / 68 \text{ g de NH}_3) = \mathbf{35 \text{ g}}$$

$$\text{Cantidad de NO} = 45 \text{ g de O}_2 \times (120 \text{ g de NO} / 160 \text{ g de O}_2) = \mathbf{33 \text{ g}}$$

De estas dos cantidades, *la menor corresponde a la calculada sobre la base del RL*, es decir que no se puede obtener más cantidad de producto que la permitida por este reactivo. Entonces el *RL* en este caso es el dióxígeno y la cantidad de producto obtenido es **33 g** de óxido de nitrógeno (II).

El otro reactivo (amoníaco), quedará en exceso al finalizar la reacción.

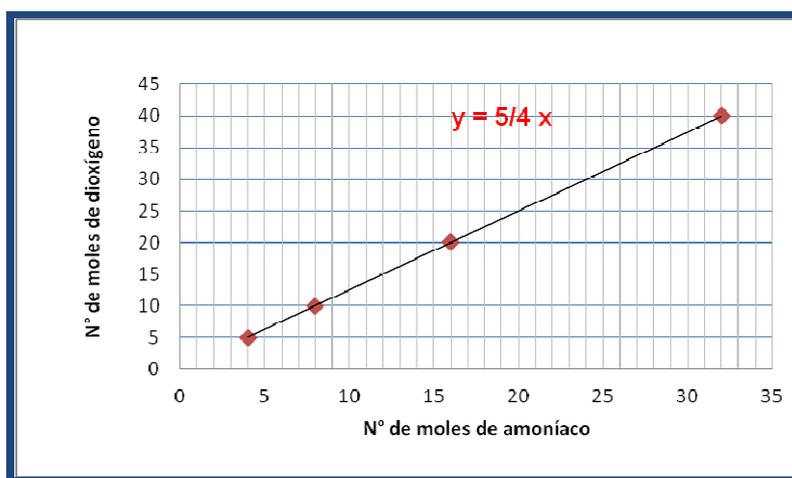
Las dificultades más relevantes que los estudiantes muestran durante el aprendizaje de este tema pueden resumirse en los siguientes aspectos:

- El resultado de una reacción no puede reducirse a considerar los productos de la misma sino también los reactivos que quedaron sin reaccionar. *Este aspecto fue considerado en el diseño del experimento.*
- No es lo mismo considerar la estequiometría en una reacción irreversible que en una reversible. Para trabajar este aspecto se requiere previamente el desarrollo de otro tema de la química (equilibrio químico) por lo que *no será considerado en el diseño del experimento.*

Otra herramienta poderosa que no suele utilizarse a menudo en las clases de enseñanza de la estequiometría, es la *proporcionalidad*. Así, para el ejemplo descrito, podría resultar de gran utilidad la elaboración de una tabla y su gráfica respectiva con la relación de moles de los reactivos tal como se muestra en la tabla 2 y la figura 13 (aplicados al mismo ejemplo de la reacción entre el NH<sub>3</sub> y el O<sub>2</sub>):

**Tabla 2:** Relación entre los números de moles de los reactivos

N° de moles de amoníaco	N° de moles de dióxígeno
4	5
8	10
16	20
32	40



**Figura 13:** Relación entre los números de moles de dióxígeno y de amoníaco.

Tanto la tabla como el gráfico pueden resultar de utilidad para discutir además el concepto de proporcionalidad entre las masas de los reactivos. En ese sentido, pueden formularse preguntas como parte de las actividades de clase trabajando con estas herramientas en forma simultánea con la ecuación química. Por ejemplo, pueden darse como datos cantidades de los dos reactivos, y con el uso de la tabla o de la gráfica, se les puede pedir que predigan cuál será el RL.

De lo expuesto se desprende que las estrategias didácticas a utilizar para lograr el aprendizaje significativo de este u otros conceptos, pueden ser múltiples y variadas, y no necesariamente reproducibles para todos los grupos de alumnos, por lo cual, el docente es quien deberá indagar y decidir cuál de ellas será la más eficiente según cada situación.

## VI. Objetivos e hipótesis

### Objetivo general:

Indagar sobre la utilización de la analogía como estrategia didáctica en la enseñanza del concepto de reactivo limitante y la recuperación de análogos útiles en contenidos de mayor complejidad.

### Objetivos específicos:

1. Indagar sobre las implicancias psicológicas y epistemológicas del uso de analogías en los procesos de enseñanza y aprendizaje.
2. Propiciar el intercambio de ideas y el aporte de opiniones entre los diferentes actores del proceso didáctico.
3. Utilizar el razonamiento analógico para la construcción del concepto de reactivo limitante.
4. Registrar y discutir las analogías autogeneradas por los estudiantes y la recuperación de análogos útiles en contenidos de mayor complejidad.
5. Verificar la asociación de las variables en estudio mediante la utilización de pruebas estadísticas adecuadas.

### Hipótesis

Se plantea como hipótesis de la investigación la siguiente:

*La estrategia de uso de analogías puede contribuir a superar las dificultades que los alumnos presentan en la comprensión del concepto de reactivo limitante y su aplicación en casos de distinta complejidad.*

## VII. Diseño experimental

### VII.1. Características del diseño experimental

La investigación se diseñó desde un marco conceptual concordante con el **paradigma interpretativo** (Colás Bravo, 1990). Este paradigma, a diferencia del positivista, trata de comprender la realidad circundante en su carácter específico, develando por qué un fenómeno ha llegado a ser así y no de otro modo y focalizando su atención en la descripción de lo individual, lo distintivo, la existencia de realidades múltiples.

Según Patton (citado por Merino, 1995), algunas características del paradigma interpretativo son las siguientes:

- La realidad social está construida sobre los marcos de referencia de los actores. El investigador tiene contacto directo con la gente o la situación estudiada.
- No pretende hacer generalizaciones ni establecer leyes a partir de los hechos estudiados.
- La función principal es interpretar las conductas verbales y físicas de las personas estudiadas.
- Estudia las situaciones ubicándolas en el mundo real, tal y como se desenvuelven naturalmente.
- El diseño es flexible dado que a medida que se profundiza la comprensión o cambian las situaciones; se da respuesta a las situaciones emergentes.

Desde esta perspectiva, la finalidad de esta investigación solo se limitó a comprender un fenómeno educativo, a través del análisis de las percepciones e interpretaciones de los sujetos que intervinieron en la acción educativa, lo cual a la vez la convierte en una investigación **cualitativa y correlacional**.

Se optó por un esquema **cuasiexperimental con postprueba**. (Sampieri y col., 2001). El ensayo se realizó con un solo grupo.

El método seleccionado permitió efectuar un diagnóstico correlacional y cualitativo, conciliando ambas tendencias, lo que se da en llamar triangulación metodológica.

Cataldi y Lage (2004) denominan *triangulación* a la combinación metodológica para el estudio de un mismo fenómeno. Esta forma de trabajo permite la superación de los sesgos debidos a una sola metodología. Consiste en la combinación e integración en una misma investigación de observaciones, perspectivas teóricas, fuentes de datos y metodologías variadas a fin de lograr convergencia metodológica, método múltiple y/o validación convergente.

En cuanto a las variables de estudio, son propiedades o características observables en un objeto de estudio, que pueden adoptar o adquirir diversos valores y son susceptibles de medirse. Como su nombre lo indica, es una característica de la población que se quiere observar a través de una muestra, por ello puede tomar diferentes valores. Dichos valores son numéricos para variables cuantitativas y no numéricos para variables cualitativas.

Una misma variable puede presentar uno o más indicadores, correspondiéndole al investigador proceder con sumo cuidado en la identificación de éste o éstos, ya que constituyen elementos que están directamente vinculados con la hipótesis.

Un indicador se define como una medición cuantitativa de variables o condiciones determinadas, a través de los cuales es posible entender o explicar una realidad o un fenómeno en particular.

Para clarificar la relación entre **objetivos, variables, indicadores y valores**, en la Tabla 3 se explicita la matriz de datos correspondiente a esta investigación.

**Tabla 3:** Matriz de datos del experimento

<b>Variable (relacionada con objetivos)</b>	<b>Subvariable</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valores</b>
Implicaciones psicológicas	Comprensión del RA	Nro. de alumnos que comprendieron el RA	% de alumnos que comprendieron el RA
Implicaciones epistemológicas	Comprensión de la importancia de la observación en la ciencia química	Nro. de alumnos que comprendieron la importancia de la observación	% de alumnos que comprendieron la importancia de la observación
Intercambio de ideas	Entre docente y alumnos	Existencia del intercambio	SI/NO
	Entre alumnos	Existencia del intercambio	SI/NO
	Entre docentes	Existencia del intercambio	SI/NO
Aporte de opiniones	Entre docente y alumnos	Existencia del aporte	SI/NO
	Entre alumnos	Existencia del aporte	SI/NO
	Entre docentes	Existencia del aporte	SI/NO
Uso del razonamiento analógico	Por parte de los alumnos	Nro. de alumnos que utilizaron analogías	% de alumnos que las utilizaron
Analogías autogeneradas	En la construcción del concepto de RL	Nro. de alumnos que utilizaron analogías	% de alumnos que las autogeneraron
		Recupera la analogía	% de alumnos
	En la recuperación para aplicaciones de mayor complejidad	Resuelve bien el ejercicio	% de alumnos
		Rango de nota de cada alumno	% de alumnos en cada rango: Sin nota: resolución incorrecta 70: resolución básica 80: resolución más elaborada 100: resolución muy elaborada
		Promoción del alumno	% de alumnos que promocionaron
Pruebas estadísticas	Asociación de variables en estudio	Recuperación de analogía y resolución de ejercicio	Frecuencia esperada estadísticamente
	Análisis de significancia estadística	Recuperación de la analogía y promoción de la asignatura	Frecuencia esperada estadísticamente
		Análisis de la existencia de asociación estadísticamente significativa de las variables estudiadas	Resultados del Test de Fisher

*\*Para todos los casos, se entrevistó a la totalidad de los alumnos.*

## VII.2. Validación interna y externa del experimento

A los efectos de lograr que los resultados de la investigación sean válidos y no presenten ambigüedad o explicaciones erróneas, es decir, que lo observado sea solo resultado de la manipulación de la variable independiente, se evitaron algunas fuentes de **invalidación interna** del experimento, para lo cual se procedió de la siguiente forma, en concordancia con lo propuesto por Sampieri y col, 2001:

- Los estudiantes ingresaron al experimento de manera voluntaria y  **fueron informados de que estaban siendo parte de una investigación, por lo que los resultados no eran vinculantes para la asignación de calificaciones del curso**, pero que recién al finalizarla, el docente les comentaría las hipótesis, resultados, etc.
- Antes de comenzar el experimento propiamente dicho, se discutieron los aspectos psicológicos y epistemológicos relacionados con el uso de analogías como estrategias en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, corroborando que al menos el 90% de los alumnos hubieran comprendido el concepto y uso del RA.
- El efecto de la maduración de la población se consideró despreciable, por ser muy reducido el periodo comprendido entre etapas.
- El grupo seleccionado se mantuvo inalterado, sin pérdida ni abandono de los participantes.
- El instrumento de medición fue el mismo para todos los participantes y el resultado individual no afectó la nota final de la asignatura.
- Las clases fueron presentadas por el mismo docente, en el mismo horario y aula para lograr equivalencia entre las intervenciones.
- La clase fue observada por otro docente, del mismo nivel y área disciplinar y por dos alumnos avanzados de las carreras involucradas.

En cuanto a los factores que pudieran afectar la **validez externa**, y con el fin de garantizar que los resultados sean generalizables o extrapolables a diferentes

sujetos, poblaciones, lugares o experimentadores, se procedió de la siguiente forma:

- Solo se realizó un tipo de tratamiento a la población, es decir, el estímulo fue único y bien delimitado, a fin de garantizar la representatividad y la reproducibilidad del experimento.
- Se partió del supuesto que el grupo era homogéneo en cuanto a los conocimientos previos, puesto que todos los integrantes procedían de un curso de nivelación universitario.
- La modalidad empleada en la enseñanza es replicable en cuanto a participantes, modalidad de clase y contexto.

### **VII.3. Muestra**

Se trabajó con un grupo de 60 estudiantes de la asignatura Química General, del primer año de las carreras de Licenciatura en Química, Químico Analista y Profesorado en Química. La asignatura es común a las tres carreras.

### **VII.4 Metodología**

En la Tabla 4 se explicitan las etapas y sub-etapas del experimento propiamente dicho así como los tiempos empleados.

**Tabla 4:** Etapas del experimento

Etapa	Acciones planificadas	Tiempo asignado	Características
1	Indagación sobre conceptos previos. Introducción del concepto RL	30 minutos	El concepto <i>blanco</i> se presentó antes que el concepto <i>fuentes</i> . Se presentó la analogía como elemento facilitador del aprendizaje. Se explicaron las conexiones entre fuente-blanco, las relaciones útiles y las fallas en la extrapolación de un sistema al otro. Se resolvieron situaciones problemáticas, y se invitó a los estudiantes a encontrar límites o fallos entre el blanco y la fuente y a que propusieran otras analogías (analogías autogeneradas). (En el Anexo 1 se dan los detalles de esta etapa)
	Presentación del análogo con diapositivas, animaciones y videos.	15 minutos	
	Resolución de problemas con mapeo de semejanzas entre concepto y análogo.	30 minutos	
	Identificación de “fallas” en la transferencia analógica.	30 minutos	
	Discusión de casos en los que la analogía no resulta eficiente o conduce a resultados erróneos.	15 minutos	
2	Presentación del nuevo contenido- Sistema Gaseoso (tres semanas después). Presentación de conceptos, ecuaciones. En esta etapa NO DEBE MENCIONARSE LA ANALOGIA	4 horas (duración de una clase normal)	Se presentó la clase mediante el enfoque tradicional (utilización de algoritmos) y luego se plantearon situaciones problemáticas que implicaron la recuperación del concepto de RL. En esta fase fue imprescindible que el docente no mencione ni retome la analogía en ningún momento durante el desarrollo de la clase (La secuencia de la clase se detalla en el Anexo 2)
3	Entrega a los alumnos del instrumento para la recolección de datos del experimento (resolución individual)	30 minutos	
	Entrevistas individuales realizadas por docentes, con registro en planilla prediseñada.	1 hora	Se solicitó a los estudiantes que expresaran o describieran verbalmente, con una suerte de razonamiento en voz alta, el mecanismo por medio del cual recuperaban el concepto de RL. (Los registros se incluyen en el Anexo 3)
4	Análisis de entrevistas con particular énfasis en si los estudiantes recuperaban o no la analogía para resolver las actividades propuestas.	4 horas	
5	Organización de datos y análisis estadístico.	8 horas	

## VII.5. Instrumentos para la recolección de datos

En la etapa 1 se sugirió a los alumnos lo siguiente:

*“Imagina que estás estudiando con un compañero y él no entiende algún concepto en particular. Ayúdalo construyendo una analogía que le permita comprenderlo”.*

En el anexo 1 se detallan las propuestas generadas y el análisis que surgió de los propios alumnos.

En la etapa 3 se utilizó la actividad que se muestra a continuación:

1. Balancear la siguiente ecuación química que describe el ensayo a realizar en el práctico de laboratorio: (20 puntos)  
$$\text{Zn(s)} + \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{ZnCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$$
2. Se desea conocer la cantidad de gas dihidrógeno producido a partir de la reacción entre 2 gramos de Zn y 15 mL de ácido clorhídrico de concentración 20% m/v. (50 puntos)
3. En otro ensayo similar se mide el volumen de dihidrógeno producido, en CNPT resultando igual a 123 mL. ¿Es esto posible si se parte de 0.25 g del metal? (30 puntos).

Como puede observarse, la actividad consistió en la resolución de tres incisos y, en particular, el ítem 2, fue el que permitió verificar el modo de recuperación del concepto de RL y la utilización del razonamiento analógico, razón por lo cual se asignó a este ítem la mitad del puntaje total.

La actividad fue calificada con cuatro puntajes a saber:

- Sin nota: en los casos en que el ejercicio no fue resuelto.
- Nota 70: en los casos en que el alumno realizó correctamente **el ajuste de coeficientes estequiométricos** y resolvió el ítem 2 con o sin recuperación de la analogía.
- Nota 80: caso en que el alumno no colocó correctamente u omitió los coeficientes estequiométricos al escribir la ecuación pero resolvió los

otros ítems de la actividad con coherencia interna (resolución más elaborada).

- Nota 100: el alumno resolvió completa y correctamente la actividad, con o sin recuperación de la analogía (resolución muy elaborada).

Inmediatamente después de la entrega de los ejercicios propuestos, y a fin de determinar si se recuperó la analogía para la resolución del ejercicio, los alumnos fueron entrevistados individualmente. La pregunta que se les formuló fue la siguiente:

***¿Puedes explicarme con tus palabras como hiciste para resolver el ítem 2 y que forma de razonamiento empleaste para ello?***

Dichas entrevistas estuvieron a cargo de los docentes involucrados en la experiencia y, como se deduce de la pregunta realizada, se indagó sobre el razonamiento que los alumnos realizaron para la resolución del ejercicio, de manera que se pudiera discernir si habían empleado o no el razonamiento analógico con el que se construyó el concepto de RL.

Las entrevistas individuales fueron transcritas por los docentes, casi en forma textual, para luego agrupar las que se asemejaban (ver anexo 3). Esta diferenciación se dio en la práctica ante la necesidad de reducir el tiempo de cada entrevista para posibilitar la interacción con todos los alumnos de la muestra.

Al finalizar el cursado se completaron los datos con los resultados de los alumnos que habían promocionado la asignatura mediante la aprobación de dos parciales.

La planilla utilizada para el registro de las entrevistas se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5:** Planilla para las entrevistas

<b>Alumno</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Recuperación de la analogía</b>	<b>Alumnos con respuestas similares</b>
1				

En el anexo 3 se detallan los registros realizados.

## VIII. Resultados

### VIII.1. Discusiones previas al experimento

Las implicancias psicológicas y epistemológicas del uso de analogías en los procesos de aprendizaje de la ciencia química fueron discutidas con los alumnos al mismo tiempo que se analizaba la presencia de razonamientos analógicos en la bibliografía asociada a la asignatura Química General de primer año universitario de las carreras de Licenciatura en Química, Profesorado en Química y Químico Analista.

Con el fin de ir introduciendo al grupo en la temática, se solicitó a los alumnos que mencionaran alguna analogía que recordaran haber leído en la bibliografía disponible. Inmediatamente surgió el debate relacionado con el ejemplo que utiliza el texto Química para este contenido (Chang, 2002). En este caso, en el capítulo “Relaciones de masa en las reacciones químicas”, se relaciona el concepto de RL con el armado de parejas de baile (producto de la reacción), partiendo de diferentes números de hombres y mujeres (reactivos). Otros alumnos recordaron la analogía entre el sistema solar y la representación del modelo planetario que Bohr propuso para el átomo, relación con la que se había trabajado en clases teóricas anteriores.

La mayoría de los alumnos autogeneró analogías en la construcción del concepto de RL, algunas fueron inicialmente erróneas y originaron discusiones o revisión de conceptos para poder ser resueltas, como por ejemplo las siguientes:

- *El RL ¿frena la reacción como lo hace el auto de menor velocidad en una fila?* En este caso se aclaró que no se hablaba de velocidad de reacción sino de cantidades de producto a formar.
- *Una vez determinado el RL, el reactivo en exceso ¿es como un inerte y no se tiene más en cuenta?* En este caso se revisó el concepto de inerte y la relación entre el número de moles en la fase gaseosa y la presión total del sistema.

- *Si uno se olvida de hacer el balance estequiométrico ¿es como intentar preparar una receta sin medir las cantidades? La relación entre los átomos ¿es como la relación entre los ingredientes de una receta?. Estas analogías formuladas por los alumnos posibilitaron discutir la importancia de la química en la vida cotidiana, la relación entre los átomos y las fórmulas químicas, los principios de conservación de la masa y de la energía y la importancia de la estequiometría para la realización de cálculos y predicciones.*

El debate fue necesario tanto para posibilitar el experimento desarrollado con posterioridad, como para inducir al alumno a un metaanálisis de sus propios procesos de aprendizaje.

La discusión también generó un ámbito de confianza mutua como para que se produjera espontáneamente el intercambio de ideas entre los distintos actores (entre docentes y alumnos, entre alumnos y entre docentes).

Se muestran también analogías autogeneradas por los alumnos en el anexo 1, apartado d, donde se explicitan además algunas fallas detectadas en la transferencia analógica.

## VIII.2. Resultados del experimento

En la Tabla 6 se muestran los resultados del experimento. Para completar esta tabla se utilizaron datos explicitados en los anexos.

**Tabla 6:** Datos de la experiencia con alumnos

ALUMNO	RECUPERA ANALOGIA	RESUELVE BIEN	NOTA	PROMOCIONA
1	SI	SI	70	SI
2	SI	SI	100	SI
3	SI	SI	70	NO
4	NO	SI	70	SI
5	SI	SI	100	NO
6	SI	SI	100	NO
7	NO	SI	100	SI
8	SI	SI	80	NO
9	NO	SI	100	SI
10	SI	SI	70	SI
11	SI	NO	#	NO
12	NO	SI	80	NO
13	NO	NO	#	NO
14	SI	SI	100	SI
15	SI	SI	70	SI
16	SI	SI	100	NO
17	NO	SI	100	NO
18	NO	SI	100	SI
19	SI	SI	70	SI
20	NO	NO	#	NO

ALUMNO	RECUPERA ANALOGIA	RESUELVE BIEN	NOTA	PROMOCIONA
21	SI	SI	100	SI
22	SI	SI	100	SI
23	SI	SI	100	SI
24	NO	SI	80	NO
25	SI	SI	70	SI
26	SI	SI	100	SI
27	NO	SI	70	NO
28	SI	SI	80	NO
29	NO	SI	100	NO
30	SI	SI	80	SI
31	NO	NO	#	NO
32	SI	SI	70	NO
33	SI	SI	80	SI
34	NO	SI	100	SI
35	SI	SI	100	SI
36	NO	NO	#	NO
37	NO	SI	100	NO
38	SI	SI	70	NO
39	NO	SI	100	SI
40	SI	SI	100	NO

ALUMNO	RECUPERA ANALOGIA	RESUELVE BIEN	NOTA	PROMOCIONA
41	NO	SI	100	NO
42	NO	SI	100	SI
43	SI	SI	100	SI
44	SI	SI	100	SI
45	NO	SI	100	NO
46	NO	SI	70	NO
47	SI	SI	70	SI
48	SI	SI	80	NO
49	NO	NO	#	NO
50	NO	SI	70	NO
51	NO	SI	100	SI
52	SI	SI	100	SI
53	NO	NO	#	NO
54	SI	SI	100	SI
55	SI	SI	100	NO
56	NO	NO	#	NO
57	SI	SI	70	SI
58	SI	SI	100	SI
59	SI	SI	70	NO
60	NO	SI	100	NO

#: No resolvió el ejercicio

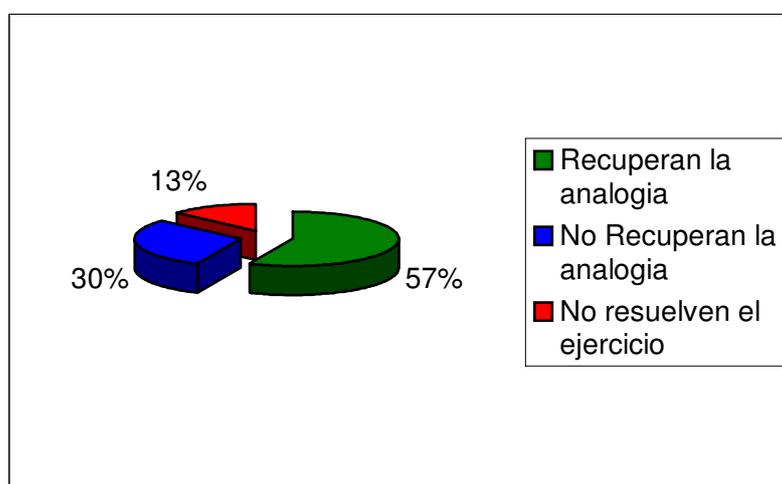
En la tabla anterior pueden observarse los siguientes resultados: el 50% de los alumnos promocionó la asignatura (30 alumnos). Dentro de ese grupo 21 (70% de los promocionados) recuperaron la analogía y 9 (30%) resolvieron el problema de otra forma. Lo más relevante es que el 100% de los promocionados resolvieron el problema con o sin recuperación de la analogía, pero la mayoría de ellos utilizó eficientemente el RA.

Dentro del grupo que no promocionó la asignatura (30 alumnos), el porcentaje de alumnos que no recuperó la analogía resultó ser el mayor (17 alumnos, 57% de los no promocionados) al del grupo que si la promocionó y que en la resolución del problema no utilizó el RA (9 alumnos, 30% de los promocionados).

### VIII.3. Análisis estadístico de los resultados

Como puede observarse en la tabla 6, de un total de 60 alumnos, 52 resolvieron las actividades y, según sus notas, quedaron distribuidos de la siguiente manera: 15 alumnos (25%) obtuvieron 70 puntos, 7 (12%) obtuvieron 80 puntos y 30 (50%) obtuvieron 100 puntos. Los 8 alumnos restantes (13%) no resolvieron el problema.

Los porcentajes de recuperación de la analogía que son más relevantes a la luz de los objetivos de esta tesis, se muestran en la figura 14.



**Figura 14:** Recuperación de la analogía en porcentajes.

Como parte del análisis estadístico, en concordancia con Peña y Romo (1997), y con el fin de determinar si las dos variables de interés para la investigación (**resolución correcta del ejercicio y recuperación de la analogía**) estuvieron o no asociadas, se ordenaron los datos de la tabla 3 con el programa SPSS, versión 11.5.

A fin de analizar la relación de dependencia o independencia entre las variables fue necesario estudiar su distribución conjunta en una tabla de contingencia, de doble entrada (Tabla 7). Sólo se presentaron dos opciones de respuesta: SI-NO (variables dicotómicas). *(El criterio adoptado tiene en cuenta lo*

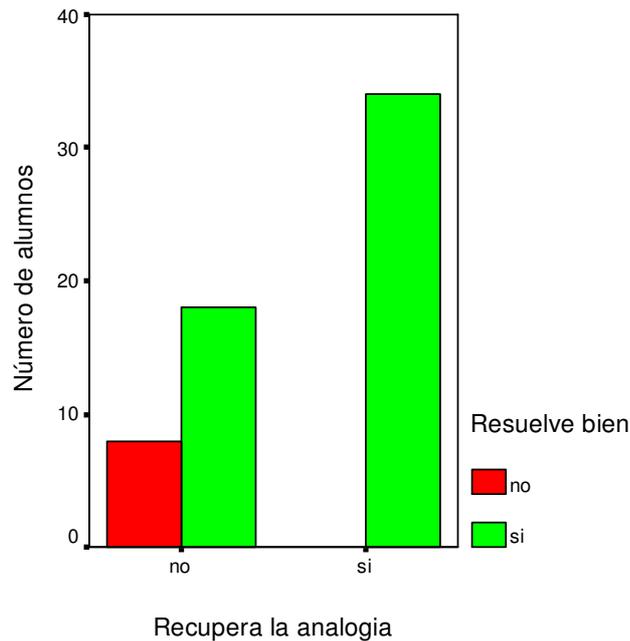
explicitado en el apartado VII.5- “Instrumentos para la recolección de datos de datos” y en los anexos).

**Tabla 7:** Tabla de contingencia para las variables en estudio.

Nº DE ALUMNOS QUE RECUPERAN LA ANALOGIA	Nº DE ALUMNOS QUE RESUELVEN BIEN EL EJERCICIO		TOTAL
	NO	SI	
NO (43%)	8 (3.5)	18 (22.5)	26
SI (57%)	0 (4.5)	34 (29.5)	34
TOTAL	8	52	60

Los valores en **itálica** muestran las frecuencias esperadas para cada combinación de variables.

Estos resultados se graficaron con el mismo software (SPSS) tal como se muestra en la Figura 15.



**Figura 15:** Relación entre los alumnos que resuelven bien y los que recuperan la analogía.

De los resultados que se muestran en la tabla 7 y en la figura 15 surge que:

- Dentro del conjunto de alumnos que SI recuperó la analogía, NO se observaron resoluciones incorrectas del ejercicio.
- Del total de alumnos que resolvió correctamente el ejercicio (52), el 65 % recuperó la analogía (34 alumnos).

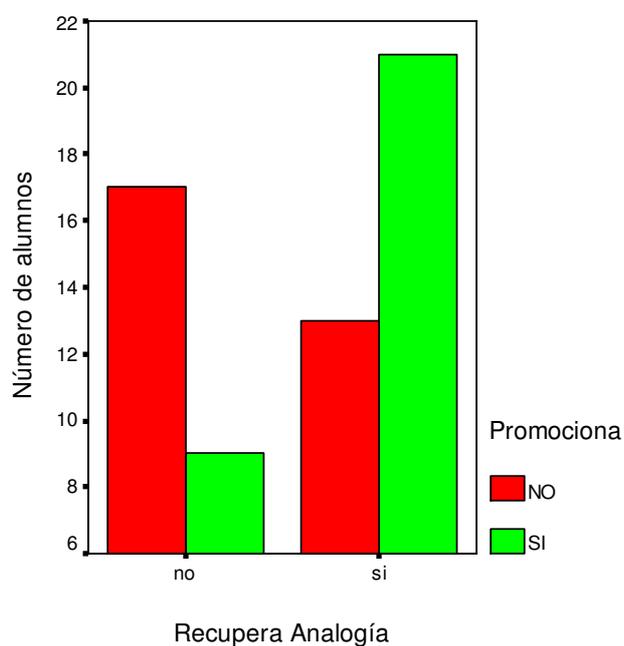
Como además se contó con datos de la promoción final de la asignatura, se completó el análisis con la relación entre el número de alumnos que recuperaron la analogía y el nº de alumnos que promocionaron.

Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 8 y en la figura 16.

**Tabla 8:** Relación entre los alumnos que recuperaron la analogía y los que promocionaron la asignatura.

Nº DE ALUMNOS QUE RECUPERAN LA ANALOGIA	Nº DE ALUMNOS QUE PROMOCIONAN LA ASIGNATURA		TOTAL
	NO	SI	
NO	17 ( <i>13</i> )	9 ( <i>13</i> )	26
SI	13 ( <i>17</i> )	21 ( <i>17</i> )	34
TOTAL	30	30	60

Los valores en *itálica* muestran las frecuencias esperadas para cada combinación de variables.



**Figura 16:** Relación entre los alumnos que promocionaron la asignatura y recuperaron la analogía.

De los resultados que se muestran en la tabla 8 y en la figura 16 surge que:

- El 50 % de los participantes promocionó la materia.
- Del 50 % que promocionó, el 70 % utilizó al razonamiento analógico para resolver el ejercicio (21 alumnos).

A partir de las tablas de contingencia se pudo además analizar si existió alguna relación de dependencia entre los niveles de las variables cualitativas objeto de estudio. El hecho de que dos variables sean independientes significa que los valores de una de ellas no están influidos por la modalidad o nivel que adopte la otra. (Vicens Otero y Medina Moral, 2005).

En ese sentido, la pregunta clave a responder para completar el análisis estadístico, es la que en definitiva sostuvo esta investigación: ***¿existió asociación estadísticamente significativa entre las variables estudiadas?***

Para dar respuesta a este interrogante se planteó un contraste estadístico de esa relación de dependencia. Para ello se plantearon las siguientes hipótesis:

***H<sub>0</sub> (hipótesis nula)= la correcta resolución del ejercicio es independiente de la recuperación de la analogía. (Independencia de variables).***

***H<sub>1</sub> (hipótesis alternativa)= la recuperación de la analogía influye en la resolución correcta del ejercicio. (Dependencia entre las variables).***

El proceso de aceptación o rechazo de la hipótesis lleva implícito un riesgo, que se cuantifica con el valor de "**p**", que es la *probabilidad* de aceptar la hipótesis alternativa como cierta, cuando la cierta podría ser la hipótesis nula.

El valor de "p" que indicaría que la asociación es estadísticamente significativa se fijó en **0.05**, teniendo en cuenta investigaciones similares. (Vicens Otero y Medina Moral, 2005). Esto implica un nivel de confianza del 95% para los resultados de esta investigación.

El programa utilizado permitió calcular el nivel de significación, es decir *la probabilidad de rechazar la hipótesis nula teniendo en cuenta el valor de “p” obtenido. Si “p” resulta muy pequeño (<0,05), se rechaza la hipótesis nula. Por el contrario, si el nivel de significación resulta superior a ese valor, se acepta esta, lo que implica admitir la independencia de las variables en estudio.*

Un aspecto a tener en cuenta es que, si bien para el cálculo de “p” el **Test de Chi cuadrado** es aplicable a los datos de una tabla de contingencia como la de este estudio, dos de las cuatro frecuencias esperadas resultaron ser inferiores a 5 (4.5 y 3.5), situación que invalida el test ya que el mismo requiere que al menos el 80 % de las celdas de la tabla sean mayores que 5. Como consecuencia, en casos como este, se puede optar por el **Test de Fisher** para calcular el valor de *p*.

Teniendo en cuenta que el experimento contó con **un grado de libertad (GL)**, se calculó el estadístico exacto de Fisher (Tabla 9).

**Tabla 9:** Test de Fisher aplicado a los datos de Tabla 7.

	Valor	GL	Significancia asintótica (bilateral)	Significancia exacta (bilateral)	Significancia exacta (unilateral)
<b>Chi-cuadrado de Pearson</b>	12,071(b)	1	0,001		
<b>Corrección por continuidad(a)</b>	9,555	1	0,002		
<b>Razón de verosimilitud</b>	15,024	1	0,000		
<b>Estadístico exacto de Fisher</b>				<b>0,001</b>	0,001
<b>N de casos válidos</b>	60				

a Calculado sólo para una tabla de 2x2.

b 2 casillas (50,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es 3,47.

Como puede observarse, el valor de **p** resultó igual a **0.001**, es decir, inferior a **0.05** (nivel de significación adoptado), por lo tanto **se descartó la hipótesis nula**, y en consecuencia, **se aceptó la hipótesis alternativa**, lo que estaría indicando asociación entre las variables en estudio.

Paralelamente, y para analizar si además **existió asociación significativa entre la promoción de la asignatura y la utilización del razonamiento analógico**, se repitió el procedimiento pero esta vez con los datos de la tabla 8. El análisis se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10:** Test de chi-cuadrado aplicado a los datos de la Tabla 8

	Valor	GL	Sig. asintótica (bilateral)	Sig. exacta (bilateral)	Sig. exacta (unilateral)
<b>Chi-cuadrado de Pearson</b>	4,344(b)	1	<b>,037</b>		
<b>Corrección por continuidad(a)</b>	3,326	1	,068		
<b>Razón de verosimilitud</b>	4,402	1	,036		
<b>Estadístico exacto de Fisher</b>				,067	,034
<b>N de casos válidos</b>	60				

a Calculado sólo para una tabla de 2x2.

b 0 casillas (,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es 13,00.

En este caso si pudo aplicarse el test de Chi cuadrado, y el valor de **p** también resultó inferior al nivel de significancia adoptado ( $0.037 < 0.05$ ), razón por la cual puede afirmarse además que la recuperación de la analogía y la promoción de la asignatura también estuvieron asociados. (Nótese que si bien el valor de p resultó inferior a 0.05, esta vez la diferencia no fue tan significativa como en la asociación anterior.)

## IX. Conclusiones

Si se analiza cada uno de los objetivos específicos se facilita la tarea de determinación del grado de cumplimiento del objetivo general propuesto.

Para cada objetivo, se revisarán las variables, indicadores y resultados obtenidos en función de la hipótesis planteada en este trabajo.

**Objetivo 1:** *Indagar sobre las implicancias psicológicas y epistemológicas del uso de analogías en los procesos de enseñanza y aprendizaje*

**Tabla 11:** Matriz de datos, indicadores y resultados para el objetivo 1

Variable (relacionada con objetivos)	Subvariable	Indicadores	Valores	Resultados
Implicaciones psicológicas	Comprensión del RA	Nro. de alumnos que comprendieron el RA	% de alumnos que comprendieron el RA	Antes de comenzar el experimento propiamente dicho, se discutieron los aspectos psicológicos y epistemológicos relacionados con el uso de analogías como estrategias en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, corroborando que al menos el 90% de los alumnos hubieran comprendido el concepto y uso del RA
Implicaciones epistemológicas	Comprensión de la importancia de la observación en la ciencia química	Nro. de alumnos que comprendieron la importancia de la observación	% de alumnos que comprendieron la importancia de la observación	

A la luz de la hipótesis de este trabajo, se monitoreó a través de entrevistas individuales, que al menos un 90 % de los alumnos de la muestra hubieran comprendido el concepto y uso del RA (Tabla 11).

Sería interesante abordar en un trabajo posterior si el uso de RA podría permitir a los alumnos realizar un análisis más profundo acerca de su propio aprendizaje y mejorar el uso de estrategias de metacognición, ya que esta metodología desempeña diferentes papeles en el sistema cognitivo humano puesto que se utiliza en tareas de lenguaje, favorece la comprensión y como consecuencia de ello, el aprendizaje que, a la vez, puede generar nuevas ideas, y, en tareas de razonamiento, brindar herramientas para la resolución de problemas. Las diferentes instancias de reflexión metacognitiva resultan fundamentales para que los estudiantes tomen conciencia sobre lo que aprendieron y sobre las dificultades que tuvieron para comprender algún concepto. (Greco y Galagosky, 2005).

**Objetivo 2:** *Propiciar el intercambio de ideas y el aporte de opiniones entre los diferentes actores del proceso didáctico*

**Tabla 12:** Matriz de datos, indicadores y resultados para el objetivo 2

<b>Variable (relacionada con objetivos)</b>	<b>Subvariable</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valores</b>	<b>Resultados</b>
Intercambio de ideas	Entre docente y alumnos	Existencia del intercambio	SI/NO	SI
	Entre alumnos	Existencia del intercambio	SI/NO	SI
	Entre docentes	Existencia del intercambio	SI/NO	SI
Aporte de opiniones	Entre docente y alumnos	Existencia del aporte	SI/NO	SI
	Entre alumnos	Existencia del aporte	SI/NO	SI
	Entre docentes	Existencia del aporte	SI/NO	SI

La discusión sobre RA generó un ámbito de confianza mutua como para que se produjera espontáneamente el intercambio de ideas entre los distintos actores (entre docentes y alumnos, entre alumnos y entre docentes), así como el aporte

de opiniones por parte de todos los actores. El clima de trabajo generado facilitó la puesta en común de los aspectos relevantes de la experiencia (Tabla 12).

**Objetivo 3:** *Utilizar el razonamiento analógico para la construcción del concepto de reactivo limitante.*

**Tabla 13:** Matriz de datos, indicadores y resultados para el objetivo 3

Variable (relacionada con objetivos)	Subvariable	Indicadores	Valores	Resultados
Uso del razonamiento analógico	Por parte de los alumnos	Nro de alumnos que utilizaron analogías	% de alumnos que las utilizaron	100% de los alumnos de la muestra utilizó exitosamente el RA en la búsqueda de analogías en la bibliografía de la asignatura Química General

Todos los alumnos, de una u otra forma, ya habían tenido experiencias previas de utilización de RA por lo que la estrategia no les resultó novedosa, aunque la gran mayoría tuvo dificultades iniciales para realizar la conexión entre fuente y blanco, las cuales se superaron durante el debate grupal (Tabla 13).

**Objetivo 4:** *Registrar y discutir las analogías autogeneradas por los estudiantes y la recuperación de análogos útiles en contenidos de mayor complejidad.*

No se tuvo el mismo resultado en la recuperación de la analogía en el experimento realizado tres semanas después de la presentación del RA y del concepto de RL, dado que solo el 57% de los alumnos utilizó este tipo de razonamiento en la resolución del problema planteado. Este resultado está generalmente asociado a la dificultad del trabajo individual (Tabla 14).

**Tabla 14:** Matriz de datos, indicadores y resultados para el objetivo 4

Variable (relacionada con objetivos)	Subvariable	Indicadores	Valores	Resultados
Analogías autogeneradas	En la construcción del concepto de RL	Nro de alumnos que utilizaron analogías	% de alumnos que las autogeneraron	100%
	En la recuperación para aplicaciones de mayor complejidad	Recupera la analogía	% de alumnos	57%
		Resuelve bien el ejercicio	% de alumnos	87%
		Rango de nota de cada alumno	Sin nota: resolución incorrecta 70: resolución básica 80: resolución más elaborada 100: resolución muy elaborada	Sin nota: 13% Rango 70: 25% Rango 80: 12% Rango 100: 50%
		Promoción del alumno	% de alumnos que promocionaron	50%

El 50% de los alumnos promocionó la asignatura (30 alumnos). Dentro de este grupo 21 (70% de los promocionados) recuperaron la analogía y 9 (30%) resolvieron el problema de otra forma. Lo más relevante es que el 100% de los promocionados habían resuelto el problema con o sin recuperación de la analogía pero la gran mayoría de ellos utilizó eficientemente el RA.

Dado que el 57% de los no promocionados no había utilizado RA en la resolución del problema, este indicador podría ser útil para el planteo de ejercitación adicional para este tipo de alumnos, así como para el análisis de la posibilidad del uso de estrategias combinadas que permitan a los alumnos aumentar su aprendizaje significativo.

Algunos ejemplos de analogías autogeneradas y sus fallas se muestran en Anexo 1, apartado d).

**Objetivo 5:** Verificar la asociación de las variables en estudio mediante la utilización de pruebas estadísticas adecuadas

**Tabla 15:** Matriz de datos, indicadores y resultados para el objetivo 5

Variable (relacionada con objetivos)	Subvariable	Indicadores	Valores	Resultados
Pruebas estadísticas	Asociación de variables en estudio	Recuperación de analogía y resolución de ejercicio	Frecuencia esperada estadísticamente (Tabla 7)	La frecuencia esperada es 29,5. La real es 34 (alumnos que recuperan y resuelven).
	Análisis de significancia estadística	Recuperación de la analogía y promoción de la asignatura	Frecuencia esperada estadísticamente (Tabla 8)	La frecuencia esperada es 17. La real es 21 (alumnos que recuperan y promocionan).
		Análisis de la existencia de asociación estadísticamente significativa de las variables estudiadas	Resultados del Test de Fisher (Tabla 9)	$p= 0,001$ (menor a 0,05) Los resultados muestran asociación estadísticamente significativa

Como se mencionó anteriormente, pudo comprobarse que el valor de  $p$  resultó igual a **0.001**, es decir, **menor que 0.05** (nivel de significación adoptado), por lo tanto **se descartó la hipótesis nula** pudiendo comprobarse entonces que existió asociación entre las dos variables (**recuperación del análogo-resolución correcta del ejercicio**) si bien no puede afirmarse cuál es el “sentido” de esta asociación.

A pesar de ello, la evidencia cualitativa aportada por las entrevistas individuales podría estar indicando que el sentido de la asociación fue “**la recuperación de la analogía permitió la resolución correcta del ejercicio**”. Esto es consistente además con lo que muestra la figura 15 en la que se puede notar que, del total de alumnos que recuperaron la analogía, todos resolvieron bien el ejercicio.

Es importante recalcar que la conclusión cualitativa **no prevé** además la valoración de otras variables que también podrían estar impactando en los resultados, pero no son cuantificables (formación previa, procesos cognitivos individuales, obstáculos epistemológicos, etc.) y exceden los límites de esta investigación.

### ***Discusión de la influencia***

Teniendo en cuenta que el objetivo general propuesto en este trabajo fue:

*Indagar sobre la utilización de la analogía como estrategia didáctica en la enseñanza del concepto de reactivo limitante y la recuperación de análogos útiles en contenidos de mayor complejidad*

Y que la hipótesis planteada fue:

*La estrategia de uso de analogías puede contribuir a superar las dificultades que los alumnos presentan en la comprensión del concepto de reactivo limitante y su aplicación en casos de distinta complejidad*

Puede concluirse, teniendo en cuenta el análisis realizado para cada objetivo específico, que el objetivo general fue alcanzado y que la hipótesis planteada fue verificada.

## **X. Líneas de investigación posibles a partir de este trabajo**

Dadas las dificultades que evidencian los alumnos ingresantes al Sistema Universitario en general, reconocida en proyectos como el PACENI, la continuidad de este trabajo podría ampliar el conocimiento sobre el uso de RA en el ámbito de la Educación Superior en la que este tipo de exploración no está muy extendida.

Es evidente que el uso de analogías permite conjugar aspectos relacionados con el objetivismo de la ciencia (corroboración y refutación, racionalidad, exactitud y precisión, trazabilidad), con otros planteados generalmente como contrapuestos y asociados al subjetivismo de los actores del proceso de investigación y del proceso didáctico (emociones, intuición, imaginación).

Este tipo de metodología contribuye al desarrollo de un pensamiento hologramático (sintético y holístico al mismo tiempo), que permite ver la parte en el todo y el todo en la parte y ampliar los puntos de vista con los que se aborda la resolución de problemas reales asociados con la aplicación de la ciencia química.

## **XI. Resumen en español e inglés**

### **Resumen**

El objetivo de este trabajo consistió en verificar la eficiencia de la utilización de analogías en la enseñanza del concepto Reactivo Limitante (RL), dentro de la unidad temática Estequiometría. Con este fin se trabajó con un grupo de 60 alumnos que se encontraban cursando la asignatura Química General, común a tres carreras: Licenciatura en Química, Profesorado en Química y Técnico Analista, todas ellas de primer año de la Universidad. El registro de datos se realizó con posterioridad a la etapa de enseñanza con analogías, es decir, el instrumento utilizado se entregó al finalizar el abordaje de un contenido de mayor complejidad (Sistema Gaseoso) para cuya resolución debieron forzosamente recuperar el concepto de RL abordado con anterioridad. Los resultados estadísticos mostraron que la resolución correcta del ejercicio estuvo asociada a la recuperación de la analogía utilizada en la enseñanza.

### **Abstract**

The aim of this research was to verify the efficiency of the use of analogies in teaching the concept of limiting reagent (LR), within the thematic Stoichiometry. For this purpose we worked with a group of 60 students who were enrolled in a General Chemistry course, common to three university careers: Chemistry Specialist, Chemistry Teacher and Technical Analyst, all first-year university. Data recording was performed after learning stage with analogies, i.e, the instrument was delivered to the end of the approach of a more complex content (gas system) for its resolution and student forcibly had to recover the concept of LR taught before. The statistical results showed that the research was successful because the correct resolution of the exercise was associated with the recovery of the analogy used in teaching.

## **XII. Anexos**

### **Anexo 1: Detalles de la etapa 1 de la Metodología**

#### **a) Indagación sobre conceptos previos. Introducción del concepto RL**

La indagación sobre conceptos previos, realizada en forma oral al comienzo de la clase incluyó preguntas tales como:

¿Qué entienden por estequiometría?

¿Qué secuencia seguirían para resolver un problema de estequiometría?

¿Cómo abordan el problema en caso de no contar con cantidades estequiométricas de sustancias?

¿Cómo determinan cual es el reactivo que se consume totalmente?

¿Qué se entiende por RL?

¿Cómo se llaman los reactivos que no son RL?

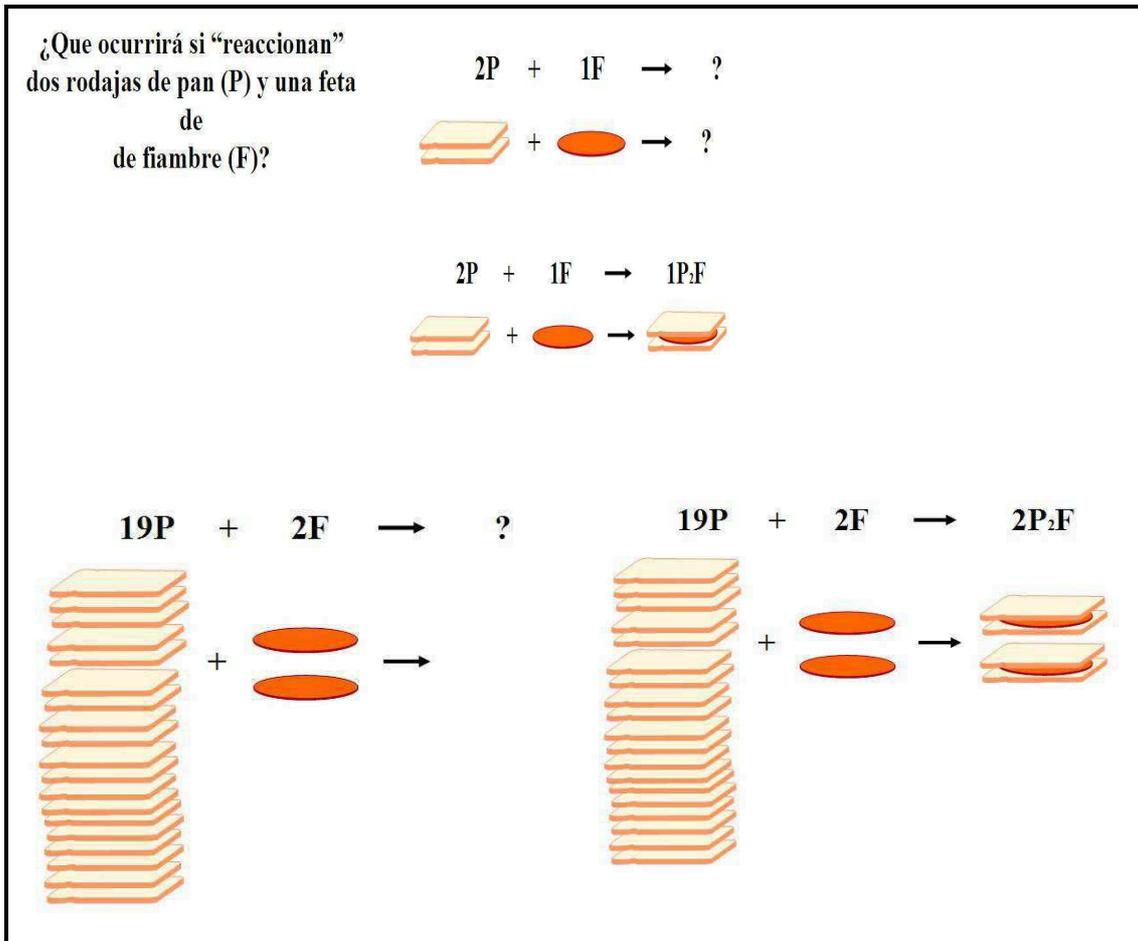
El objetivo de las preguntas fue esclarecer o recuperar los conceptos de RL y de reactivo en exceso.

#### **b) Presentación del análogo con diapositivas, animaciones y videos. Discusiones.**

La presentación del análogo se realizó utilizando los siguientes recursos multimediales:

1. Presentación animada de Joel Weiner (disponible por gentileza del Dr. Andrés Raviolo), algunas de cuyas imágenes se incluyen en la Figura 16.

2. Exhibición de un video de 7 minutos de duración, disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=nbbh7qNMKYs>. (La primera parte de este video está relacionado con la presentación animada de Weiner)



**Figura 16:** Imágenes de la presentación de Joel Weiner

Durante la presentación de las diapositivas, se discutieron aspectos de relevancia para la comprensión, recurriendo al mapeo analógico. Con el fin de aprovechar las imágenes de Weiner, se abordaron otros conceptos inherentes a la presentación, tales como:

- Relación de moles, de masas (en gramos) de los “reactivos” P y F, mediante preguntas como:

- ✓ si una rodaja de pan pesa 70 gramos y un feta de fiambre pesa 12 gramos, ¿cuántos sándwiches se podrán hacer con 1400 gramos de pan y 480 gramos de fiambre?
- ✓ ¿qué faltó en esta “reacción química”?
- ✓ ¿sobró algún “reactivo”?
- Concepto de ecuación química, de reactivos y productos, de ley de conservación de masas, diferencia entre subíndices y coeficientes estequiométricos, átomos y moléculas, etc. Para trabajar estos conceptos se plantearon preguntas del tipo:
  - ✓ ¿Qué ocurrirá si los panes vienen en bolsitas de a dos unidades?  

$$P_2 + 1F \rightleftharpoons 1P_2F$$
  - ✓ ¿y si vienen en paquetes de 4 panes?  

$$P_4 + 2F \rightleftharpoons 2P_2F$$

Durante el debate, surgió naturalmente que el producto “sándwich” ( $P_2F$ ) es siempre el mismo, independientemente de que los reactivos se presenten en “paquetes” de 2 o 4.

Los alumnos reconocieron que también se puede calcular la masa formular del producto, y corroborar que la ley de conservación de masas solo se verifica si los coeficientes estequiométricos están debidamente ajustados.

### **c) Resolución de problemas con mapeo de semejanzas entre concepto y análogo**

Una vez presentado el análogo utilizando recursos multimediales, se discutieron los conceptos clave del contenido desarrollado: *estequiometría*, *balance de masas*, *reactivo limitante* y *reactivo en exceso*, abordando todos los conceptos mencionados afines a la ecuación química, de manera de lograr el mapeo entre el concepto y el análogo, con posterior explicitación oral de dicho mapeo.

Para ello se trabajó en el pizarrón con otras ecuaciones químicas sencillas, en la que se les dio como datos las cantidades de los dos reactivos involucrados (en masas, moles, concentraciones y volumen). Cabe destacar que el tema concentración es un contenido abordado y evaluado en instancias previas al experimento, con lo cual se dio por supuesto que este no constituiría un concepto conflictivo para el objetivo de esta investigación.

Se aplicó el modelo analógico a diferentes tipos de reacciones químicas, con el fin de complejizar la situación y comprobar en cuales el mapeo se tornaba demasiado complejo. Se presentaron reacciones en las que:

- Los entes químicos eran moléculas.
- Los entes químicos eran iones.
- Los entes químicos eran mezclas de moléculas y de iones.

Se comprobó que las dificultades comenzaban cuando los coeficientes estequiométricos enteros, las cargas de los iones o la cantidad de átomos por unidad de sustancia eran mayores que dos (en este análisis no se utilizaron coeficientes estequiométricos que no sean números enteros).

#### **d) Identificación de “fallas” en la transferencia analógica**

Las principales fallas detectadas en la transferencia analógica durante la discusión grupal y los intentos de representación en el pizarrón fueron:

1. Algunos alumnos seleccionaron arbitrariamente uno de los dos reactivos para el cálculo de la cantidad de producto sin tener en cuenta la determinación previa del RL.
2. Algunos alumnos procedieron bien, es decir, calcularon el RL pero no sabían como continuar con el cálculo o con la representación analógica.
3. En algunos casos resultó complejo aplicar el análogo seleccionado para las situaciones en que los reactivos eran compuestos iónicos, ya que no lograban “comprender” las representaciones de las entidades “iones”, consideración que debería tenerse en cuenta en este tipo de representaciones a futuro.

En esta instancia, la riqueza de la discusión condujo a que los estudiantes fueran capaces de reflexionar y actuar sobre sus propias dificultades, generándose un debate en el que ellos mismos corregían las analogías generadas por sus compañeros. A la vez, tomaron conciencia de que lo que habían aprendido con una estrategia didáctica tenía sus limitaciones, pero permitía construir algún tipo de modelo mental útil para su comprensión.

Finalmente se discutió sobre la utilidad de las estrategias para el estudio, no solo del contenido objeto de esta investigación, sino también para otros tales como concepto de mol, unidad de masa atómica, número de Avogadro, etc.

A modo de ejemplo, en la tabla 16 se transcriben algunas analogías autogeneradas por lo alumnos y las fallas que ellos mismos encontraron.

**Tabla 16:** Ejemplos de analogías autogeneradas y fallas detectadas.

Fuente	Blanco	Fallas en el mapeo detectadas por los alumnos
Plancha de telgopor (las pelotitas unidas forman un bloque)	Representación de una sustancia en estado sólido	El telgopor es una espuma sólida por lo que se estaría tratando de representar alguna propiedad de un sólido con otro sólido. No está clara la diferenciación entre el dominio conocido y el dominio nuevo.
Dos personas tirando de una soga, con fuerzas distintas	Polaridad del enlace covalente entre átomos de distinta electronegatividad	La analogía solo representaría un enlace simple y átomos monovalentes.
Ocupación de los asientos dobles en un colectivo	Ocupación de orbitales por electrones	Aunque ventanilla y pasillo podrían representar espines opuestos en los asientos dobles, los colectivos tienen varias posibilidades de asientos (simple, doble, quintuple), mientras que el llenado de los orbitales debe cumplir con el principio de exclusión de Pauli. Además, las personas no suelen completar los asientos en orden (desde el más cercano al conductor al más alejado) por lo que no estarían representado el principio de Aufbau. El comportamiento de las personas llenando asientos dobles tampoco representa la regla de Hund.
Red de pesca	Red cristalina	La red de pesca tiene todos los nudos iguales y no permite percibir la diferencia entre cationes y aniones en una red cristalina

**e) Discusión de casos en los que la analogía no resulta eficiente o conduce a resultados erróneos**

Los casos de reacciones más complejas que las planteadas resultan de representación muy dificultosa, especialmente aquellos que implican coeficientes estequiométricos no enteros, por lo que la analogía es útil para comprender el concepto pero los alumnos deben ir evolucionando gradualmente a una representación mental más abstracta para resolver los casos que involucran situaciones más dificultosas.

## Anexo 2: Secuencia de la clase

La clase de cuatro horas de duración en la que se presentó el nuevo contenido relacionado con Sistema Gaseoso, se desarrolló con la siguiente secuencia:

- Discusión de aspectos teóricos relacionados con Sistema Gaseoso (Leyes de los gases ideales, ecuaciones relacionadas, rango de validez de la aplicación de dichas ecuaciones, concepto de volumen molar y estequiometría en sistemas gaseosos). *Tiempo: 3 horas*
- Planteo de los siguientes problemas estequiométricos relacionados con sistemas gaseosos (sin mencionar la posibilidad de uso de analogías). *Tiempo: 1 hora.*
  - Calcular el volumen molar normal de gas que se produciría si reaccionaran 2 moles de carbono con el dióxígeno necesario para producir una combustión total.
  - Calcular el volumen molar normal de gas que se produciría si reaccionaran 2 moles de carbono con 5 moles de dióxígeno.
- Entrega del instrumento de evaluación para su resolución individual explicitado en el apartado VII.5 (página 56). *Tiempo: 30 minutos*

### Anexo 3: Registro de entrevistas

En la tabla 17 se transcriben los registros y categorizaciones que realizaron los docentes en las entrevistas individuales de los alumnos, sobre la base de la planilla previamente diseñada y explicitada en la tabla 5.

**Tabla 17:** Registro de las entrevistas realizadas a los alumnos.

Alumno	Respuesta	Puntaje	Recuperación de la analogía	Alumnos con respuestas similares
1	<i>"este tema no lo entendí antes porque no le presté atención"... "podría explicarle este tema a otro fijándome en el esquema que realicé..."; "...los conceptos trabajados no son nuevos, pero nunca los habíamos estudiado así..."</i>	70	SI	3,10,15,19,25,32,38,47,57,59
2	<i>"me acordé del ejemplo de los sándwiches.. y usé la fórmula para calcular el RL que la profesora nos había enseñado"</i>	100	SI	5,6,14,16,21,22,23,26,35,40,43,44,52,54,55,58
4	<i>"usé la fórmula que la profesora nos dio para calcular RL, para el caso en que teníamos las cantidades de los dos reactivos"</i>	70	NO	27,46,50
7	<i>"calculé la cantidad de producto a partir de los dos reactivos.. el que dio menor, era el correcto"</i>	100	NO	9,17,18,29,34,37,39,41,42,45,51,60
8	<i>"al principio no sabía si tenía o no que calcular el RL para averiguar cuánto gas se producía. Después pensé: me sobra un dato.. entonces me acordé de lo que la profesora nos explico con las diapositivas de los sándwiches"</i>	80	SI	28,30
11	<i>Me acordé de la analogía pero no supe como aplicarla</i>	#	SI	---
12	<i>"no sabía si tenía que usar la fórmula para calcular RL,... no lo termine de resolver.."</i>	80	NO	24
13	<i>"me confundió el dato de la concentración del HCl.. no supe como calcular los gramos o moles de ese reactivo"</i>	#	NO	20,31,36,49,53,56
33	<i>"me resultó fácil hacerlo porque pensé: uno de los reactivos es el fiambre, el otro el pan.. Cuantos sándwiches?. Si me daban igual los dos, ninguno era RL, pero me dieron distinto.. y el que dio menos producto era el correcto"</i>	80	SI	48

### XIII. Bibliografía

- Acevedo Díaz, J. (2004). *El papel de las analogías en la creatividad de los científicos. La teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias*. Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias. 1(3):188-205.
- Astolfi, J. P. (1999). *El "error" un medio para pensar*. Sevilla. Diada Editora. 95p.
- Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. 2° Ed. TRILLAS. México.
- Berkson, W. (1974). *Fields of Force. The Development of a World View from Faraday to Einstein*. London. Routledge y Kegan. Traducción de González Seco, L. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid, Alianza.
- Cataldi, Z. y Lage, F. (2004). *Diseño y organización de tesis*. 1° Edición. Nueva Librería. Buenos Aires. 52-53.
- Chalmers, A. (1984). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*. Siglo XXI. Madrid.
- Chang, R. (2002). *Química. Relaciones de masa en las reacciones químicas*. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. México. 67-103.
- Coelho Abrantes, P. (2003). *Razonamiento analógico y modelado en ciencias*. Psicología Cognitiva y Filosofía de la Mente: pensamiento, representación y conciencia. Alianza. Buenos Aires. 55-98.
- Colás Bravo, P. (1990). *El análisis de datos en la metodología cualitativa*. Revista de Ciencias de la Educación. 162: 521-539.
- Curtis, R. y Reigeluth, C. (1984). *The use of analogies in written text*. Instructional Science. 13: 99-117.
- De Longhi, A. (2000). *El discurso del profesor y del alumno: análisis didáctico en clases de ciencias*. Enseñanza de las Ciencias. 18 (2): 201-216.
- Duit, R. (1991). *On de role of analogies and metaphors in learning science*. Science Education. 75 (6):649-672.

- Estevez Nénninger, E. (1996). *Enseñar a pensar. ¿Nuevo enfoque de la educación?*. Revista Educación 2001. 13:40-44.
- Feyerabend, P. (1975). *Against method*. Londres. 279 pp.
- Furió, C.; Azcona, R. y Guisasola, J. (2002). *Revisión de investigaciones sobre la enseñanza-aprendizaje de los conceptos cantidad de sustancia y mol*. Enseñanza de las Ciencias. 20(2): 229-242.
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). *Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico*. Enseñanza de las Ciencias. 19(2): 231-242.
- Gallarreta, S. (2003). *Estrategias didácticas en ciencias biológicas: reflexiones en torno a la enseñanza basada en modelos*. Espacios en Blanco. 13 (6): 89-109.
- Gallarreta, S. (2003b). *Metáforas y analogías en la enseñanza de la biología celular y molecular: un estudio en el nivel universitario*. Trabajo tutelado.
- Gallarreta, S.; Pomar, A.; Felipe, A. y Merino, G. (2009) V. *Mapeo guiado realizado por estudiantes de ciclo básico del nivel secundario basado en analogías auto- generadas*. II Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el Campo de las Ciencias Exactas y Naturales. Actas, II (2): 118-124. La Plata.
- Gauchon, L. y Méheut, M. (2007). *Learning about stoichiometry: from students preconceptions to the concept to limiting reactant*. Chemical Education Research and Practice. 8 (4):362-375.
- Gentner, D. (1982). *Are scientific analogies metaphors?* In David y Miall (Eds.). *Metaphors: problems and perspectives*. Harvester press Ltd. 106-132.
- Gentner, D. (1983). *Structure-mapping: a theoretical framework for analogy*. Cognitive Science. 7: 155-170.
- Gentner, D. (1989). *Similarity and analogical reasoning*. Vosniadou, S. y Ortony, A. (Eds.). Cambridge University Press. Londres. 199–241.
- Gentner, D., Bowdle, B., Wolff, P. y Boronat, C. (2001). *Metaphor is like analogy*. In *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science*. Centner, D., Holyoak, K. y Kosinov, B. (Eds.). MIT Press. Cambridge. 199-253.

- Gentner, D., y Loewenstein, J. (2002a). *Learning: analogical reasoning*. Encyclopedia of Education. Second edition. Macmillan. New York.
- Gentner, D. (2003). *Analogical reasoning, psychology of*. In Encyclopedia of Cognitive Science. Nature Publishing Group. London. 1: 106-112.
- Gentner, D. y Markman, A. (2005). *Defining Structural Similarity*. Journal of cognitive science. 6: 1-20.
- Gentner, D. y Kurtz, K. (2006). *Relations, objects, and the composition of analogies*. Cognitive Science. 30:609–642.
- Glynn, S. (1995). *Conceptual bridges: using analogies to explain scientific concepts*. The Science Teacher. 62(9): 25-27.
- Glynn, S. M. (2008). *Making science concepts meaningful to students: teaching with analogies*. In S. Mikelskis-Seifert, U. Ringelband, & M. Brückmann (Eds.). Four decades of research in science education: from curriculum development to quality improvement. Waxmann. Münster, Germany. 113-125.
- Godoy, L. (2002a). *Sobre la estructura de las analogías en ciencias*. Interciencia. 27(8): 422-429.
- Godoy, L. (2002b). *Éxitos y problemas de las analogías en la enseñanza de la mecánica*. Revista de Educación en Ciencias. 3(1):11-15.
- Gómez Moliné, M. y Sanmartí Puig, N. (2002). *El aporte de los obstáculos epistemológicos*. Educación Química. 13(1): 61-68.
- González Labra, M. (1997). *Aprendizaje por analogía. Análisis del proceso de inferencia analógica para la adquisición de nuevos conocimientos*. Ed. Trotta. Madrid, España. 187 pp.
- Gonzalez Gonzalez, B. (2005). *El modelo analógico como recurso didáctico en ciencias experimentales*. Revista Iberoamericana de Educación. 37(2):1-16.
- González González, B. (2005). *La analogía y su presentación en los libros de texto de ciencias de educación secundaria*. Enseñanza de las Ciencias. N° Extra. 1-7.
- Goodstein, M. y Howe, A. (1978). *The use of concrete methods in secondary chemistry instruction*. Journal of Research in Science Teaching. 15(5): 361-366.

- Greco, M. y Galagovsky, L. (2005). *Reflexiones metacognitivas de los alumnos en un ejemplo de aplicación del modelo didáctico analógico sobre teoría de sistemas en los seres vivos*. Enseñanza de las Ciencias. N° Extra. VII Congreso.1-5.
- Harrison, A. y De Jong, O. (2005). *Exploring the use of multiple analogical models when teaching and learning chemical equilibrium*. Journal of Research in Science Teaching. 42(10): 1135-1159.
- Herrerías Guerra, L. (1996). *Espero estar en la verdad*. La búsqueda ontológica de Paul Ricoeur. Editrice Pontificia Università Gregoriana. Roma. Italia. 287pp.
- Heywood, D. y Parker, J. (1997). *Confronting the analogy: primary teachers exploring the usefulness of analogies in the teaching and learning electricity*. International Journal of Science Education. 19(8):869-885.
- Johnson-Laird, P. y Shafir, E. (1993). *The interaction between reasoning and decision making: an introduction*. Cognition. 49: 1-9.
- Merino, C. (1995). *Metodología cualitativa de la investigación psicosocial*. UNAM-CISE. México.
- Montagut, P.; Sansón, C.; Covarrubias, R. y González, R. (2009). *¿Y dónde quedó el reactivo limitante? Algunas preconcepciones sobre reactivo limitante detectadas en alumnos de licenciatura*. Enseñanza de las Ciencias. N° Extra VIII. Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Barcelona. 1510-1515.
- Nakhleh M. B. y Mitchell, R. (1993). *Concept learning versus problem solving. Symposium: lecture and learning: Are they compatible?*. Journal of Chemical Education. 70(3):190-192.
- Niaz, M. (1987). *Estilo cognoscitivo y su importancia para la enseñanza de la ciencia*. Enseñanza de las Ciencias. 5(2): 97-104.
- Nickerson, R.; Perkins, D. y Smith, E. (1987). *Enseñar a Pensar. Aspectos de la Aptitud Intelectual*. Paidós. Barcelona.431 pp.
- Novak, J. D. (1990). *Concept maps and V diagrams: Two metacognitive tools for science and mathematics education*. Instructional Science, 19, 29-52.

- Nurrenbern, S. y Pickering, M.(1987).*Concept learning versus problem solving: is there a difference?*. Journal of Chemical Education. 64(6). 508-510.
- Ocampo, E.; Dapuetto, M. y Piovano, N. (2009). *Química General. Ejercicios, problemas y pequeñas investigaciones*. 2º Edición. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. 180 pp.
- Oliva, J.; Aragón, M.; Mateo, J. y Bonat, M. (1999). *Cambiando las concepciones y creencias del profesorado de ciencias en torno al uso de analogías*. Revista Iberoamericana de Educación. 1-14.
- Oliva, J., Aragón, M., Mateo, J. y Bonat, M. (2001). *Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de la ciencias*. Enseñanza de las Ciencias. 19 (3): 453-470.
- Oliva, J. (2004a). *El papel del razonamiento analógico en la construcción histórica de la noción de fuerza gravitatoria y del modelo del sistema solar*. (Segunda Parte). Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. 1(3): 167-186.
- Oliva, Jose M. (2004b). *El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. 3(3): 363-384.
- Oliva, José M. (2006). *Actividades para la enseñanza/aprendizaje de la química a través de analogías*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. 3(1):104-114.
- Peña, D. y Romo, J. (1997). *Introducción a la estadística para las ciencias sociales*. Mc Graw Hill. Madrid.
- Perren, M. (2000).*Comprensión de conceptos y resolución de problemas en química*. Tesis de Maestría en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe.
- Perren, M., Bottani, E. y Odetti, H. (2004). *Problemas cuantitativos y comprensión de conceptos*. Enseñanza de las Ciencias. 22(1): 105–114.
- Popper, K. (1983).*Conjeturas y refutaciones*. Paidós. Barcelona.
- Popper, K. (1985). *La lógica de la investigación científica*. Tecnos. Barcelona.

- Pozo Muncio, J., Gómez Crespo, M.(1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del Conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Ed. Morata, S.L. Madrid.
- Raviolo, A.; Siracusa, P.; Gennari, F. y Corso, H. (2004). *Utilización de un modelo analógico para facilitar la comprensión del proceso de preparación de disoluciones. Primeros resultados*. Enseñanza de las ciencias. 22(3):379-388.
- Raviolo, A. y Garritz, A. (2007). *Uso de analogías en la enseñanza de la química: necesidad de elaborar decálogos e inventarios*. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales. 51: 28-39.
- Raviolo, A. (2009). *Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química*. Educación Química. 55-60.
- Real Academia Española (2010). On line: <http://www.rae.es/rae.html>.
- Reiner, M. y Gilbert, J. (2000). *Epistemological resources for thought experimentation in science education*. International Journal of Science Education. 22(5):489-506.
- Rodrigo Mora, M. (2002). *Metáfora y discurso en Ortega y Gasset*. Centro Virtual Cervantes. On line:[http://cvc.cervantes.es/literatura/aispi/pdf/15/15\\_265.pdf](http://cvc.cervantes.es/literatura/aispi/pdf/15/15_265.pdf).
- Rodríguez M. y García M. (2000). *La analogía en la ciencia, el arte, la educación y la vida cotidiana: un universo entre la lógica y la intuición*. Revista de la Asociación de Educadores de Latinoamérica y el Caribe. Año III. N° 6. Uruguay.
- Sampieri, R.; Fernandez Collado, C. y Lucio, P. (2001). *Metodología de la investigación científica*. 2° Edición. Mc.Graw Hill. México.
- Sternberg, R.(1987). *The phisicology of verbal comprehension*. Advanced in instructional phychology. III:97-150.
- Thagard, P. (1992). *Analogy, Explanation and Education*. Journal of Research in Science Teaching. 29 (6):537-544.
- Vicens Otero, J. y Moral Medina, E. (2005). *Análisis de datos cualitativos*. On line: [http://www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/eva/pdf/tab\\_conting.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/eva/pdf/tab_conting.pdf)
- Zook, K. y Di Vesta, F. (1991). *Instructional analogies and conceptual misrepresentations*. Journal of Educational Psychology. 83 (2): 246-252.

## **XIV. Agradecimientos**

A mi familia por su tolerancia

A la Mag. Ester M. Ocampo por su apoyo incondicional.

A mis amigos por alentarme en esta etapa de mi vida.

A la Facultad de Ingeniería Química.

Al equipo de docentes de la FIQ que colaboró con la experiencia.

A los alumnos que participaron.

A la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.

Al Dr. Andrés Raviolo, de la Universidad Nacional del Comahue, por su colaboración a través de la cesión desinteresada de material bibliográfico especializado con el tema de estudio.

## **A manera de cierre....**

Godoy (2002b) enuncia sobre las analogías que: *"son como paracaídas: pueden ser muy útiles mientras llegamos a destino, pero una vez en tierra debemos desprendernos del paracaídas o nos dificultará avanzar en el nuevo territorio"*.