



# CONSTRUCCIÓN DE RELACIONES ENTRE CONCEPTOS RELATIVOS AL CAMPO ESTRUCTURAL Y AL CAMPO DA CINÉTICA QUÍMICA POR ESTUDIANTES DE PREGRADO EN LA ACEPCIÓN DE LA TEORÍA DE LOS CAMPOS CONCEPTUALES

## Resumen

Este estudio tiene como objetivo identificar los contenidos conceptuales y los procesos cognitivos implicados en la solución de las tareas que implican la interfaz entre los campos de conceptos de la Cinética Química y estructural por estudiantes de pregrado bajo la luz de la Teoría de los Campos Conceptuales. Los resultados muestran que los estudiantes tienen dificultades para establecer relaciones conceptuales relevantes y que si estas relaciones están disponibles se caracterizan por el establecimiento de relaciones de dependencia como un operador de pensamiento vinculado a los conceptos de Cinética Química y estructura caracterizando un invariante operatorio. También se señala la importancia de la mediación constante del profesor en el momento del aprendizaje y en el manejo de los conceptos.

**Palabras clave:** Teoría de Campos Conceptuales, Campo de Cinética Química, Campo Estructural, Enseñanza de la Química en pregrado.

## CONSTRUCTION OF RELATIONS BETWEEN CONCEPTS RELATING TO STRUCTURAL FIELD AND THE FIELD OF CHEMICAL KINETICS BY UNDERGRADUATE STUDENTS IN THE ACCEPTANCE OF CONCEPTUAL FIELD THEORY

## Abstract

The aim of the present study is comprised by the identification of conceptual content and the cognitive processes, under the Conceptual Fields Theory, involved in the resolution of tasks on the interface of Structural Chemistry and Chemical Kinetics by undergraduate students. The results show that students have difficulties in establishing relevant conceptual relationships and that if these relationships are available, they are characterized by the establishment of dependency relations as a thinking operator linked to the concepts of Chemical Kinetics and structure describing an operative invariant. The importance of the constant mediation by professors during learning and concept articulation is critical.

**Keywords:** Conceptual Fields Theory, Chemical Kinetics, Structural Chemistry, Undergraduate chemistry teaching.

**Autores:** Rodrigo Martins Santiago da Silva, Marcelo Gouveia Nascimento, Rodrigo Luiz Oliveira Rodrigues Cunha, Marco Antonio Bueno Filho

\* Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH), UFABC – Universidade Federal do ABC. Santo André - SP, Brasil. Endereço: Avenida dos Estados, 5001 – Bangu – Santo André – SP – Brasil. CEP 09210580 Bloco A – Sala 0618-3. Correo electrónico: [marco.antonio@ufabc.edu.br](mailto:marco.antonio@ufabc.edu.br)



# CONSTRUCCIÓN DE RELACIONES ENTRE CONCEPTOS RELATIVOS AL CAMPO ESTRUCTURAL Y AL CAMPO DA CINÉTICA QUÍMICA POR ESTUDIANTES DE PREGRADO EN LA ACEPCIÓN DE LA TEORÍA DE LOS CAMPOS CONCEPTUALES

## Introducción

La práctica profesional en el mundo contemporáneo requiere la capacidad de movilizar y resignificar conceptos de distintos campos del saber. Sin embargo, tanto los estudiantes como los egresados de los cursos de grado tienen dificultades en el manejo de los conceptos que se repiten en la propia asignatura o área de conocimiento (Japiassú, 1976; Novaes et al., 2012). En este sentido, las investigaciones que contribuyan a esclarecer la manera como es la formación y la reformulación de las relaciones conceptuales durante la resolución de tareas pueden ser de especial interés a la mejora del proceso de enseñanza y aprendizaje en diferentes niveles de la educación, incluyendo la Educación Superior.

Los campos de conceptos relacionados con la acción enzimática son conceptualmente ricos. Vergnaud (1998) define campos de conceptos como un conjunto informal y heterogéneo de situaciones, conceptos y operaciones del pensamiento, conectados entre sí y entrelazados durante el proceso de aprendizaje. En la construcción de modelos explicativos relacionados con el complejo enzima-sustrato, así como apuntan Linenberger y Bretz (2015), se necesita una representación mental impregnada de contenidos conceptuales articulados entre sí.

Sin embargo, no siempre la construcción de estos modelos se da adecuadamente en la Química y Bioquímica. Carrascosa (2005) y Medeiros et al. (2009) señalan que muchos estudiantes memorizan contenido o desarrollan concepciones alternativas ya que muchos términos tienden a ser similares, aunque tengan significados y representaciones distintas. Cabe destacar la química de aminoácidos, interacciones receptor/ligando, las funciones de las proteínas reguladoras y la cinética enzimática (Sears, et. al., 2006).

No obstante, no es suficiente tener una comprensión conceptual relevante y hacer uso de un modelo explicativo adecuado para solucionar tareas que implican este tipo de transformaciones. También se movilizan las operaciones del pensamiento para explicar las interacciones enzima-sustrato, guiadas por hipótesis, por comparaciones y metáforas directamente vinculadas al conjunto de conceptos involucrados en la solución de un problema específico.

Otro concepto de importancia fundamental en la Teoría de los Campos Conceptuales es el concepto de la situación. Vergnaud (2009) define la situación como una tarea que exige una respuesta cognitiva de un sujeto de acuerdo con el contexto didáctico de cada uno, donde, a partir de la confrontación con las situaciones, y el dominio que alcanza progresivamente sobre ellas, es que el sujeto da forma a los campos conceptuales que constituyen su repertorio de conocimientos.

El vínculo que se establece entre el sujeto y la situación requiere ciertas formas de conducta guiadas por las representaciones internas. Para Vergnaud los esquemas figuran como formas de conducta que, impregnados de la amalgama de las relaciones

conceptuales y operaciones de pensamiento, llamados invariantes-operatorios, caracterizarían la acción de un sujeto frente a una clase de situaciones, en calidad de diseñador principal del pensamiento humano (Bronckart, 2007).<sup>1</sup>

Sears, et. al. (2006) enfatizan que la mayoría de los libros de Bioquímica modernos, introducen los alumnos al estudio de estas estructuras químicas complejas y terminan por valorar sólo las conformaciones estructurales y sus propiedades, dejando a un lado los conceptos básicos e importantes como el Equilibrio Químico, creando dificultades en el aprendizaje sobre el proceso de inhibición enzimática (Vella, 1990).

En este trabajo fueron adoptados referenciales complementarios y coherentes con las proposiciones de Gérard Vergnaud, con el fin de localizar y describir los procesos enzimáticos como campos conceptuales: la proposición de Mullins (2008) sobre el uso de seis conceptos para explicar la estructura y reactividad que constituye el Campo Conceptual Estructural (CCE); y Justi y Gilbert (1999a; 1999b) que se indican los modelos explicativos relacionados con el Campo Conceptual de la Cinética Química (CCC), como se muestra en las Tablas 1 y 2:

Campo Conceptual Estructural (CCE)	
Electronegatividad	Tendencia de un átomo para atraer electrones en un enlace químico.
Enlace covalente polar	Efecto polar sobre un enlace químico causado por el recubrimiento desigual de la densidad electrónica.
Efecto estérico	Tendencia habitual de átomos o grupos de átomos en repeler entre sí para ocupar espacio.
Efectos inductivos	Inducción de carga a través de una cadena de átomos en una molécula.
Resonancia	Deslocalización electrónica envolviendo orbitales p.
Aromaticidad	Estabilidad de electrones en orbitales p en los sistemas cíclicos

<sup>1</sup> Indica las actividades operativas. Por lo tanto, un esquema es lo que se puede repetir y generalizar en una acción. Por otra parte, Piaget (1975) también utiliza el término schema para designar la imagen simplificada como una representación de un mapa de una ciudad.

**Tabla 1.** Conceptos relativos al Campo Estructural Conceptual (CCE) - (Mullins, 2008)

Campo Conceptual de la Cinética Química (CCC)	
Modelo corpuscular de afinidad	Define que la velocidad de las reacciones depende del grado de afinidad entre los materiales.
Modelo cuantitativo	Relaciones de proporcionalidad entre la velocidad a la que se produce una reacción y la variación de la concentración de partículas de reactivos o de productos en un dado intervalo de tiempo.
Modelo del mecanismo	Relaciones entre la velocidad de las reacciones y las diferentes etapas de interacción entre las partículas.
Modelo cinético	En relación con la rotura y formación de enlaces por medio de colisiones entre las moléculas, siendo la velocidad de las reacciones dependiente de la frecuencia de colisiones con moléculas con energía y orientación adecuadas.

**Tabla 2.** Modelos relativos al Campo Conceptual de la Cinética Química (CCC) - (Justi y Gilbert, 1999a; 1999b)

Es importante tener en cuenta que los campos conceptuales estructural y de la cinética química, así como sus relaciones, no son apenas un listado de palabras concepto y sus definiciones. Se debe considerar la estructura de las moléculas como entidades

representacionales que demandan conceptos y son claves para la explicación e interpretación de datos experimentales de la cinética de enzimas. Con esta información, podemos fortalecerla sintonía del campo conceptual estructural y sus relaciones con el campo de la cinética química.

## OBJETIVO

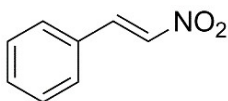
Este trabajo tiene como principal objetivo contribuir al estudio de los procesos de conceptualización con un enfoque en la construcción de relaciones conceptuales entre la estructura y la Cinética Química en el ámbito de la inhibición enzimática por parte de los estudiantes de pregrado. La principal hipótesis es que los estudiantes podrían construir relaciones de dependencia entre estos campos de conceptos mediante la ayuda del profesor en la solución de tareas.

## METODOLOGÍA

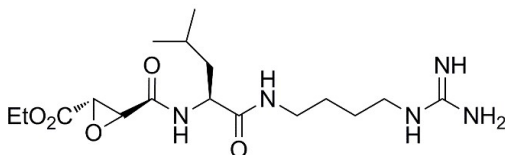
### Contexto de la Investigación

Como se muestra, este estudio trata de acceder a los detalles sobre el contenido conceptual y procesos de las operaciones lógicas de pensamiento de los estudiantes de pregrado bajo la luz de la Teoría de los Campos Conceptuales (Vergnaud, 1990). Se propuso una serie de enseñanza experimental implicando la actividad proteolítica presente en el jugo de piña, principalmente relacionada con la cisteína proteasa de la bromelina y su comportamiento en relación con el inhibidor  $\beta$ -nitroestireno, previamente sintetizado y conocido inhibidor E-64 (Figura 1).

**Inhibidor 1:**



**Inhibidor 2:**



**Figura 1.** Los inhibidores enzimáticos utilizados en el experimento: (1)  $\beta$ -nitroestireno y (2) trans epoxisuccinilo-L-leucilo-amida (4-guanidino) butano.

La secuencia de enseñanza integró un curso corto extracurricular, sin hacer parte de una asignatura específica, con clases teóricas y experimentales sobre la cinética enzimática y se ofreció en diciembre de 2015.

El público de esta investigación consistió en 9 (nueve) estudiantes de pregrado de la Universidad Federal de ABC (UFABC) y también de la comunidad externa vinculada a otras instituciones de Educación Superior que ya habían cursado las asignaturas introductorias de Química Orgánica, Biología y Bioquímica. Como se resume en la Tabla 3, a la que asistieron nueve estudiantes, uno de otra institución de Educación Superior (IES).



Participante	Año de Ingreso en Grado	Trayectoria académica
A1 <sup>a</sup>	2012	Egresado del BC & T y de la Licenciatura en Química. Tenía ganas de cursar el Grado en Química en el momento de la recolección de datos *. Estudió la Secundaria Técnica y estaba empezando un posgrado stricto sensu en un programa de enseñanza en UFABC.
A2 <sup>a</sup>	2012	BC & T en curso. Deseaba cursar el Grado en Química *. Cursó la Escuela Secundaria Técnica en Química
A3 <sup>b</sup>	2010	Egresado de la Licenciatura en Química **. Posee un posgrado lato sensu en Química.
A4 <sup>a</sup>	2011	BC & T en curso. Deseaba cursar el Grado en Química *
A5 <sup>a</sup>	2009	Egresado del BC&T. Deseaba cursar el Grado en Química *. Hizo intercambio internacional, estudiando dos asignaturas de Química.
A6 <sup>a</sup>	2013	BC & T en curso. Deseaba cursar el Grado en Química *. Cursó la Escuela Secundaria Técnica en Química.
A7 <sup>a</sup>	2008	BC & T en curso. Deseaba cursar el Grado en Química *
A8 <sup>a</sup>	2008	Egreso del BC&T. Deseaba cursar Grado y Licenciatura en Química*
A9 <sup>a</sup>	2012	BC & T en curso. Deseaba cursar Ingeniería de Materiales, y Grado y Licenciatura en Química *

\* Licenciatura en curso

a estudiante de UFABC

b estudiante de la comunidad externa

\*\* Grado Completado

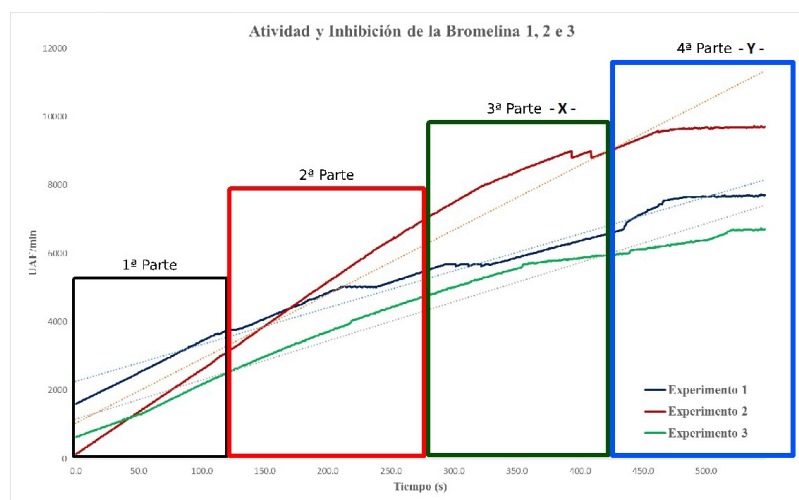
El curso tuvo duración total de 16 horas, organizado en 4 clases, como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 3.** Detalles de la IES de origen, asignaturas cursadas, fecha de entrada o de formación e informaciones extras de los participantes del curso.

Clase	Contenidos	Conceptos relacionados
1	Presentación del curso. Lección magistral sobre los fundamentos básicos en Síntesis Orgánica y Cinética Enzimática.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificación de Síntesis Orgánica;</li> <li>Enzimas: Estructura, inhibición, cinética;</li> </ul>
2	Secuencia experimental en laboratorio: síntesis y purificación de un inhibidor de la cisteína proteasa ( $\beta$ -nitroestireno).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Síntesis Orgánica.</li> </ul>
3	Secuencia experimental en laboratorio: caracterización de la actividad enzimática de la cisteína proteasa (bromelina) presente en el jugo de piña. Inclusión del reductor ditiotreitól (DTT) y la inhibición de la enzima con $\beta$ -nitroestireno y el inhibidor conocido, el E-64.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Actividad Enzimática (CCC);</li> <li>Cinética Enzimática (CCC);</li> <li>Inhibición Enzimática (CCE, CCC);</li> <li>Identificación y nomenclatura de compuestos (CCE).</li> </ul>
4	Secuencia en papel y lápiz: comparar la acción de $\beta$ -nitroestireno y E-64 sobre la actividad enzimática, respondiendo a la pregunta: ¿cuál es el inhibidor más eficiente? <b>Ciclo I:</b> discusión intra-grupos. <b>Ciclo II:</b> debate plenario con participación de todos los estudiantes y el profesor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tríada Catalítica (Ácido, Base y Nucleófilo) (CCE);</li> <li>Electrófilo (CCE);</li> <li>Polaridad (CCE);</li> <li>Reducción (CCE)</li> <li>Isomería (CCE);</li> <li>Estereoquímica (CCE);</li> <li>Velocidad máxima (CCC);</li> <li>KM de una enzima (CCC).</li> </ul>

**Tabla 4.** Planeamiento didáctico del curso corto sobre la inhibición enzimática.

En cuanto a la prospección de datos sobre cómo los estudiantes movilizan los conceptos y las operaciones de pensamiento en el contexto de los procesos enzimáticos, se prestó especial atención al último día de actividades. En él, las situaciones fueron organizadas en ciclos de discusiones con la participación directa del equipo de formación, animando a los estudiantes a construir modelos explicativos sobre la inhibición enzimática por la acción de  $\beta$ -nitroestireno y de E-64, movilizándolo el Campo Estructural Conceptual (CCE) y Campo Conceptual Cinético (CCC). Para que los estudiantes pudieran comparar la acción de los inhibidores, fue necesario presentar un gráfico de la actividad y la inhibición de tres muestras de bromelina del jugo de piña, como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Perfiles cinéticos obtenidos previamente en la actividad experimental Lección 3 (véase la Tabla 4). Áreas gráficas resaltadas en cada período específico de actividad enzimática que fueron analizados por los estudiantes.

Los diálogos promovidos en los ciclos de discusión I y II fueron guiados por la tarea de manera que los grupos de estudiantes no sabían la correspondencia de los inhibidores utilizados para las regiones gráficas que se muestran en la Figura 2. Por lo tanto, se atribuye el nombre X a la 3ª zona gráfica (en relación con el inhibidor 1 -  $\beta$ -nitroestireno) e Y a la 4ª zona gráfica (en referencia al inhibidor 2 - E-64).

A partir de las estructuras de los inhibidores, los perfiles cinéticos contenidos en cada una de las regiones gráficas que se muestran en la Figura 2 y los tipos de mecanismos de inhibición enzimáticas estudiados en las lecciones anteriores, los estudiantes deberían ser capaces de decir lo que sería el inhibidor más eficaz y por qué.

## Procedimientos de análisis de datos

Todas las etapas del ciclo corto se registraron en vídeo, centrándose en el análisis de los diálogos establecidos en los ciclos de discusión I y II, procediéndose la transcripción y la asignación de significados a las unidades textuales con la ayuda del software Transana® (Wiscosin Center for Educational Research [WCER], 2011). La atribución de significados se llevó a cabo de manera inductiva con la posterior validación por pares externos.

De este procedimiento se originó por el software Transana® una matriz de base de datos que posteriormente se exportó a una hoja de cálculo de Microsoft Excel®. Estos datos fueron sometidos al análisis de correlación (Índice-C) entre los conceptos y las operaciones del pensamiento utilizándose el coeficiente de Jaccard/Tanimoto, Índice-C (Tan et. al., 2006).



Este procedimiento resulta en números adimensionales situados entre 0 y 1, donde el grado de asociación es más expresivo cuando se acercan al valor de la unidad. Los valores presentes sobre los vértices (líneas) que unen las aristas (términos) son los valores de coocurrencia, tomadas a partir del cálculo del Índice C e indican el grado de asociación conceptual, o sea, si el estudiante hace una mayor o menor correlación entre los conceptos. Cuanto menor el índice de correlación, más lejana será la conexión entre el núcleo conceptual y la operación del pensamiento movilizado, siendo el inverso verdadero.

Finalmente, estos índices se presentan en diagramas que detallan en forma gráfica las conexiones entre las operaciones del pensamiento, y entre los conceptos movilizados por los estudiantes y profesores en el momento del curso corto.

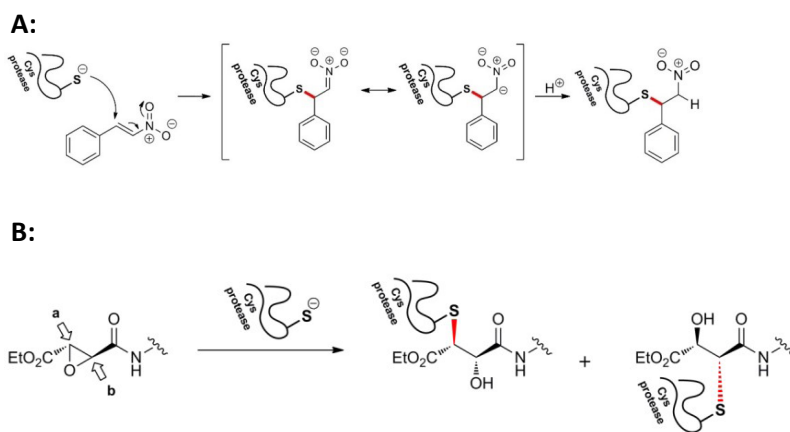
Las líneas de conexión entre los conceptos y las operaciones de pensamiento son continuas, mientras que las líneas de conexión entre los conceptos son discontinuas. Es importante resaltar que cuanto más espesa la línea, mayor será el grado de conexión entre los elementos constitutivos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis tuvo como objetivo identificar los contenidos implícitos en los esquemas de acción que surgieron a partir de los discursos de los estudiantes a medida que experimentaban las situaciones correspondientes a los Ciclos I y II.

En el Ciclo I, los estudiantes consiguieron construir relaciones de dependencia sobre la inhibición competitiva e irreversible promovida por los inhibidores  $\beta$ -nitroestireno y E-64 sobre la bromelina. En efecto, se esperaba que fueran capaces de profundizar y ampliar el conocimiento, estableciendo nuevas relaciones conceptuales.

En el caso de la inhibición irreversible, se esperaba que los estudiantes fueran capaces de relacionar la noción de irreversibilidad a la formación de una especie estable covalentemente unida al sitio enzimático, como se muestra en la Figura 3 para la inhibición que implica cada uno de estos compuestos, suponiendo el Modelo de Mecanismo (Justi y Gilbert, 1999).



**Figura 3.** A: Mecanismo de inhibición de cisteína proteasa de  $\beta$ -nitroestireno. B: Mecanismo de inhibición de cisteína proteasa E-64. El enlace en rojo, muestra el enlace covalente formada en las reacciones de los inhibidores con la enzima.

En el caso de la posibilidad de la inhibición competitiva también se esperaba que los estudiantes consideraran factores estructurales en sus explicaciones. Dado que este tipo de inhibición enzimática es predominantemente afectada por la similitud estructural entre inhibidor y el sustrato, las explicaciones en este contexto deberían aproximarse del Modelo Corpuscular de Afinidad (Justi y Gilbert, 1999a).

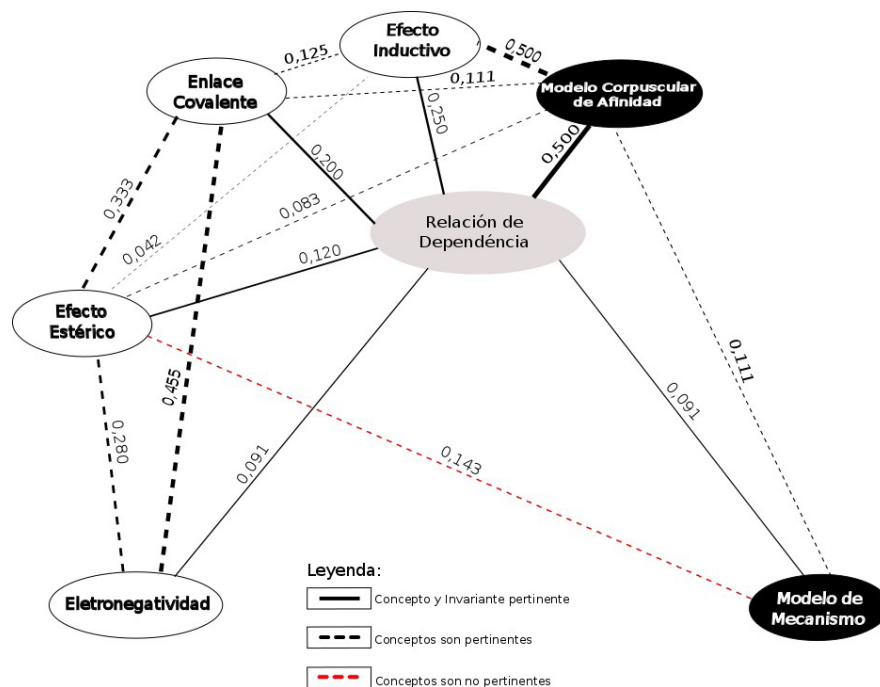


Figura 4. Diagrama D1 – Invariantes Operatorios relacionados a la Relación de Dependencia y sus relaciones conceptuales.

La figura 4 se refiere al conjunto de diálogos establecidos durante el Ciclo I, que explican que los conceptos y modelos explicativos fueron pertinentemente marcados por relaciones de dependencia. Esta es la correlación, conexión o unión presentada entre diferentes elementos cognitivos, en este caso los conceptos y modelos movilizados durante la resolución de tarea sin el establecimiento de subordinación o la jerarquía entre ellos. Un ejemplo de la correlación pertinente al modelo del mecanismo por relación de dependencia se puede observar en un recorte de la siguiente transcripción.

**024 A9:** ¿Pero estás diciendo **que es irreversible porque no tiene más actividad?** (0:04:50.7)

**025 A8:** Sólo hay que ver el gráfico, **cuando está recto es cuando la enzima perdió su actividad.** (0:04:54.4)

En este extracto, A8, contesta A9 sobre el estado inactivado de la enzima conectándola al hecho del gráfico de la Figura 2 ser una línea recta, en un punto en alusión a la posibilidad de que esta es una inhibición irreversible.

Sin embargo, en algunos casos, esta conexión no fue llevada a cabo de manera coherente. Este hecho es evidenciado por la correlación poco significativa entre el





Modelo Corpuscular de Afinidad y los efectos estéricos, además del uso no relevante de esta idea en relación con el Modelo de Mecanismo.

021 A8: ¿Esta de aquí **no es competitiva**? En este caso aquí es el 2 (E-64), ¿verdad? Éste aquí es el 1 ( $\beta$ -nitroestireno)... (0: 04: 26.4)

022 A9: Porque este es el más grande, ¿no es cierto? (0:04:28.0)

023 A8: ¿Sí...qué tipo de inhibición? .... Este **aquí ( $\beta$ -nitroestireno) es competitivo, no es irreversible, ya que todavía tiene la actividad (la enzima)**. (0:04:46.1)

En este extracto, los estudiantes estaban aún analizando las estructuras de inhibidores ( $\beta$ -nitroestireno y E-64), así como del gráfico de cinética enzimática mostrado en la Figura 1. El estudiante A9 relaciona el tamaño de la estructura al tipo de inhibición conectándolos al Modelo Corpuscular de Afinidad y al Modelo de Mecanismo. Sin embargo, el estudiante A8 no observa la posibilidad de un inhibidor ser irreversible y la enzima todavía poseer actividad ya que esto dependería de la eficiencia del inhibidor ante la enzima y también de las cantidades implicadas, tanto de inhibidor, como de enzima.

Volviendo a la figura 4, a pesar de la afinidad corpuscular ser un modelo de base cinética, está fuertemente marcada por la idea de similitud estructural. Este uso se puede demostrar en el discurso del siguiente estudiante A5.

**054 A5: Porque es posible tener situaciones como la que estábamos hablando... de atacar la doble y... en definitiva, de contener la reacción. Y bajo que tiene dos similares con el enlace peptídico, estaba pensando que sólo cuando la enzima conecta la estructura de este inhibidor 2 (E-64) que cambiará la conformación de la enzima y luego lo harían como ya tiene una estructura de un aminoácido.** (0:13:03.9)

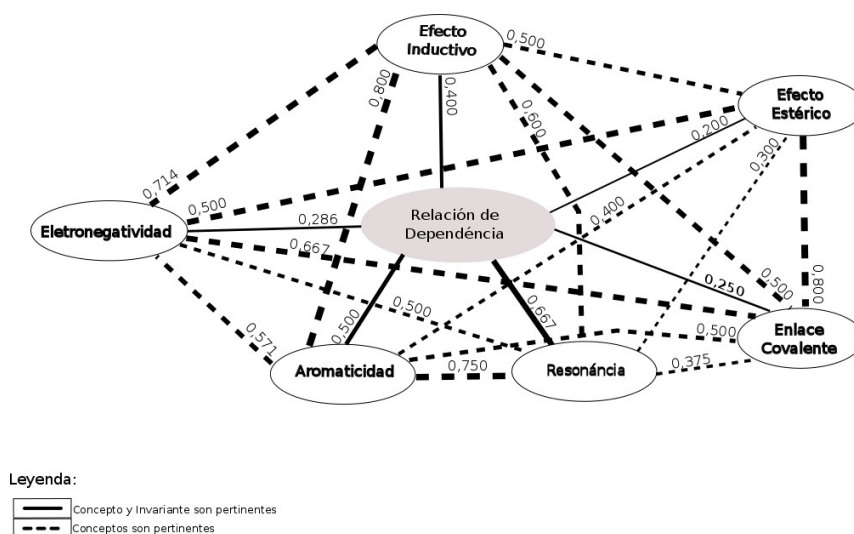
En este caso, el estudiante A5 conecta los conceptos de efecto estérico y enlace covalente implícitos en la idea del ataque nucleófilo sobre el establecimiento de  $\beta$ -nitroestireno a la necesidad de un ajuste conformacional de la enzima.

Aunque no es una explicación inadecuada, es un modelo generalista que podría ser enriquecido con elementos relacionados al Modelo de Mecanismo tales como grupos de aminoácidos afectados durante la reacción, y adecuación de orientación espacial en el sitio de reacción.

El Ciclo II se inició cuando un grupo de estudiantes fue a la pizarra y presentó a todos los presentes la resolución elaborada por ellos. Poco después de esta presentación, se abrió un debate plenario para que todos pudieran participar, hacer sugerencias o críticas a la solución propuesta.

Desde los diálogos que se establecieron en este momento, elegimos a surgir diagramas de correlación conceptual distintos para las frases del profesor y de los grupos de estudiantes con la expectativa de acceder informaciones sobre el papel del profesor sobre el movimiento en la construcción de un esquema colectivo.

Por lo tanto, el diagrama D2 contenido en la Figura 5, se refiere sólo a intervenciones del profesor cuando los alumnos resolvían la tarea sobre la asignación de la identidad del inhibidor enzimático.



**Figura 5.** Diagrama D2 - Invariantes Operadores relacionados con la Relación de Dependencia y sus relaciones conceptuales

Desde el punto de vista de las frases del profesor, las interacciones establecidas en ese momento forman un esquema de acción caracterizado por correlaciones conceptuales dependientes entre sí, en mayor medida en comparación con las movilizadas por los estudiantes en el mismo ciclo (Figura 6), aunque el Campo de la Cinética Química no se ha enfatizado en ese momento.

**089 P2:** ... "Este par de electrones aquí, se puede llegar hasta aquí en la contribución híbrido de resonancia, formando eso. Vamos a sacar aquí, con dos metilos...aquí... aquí... ¿verdad? En amidas lo que ocurre un fenómeno curioso...vean... "En un éster yo podría pensar lo mismo...ese par de electrones aquí contribuye en el híbrido de resonancia también. Sólo que el oxígeno es mucho más electronegativo que el nitrógeno, por lo que este par de electrones aquí no es tan disponible para contribuir con una estructura de esa aquí, mira. Él no está tan disponible a donar para el carbono, ya que es más electronegativo. Ahora el nitrógeno, no tanto, es menos electronegativo que el oxígeno, por lo que este par de electrones está ya un poco más disponible para contribuir en este híbrido de resonancia. "Y curiosamente en amidas, ella es una estructura muy rígida, precisamente porque la contribución de este par de electrones aquí, formando un par es muy... importante... (0: 22: 16.1)

El profesor relacionó la dependencia entre la disponibilidad de un par de electrones presentes en un enlace covalente polar, la electronegatividad de los heteroátomos y la contribución de cada uno para un híbrido de resonancia. Además, relaciona con mayor relevancia las dependencias conceptuales de éstos entre sí con el fin de dirigir a los estudiantes para solucionar la tarea.

Las frases de los estudiantes que tomaron la palabra durante el debate plenario, se describen en el diagrama D3 (Figura 6).

En este proceso, se observaron algunas diferencias significativas respecto del Ciclo I. Creemos que estas diferencias se refieren con una mayor participación de los estudiantes y profesores durante el debate plenario y también la construcción de un esquema colectivo, es decir, la influencia mutua y constante sobre todos. Se observa que, para

Vergnaud (1998) un conjunto construido a lo largo de las actividades de colaboración puede conducir al aprendizaje a partir de un sistema colectivo.

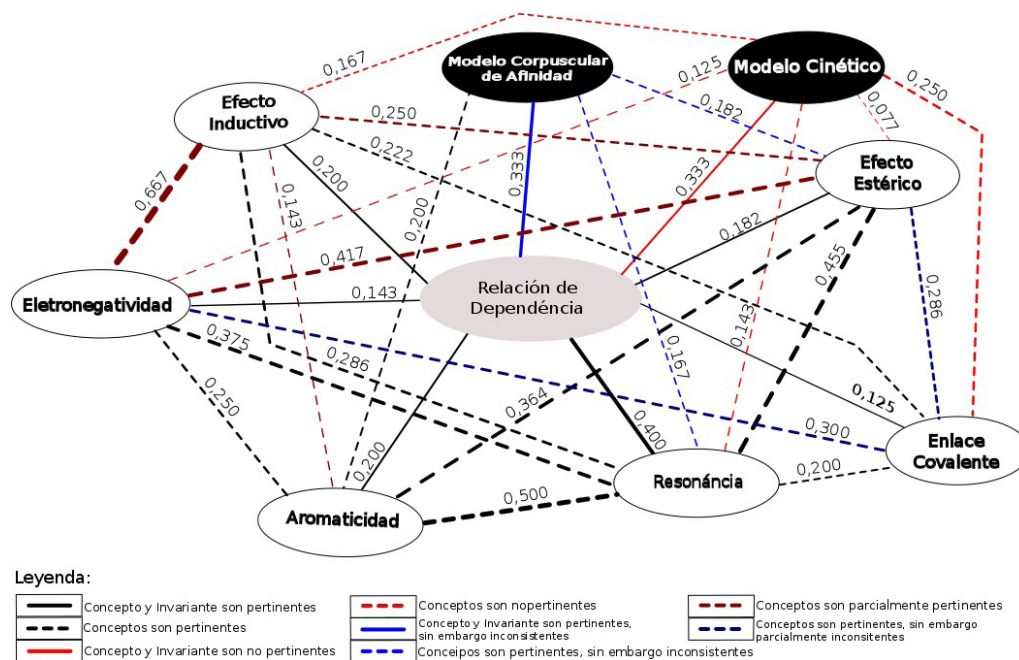


Figura 6. Diagrama D3 – Invariantes Operadores relacionados a la Relación de Dependencia y sus relaciones conceptuales.

El estudiante A1, en el extracto siguiente, movilizó elementos establecidos en los campos estructurales correctamente, relacionando las dependencias con efectos estéricos, resonancia y aromaticidad.

**104** A1: Debería... por ejemplo, para ocurrir aquel mecanismo en que **se rompe la insaturación que está en resonancia con el anillo**, o sea, una...**es una estructura mucho más estable, bien estable que, en relación con la apertura del epóxido**, así que en ese sentido tal vez el X sea el  $\beta$ -nitro-estireno, porque es más difícil de ocurrir aquella reacción. Así que tal vez no se tenga una inhibición tan prominente. Como es que aquel mecanismo está más fácil de suceder, sería el inhibidor de Y. (0:25:55.2)

En este extracto, el estudiante asignó el  $\beta$ -nitroestireno a la incógnita X, y al otro inhibidor la incógnita Y mientras que gradualmente relacionó factores estructurales, en este caso la estabilidad del enlace covalente con el efecto de resonancia al anillo aromático como factores mutuamente dependientes articulados entre sí. Todavía, nos damos cuenta de que el estudiante no investigó a fondo los términos del Modelo Cinético, por ejemplo, la orientación espacial adecuada que se produzca este tipo de reacción.

## CONCLUSIONES

Los procesos de cinética e inhibición enzimática pueden entenderse mejor a partir de la movilización de operaciones de pensamiento capaces de entretener los Campos Conceptuales Estructurales (CCE) y la Cinética Química (CCC) con énfasis en las relaciones de dependencia.



Percibimos una similitud entre el diagrama D2 y el diagrama D3, surgidas a partir de los discursos durante el Ciclo II, los que sugieren la influencia de la narrativa del profesor sobre los alumnos, haciéndoles replantear sus propios conocimientos, reflexionar sobre las respuestas y volver a conectar conceptos, sean estos existentes o nuevos.

Sin embargo, incluso antes de este movimiento, de acuerdo con el diagrama D3, se puede ver la persistencia de errores en las relaciones entre los dos campos conceptuales estudiados aquí, que muestran que, a pesar de los progresos realizados en relación con el primer ciclo, los estudiantes no se han apropiado por completo de la narrativa. Esta última vez, muestra lo cuanto es necesario que un profesor esté atento a las explicaciones de los estudiantes, mientras que también sé coherente con la idea de Vergnaud (2009) que, por tratarse de habilidades complejas, el desarrollo cognitivo en un dado campo conceptual puede requerir un largo período de tiempo, no llegando a producirse el aprendizaje en su forma final en una sola etapa.

Es de destacar, por lo tanto, que el trabajo del papel de las interacciones y de la construcción colectiva de esquemas durante la presentación en el debate plenario de los estudiantes del Ciclo II, ha favorecido el entrelazamiento entre los campos a través de un plan de acción construido colectivamente.

Al estimular este puente cognitivo del estudiante se aproxima a la comprensión de nuevos conceptos. En esta perspectiva, cabe una reflexión de los profesores con respecto no sólo a los contenidos que integran la planificación de la enseñanza, sino también una atención especial a las estrategias de enseñanza que se utilizarán en el aula.

**Financiamiento:** CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil

**Agradecimientos:** CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil

## REFERENCIAS

- Bronckart, J.P. (2007). De l'activité collective à l'action et à la pensée individuelles. In: Merri, M. (Ed.). *Activité humaine et conceptualisation* - Questions à Gérard Vergnaud. Toulouse: Presses Universitaires du Mirail.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad. (Parte II). El cambio de concepciones alternativas. *Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(3), 388-402.
- Japiassú, H. (1976). *Interdisciplinaridade e patologia do saber*. Rio de Janeiro: Imago.
- Justi, R., & Gilbert, J. (1999a). A cause of a historical science teaching: use of hybrid models. *Science Education*, 83(2), 163-177.
- Justi, R., & Gilbert, J. (1999b). History and philosophy of science through models: the case of chemical kinetics. *Science & Education*, 8(3), 287-307.
- Linenberger, K. J., & Bretz, S.L. (2015). Biochemistry Students' Ideas About How an Enzyme Interacts With a Substrate. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 43(4), 213-222.
- Medeiros, S. C. S., Costa, M., & F. B.; Lemos, E. S. (2009). O ensino e a aprendizagem dos temas fotossíntese e respiração: práticas pedagógicas baseadas na aprendizagem significativa. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), 923-935.



- Mullins, J. J. (2008). Six Pillars of Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 85(1), 83-87.
- Novaes, F.J.M., Aguiar, D.L.M., Barreto, B.M., & Alfonso, J.C. (2012). Atividades Experimentais Simples para o Entendimento de Conceitos de Cinética Enzimática: *Solanum Tuberosum* – Uma Alternativa Versátil. *Revista Química Nova na Escola – QNESC*, 35(1), 27-33.
- Piaget, J. (1975). A relação entre sujeito e objeto. In: Carmichel, L. (Ed.). *Manual de psicologia da criança*. São Paulo. EPU, 4, 71–76.
- Sears, D.W., Thompson, S.E., & Saxon, S.R. (2006). Reversible Ligand Binding Reactions – Why do Biochemistry students have trouble connecting the dots? *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 35(2), 105-118.
- Tan, P.N., Steinbach, M. & Kumar. (2006). *Introduction do Data Mining. Measures of Similarity and Dissimilarity*. Ed. Nova York.
- Vella, F. (1990). Difficulties in Learning and Teaching of Biochemistry. *Biochemical Education*, 18(1), 6-8.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Reserchesen Didactique des Mathématiques*, 23, 133-170.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2), 167–181.
- Vergnaud, G. (2009). The Theory of Conceptual Fields. *Human Development*, 52(2), 83-94.
- Wiscosin Center for Educational Research [WCER]. (2011). *Transana: Qualitative analysis software for video and audio data*. Madison, WI: Author. Acesso en <http://www.transana.org/>.