

# Evaluación de las vías de razonamiento en explicaciones generadas por estudiantes en química

Morales, C., Merino, C., Arellano, M. y Jara, R.

*Instituto de Química, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile*

[ceciliaamorales@gmail.com](mailto:ceciliaamorales@gmail.com)

## RESUMEN

El presente estudio aborda el tipo de razonamiento utilizado por estudiantes de química en sus explicaciones sobre tres fenómenos naturales, relacionados con las propiedades de las soluciones: a) elevación del punto de ebullición, b) disminución del punto de fusión y c) osmosis. El objetivo es caracterizar las vías de razonamiento que utilizan los estudiantes al resolver problemas sobre temáticas en cuestión. Para la caracterización estos heurísticos, se empleó como muestra un grupo de estudiantes de entre 15 y 16 años de edad (n=35). Los resultados del test empleado, se observa que los estudiantes no manifiestan explicaciones a través de un razonamiento analítico, sin embargo, un alto porcentaje construye explicaciones causales (micro-causales o macro-causales) donde se establece la utilización de ciertas vías de razonamiento.

## Palabras clave

Aprendizaje de la química; Vías de razonamiento (heurístico o analítico); Causalidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los debates en torno a la enseñanza de la química se han centrado mayoritariamente en responder *¿Cuál es la química que se ha enseñado en las últimas décadas? ¿Cuáles son los contenidos que se debiesen enseñar? y ¿Cuáles son las mejores estrategias para construir los conceptos y modelos químicos?* (Gilbert, de Jong, Justi, Treagust, & van Driel, 2002). Aparentemente estas preguntas que son muy válidas dejan de lado el qué y cómo aprenden y razonan los estudiantes, una problemática importante y de interés para conocer cuáles son los procesos cognitivos movilizados por los estudiantes, en la explicación de fenómenos naturales; específicamente determinar el tipo de razonamiento que manifiestan los estudiantes cuando se enfrentan a fenómenos que han de explicar. Enmarcados bajo este contexto, los trabajos realizados por Talanquer (2007; 2010) muestran que las explicaciones generadas por los estudiantes cuando resuelven un problema, les ayuda a hacer juicio sobre los fenómenos naturales, articular sus comprensiones, y generar argumentos más persuasivos; en este mismo sentido los estudiantes pueden desarrollar una profunda comprensión del tema, y mejorar la transferencia de los conocimientos (Chi, 1994). Para un número considerable de profesores, el conocer la solidez de las explicaciones generadas por los estudiantes les permite determinar la significativa comprensión alcanzada por el alumno, determinar de qué manera ellos interpretan modelos y cómo construyen relaciones entre diferentes conceptos. Conociendo y caracterizando el tipo de explicaciones generadas por los estudiantes es posible determinar cuáles son las formas de razonar que ellos manifiestan

y gran parte de nuestro éxito como docentes dependerá de que tan bien se conozcan las vías de razonamiento de nuestros estudiantes (Talanquer, 2009).

## 2. MARCO DE REFERENCIA

[...] *La inclinación cognitiva de los estudiantes es de central importancia en el desarrollo del currículum y estrategias de enseñanza, para mejorar el apoyo de aprendizaje de los estudiantes en ciencia, así como en la valoración del diseño de herramientas que recojan evidencia válida de estudiantes universitarios [...]* (Maeyer (Maeyer & Talanquer, 2010, p. 963). Por otra parte, como también ha sido indicado por Ausubel, es muy importante que el profesorado conozca cuáles son las ideas de los estudiantes sobre la temática que se intenta que aprendan para ‘enseñarles en consecuencia’. Pero los avances logrados por la didáctica de las ciencias (y particularmente de la química) están mostrando que además de conocer las ideas de los alumnos también se debe determinar cómo razonan y aprenden para poder guiarlos a construir los conocimientos químicos. En esta línea de investigación existe amplia evidencia de que cuando los alumnos abordan el análisis de problemas científicos, utilizan estrategias de razonamiento y metodologías superficiales o aplican heurísticos importados del contexto cotidiano pero de dudosa utilidad cuando se trabaja con contextos científicos (I. Pozo & Gómez-Crespo, 1991). Talanquer (2009), establece que los estudiantes podrían estar predispuestos hacia algunos modelos explicativos caracterizados como no causal, macrocausal y microcausal cuando son sometidos a preguntas relacionadas con la noción de propiedades coligativas de las soluciones.

Las explicaciones causales no son un foco de estudio nuevo. Sino que han sido estudiadas por una gran cantidad de investigadores. De esta manera se puede considerar como principal impulsor de esta corriente a Piaget, quien hacia los años 70 inicia una tercera etapa dentro de su investigación; abordando dos grandes problemas que estaban quedado en suspenso en aquella década: el pensamiento físico y la reformulación completa de una teoría del mecanismo del desarrollo. El estudio de “las teorías de la causalidad” reunió a epistemólogos como Rosenfeld, Bunge, Kuhn, Halbwachs, y más tarde Rolando García incitó a los psicólogos a emprender un conjunto de investigaciones que condujeron, en particular, a la obra de Piaget y García “*Las explicaciones causales*” en 1971 (Piaget, 1974). Donde se pone de manifiesto la dificultad de los estudiantes para realizar razonamientos analíticos. Asimismo desde la didáctica de las ciencias, particularmente en química, los estudios de Brosnan (1990; 1999), como también los de Andersson y colaboradores (B. Andersson, 1986; Andersson, 1985; B. R. Andersson, 1986), se aproximándose desde la gramática funcional (Halliday, 1972, 1985) para categorizar las explicaciones macro y micro en los cambios de la materia, incursionando en dar un “carácter causal”, centrado en un “agente eterno” que activa estas explicaciones causales sobre la naturaleza de los cambios en la materia.

En la literatura se ha establecido la existencia de distintas formas de razonamiento, tales como razonamiento espontáneo o como razonamiento basado en el sentido común (Talanquer, 2007; Vicente Talanquer, 2010), heurísticos (J. I. Pozo, Gomez, M. A. , Sanz, A., 1999), metodología de la “superficialidad” (Gil-Perez, 1987) o el “causalismo simple” (Andersson, 1990). Las que se caracterizan por la rapidez en extraer conclusiones o realizar generalizaciones a partir de unas pocas observaciones cualitativas poco rigurosas, o en aceptar como verdades absolutas evidencias de sentido común asumidas en la cultura cotidiana.

Por otra parte, según Talanquer(2010) los procesos heurísticos son atajos en el razonamiento que un estudiante utiliza para extraer información y generar explicaciones. Este tipo de razonamiento presenta las siguientes categorías que se revisan en la tabla 1.

Categorías	Definición
<i>Asociación:</i>	Se refiere al razonamiento causal, que ocupa un lugar preponderante en el análisis de procesos y eventos. Por tanto una gran cantidad de problemas se reduce a la identificación de causas y predicción de efectos, tarea que se simplifica con reglas asociativas básicas, tales como: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) <i>Covariancia:</i> generaliza causas y efectos, siempre que se dé la causa se producirá el efecto.</li> <li>b) <i>Similitud:</i> la causa y el efecto comparten características comunes.</li> <li>c) <i>Proximidad:</i> asocian eventos cercanos en tiempo y espacio.</li> <li>d) <i>Aditividad:</i> dos efectos se combinan linealmente entre sí.</li> <li>e) <i>Disponibilidad:</i> las causas las identifica bajo su disponibilidad cognitiva, (lo que recuerda, lo que estudió recientemente)</li> </ul>
<i>Reducción</i>	Simplifica el análisis del problema reduciendo el número de factores a considerar.
<i>Fijación</i>	Cuando aprende un principio lo aplica a todos los problemas.
<i>Secuencia lineal</i>	Concibe un proceso como una secuencia lineal que tiene un principio y un fin.

Tabla 1. Tipos de razonamiento

Se ha establecido que la mente humana opera con dos modos principales de razonamiento, el heurístico como se explicó anteriormente y el analítico, que presenta características como: a) es un proceso consciente y controlado, b) requiere de un gran esfuerzo y es lento, c) y está limitado por la capacidad de memoria de trabajo. En ocasiones puede existir una conjugación de estos dos tipos de razonamiento, a lo que se ha denominado Teoría de Proceso Dual. Finalmente de acuerdo al marco de referencia nos preguntamos: *¿Los estudiantes de secundaria, qué tipo de explicaciones logran elaborar ante un fenómeno? ¿Son realmente capaces de generar explicaciones plausibles o argumentos más persuasivos? ¿Cuál es la capacidad de análisis con la que cuenta una muestra de estudiantes? Y ¿Qué vías de razonamiento están implícitas en sus explicaciones?*

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Descripción de la muestra

Para evaluar las vías de razonamiento se recurrió a una muestra de 35 estudiantes (todos del género masculino). La edad promedio de los estudiantes es de 15,5 años.

#### 3.2. Técnica de generación y análisis de datos

El instrumento usado fue un cuestionario por escrito de tres preguntas, el cual se ha aplicado en un estudio anterior realizado por Talanquer(2010) sobre las propiedades coligativas de las soluciones. En este caso y a diferencia del estudio nombrado antes, los estudiantes tuvieron previa instrucción en torno al contenido y tiempo suficiente para responder y obtener explicaciones plausibles bajo un razonamiento analítico del problema en cuestión. Esta enseñanza se basó en dar explicaciones a los cambios que sufre un solvente líquido, en sus propiedades (punto de ebullición, punto de fusión y

osmosis) con la adición de solutos volátiles o no volátiles, con respecto a su forma pura. De acuerdo al análisis de factores termodinámicos que dan explicación a estos cambios, además del análisis a nivel de representaciones microscópicas a través del modelo cinético molecular y de las interacciones intermoleculares que se establecen entre el soluto y el solvente. A través de un modelo de enseñanza aprendizaje constructivista. Lo cual se llevó a cabo en 5 sesiones de 2 horas y 15 minutos cada una, semanalmente. Por otra parte los estudiantes poseen conocimientos previos sobre Propiedades del agua, el petróleo, el aire, el suelo, los materiales, los procesos químicos, teoría atómica, propiedades periódicas, enlaces químicos (intra e intermolecular), nomenclatura química, los conceptos de leyes ponderales, el mol y estequiometría. Posterior a la aplicación del test, se realiza una clasificación de las respuestas según el tipo de explicación (no causal, macrocausal o microcausal) y luego se analizan como sub-categorías indicando el tipo de razonamiento.

### 3.3. Instrumento de Evaluación

Para una mejor comprensión de los resultados a continuación se presenta el cuestionario aplicado.

1. Una solución formada por NaCl y agua hierve a una temperatura más alta que el agua pura.
2. Cuando el azúcar se disuelve en agua, la solución acuosa resultante exhibe el comportamiento siguiente: La solución se congela a una temperatura inferior a la del agua pura (debajo de 0°C).
3. Cuando una solución formada entre agua y azúcar es puesta en contacto con agua pura a través de una membrana porosa (que permite el paso del agua, pero no del azúcar), fluye el agua pura hacia el lado que contiene la solución por lo que se ve incrementado el nivel del agua en el lado de la solución. Tal como se muestra en la siguiente imagen (ver figura 1).

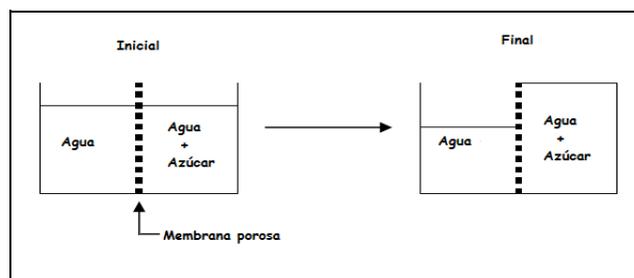


Figura 1. Imagen de pregunta del cuestionario

## 4. RESULTADOS

El análisis de los datos revela que un gran porcentaje de los estudiantes construye explicaciones no causales en las pregunta N°1 y N°2, esto indica que en algunos casos los estudiantes sólo reescriben o reformulan lo que ya se había presentado en los problemas planteados sin agregar más información. En la mayor parte de los casos no es posible establecer qué vía de razonamiento han utilizado, debido a que ellos no explican por qué ocurre el fenómeno (Gráfico 1 y 2). Un ejemplo de estas explicaciones es la siguiente:

*“Esto sucede debido a que sola el agua hierve a los 100 °C y los demás líquidos no, por lo tanto si se le agrega NaCl dejará de ser agua pura y hervirá a una temperatura distinta.”*

En relación a las preguntas N°1 y N°2, las explicaciones que han sido clasificadas como causales, distribuidas en las subcategorías de macro-causal y micro-causal, la vía establecida se identifica como proceso heurístico de razonamiento, en donde los estudiantes reducen la demanda cognitiva y tienden a generar respuestas aceptables con poco esfuerzo y en poco tiempo, es decir, son procesos inconscientes, implícitos, automáticos, rápidos, y fáciles (Gráfico 1 y 2). Ejemplos de estas explicaciones son las siguientes:

**Explicación macrocausal:** “La solución hierve a más T°, ya que, el sodio es un soluto y tiene alguna propiedad química que haga más resistente al calor”.

**Explicación microcausal:** “Debido a que existen mayor número de moléculas y atracción entre ellas, por lo que se requiere una mayor temperatura para que se rompa esa atracción y comience la evaporación”.

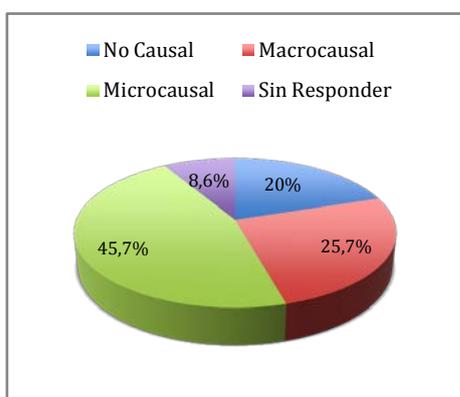


Gráfico 1: Resultados Pregunta N°1

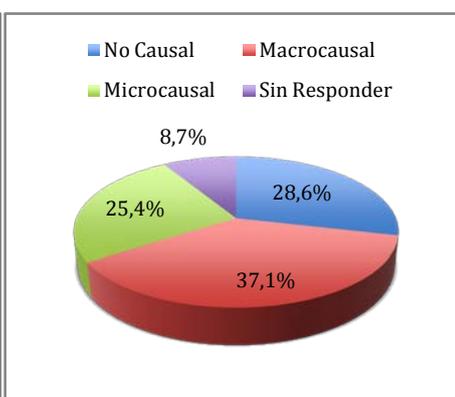


Gráfico 2: Resultados Pregunta N°2

De la categoría macro-causal, un 55,6% los estudiantes llevaron a cabo un razonamiento heurístico de asociación del tipo aditivo, en las explicaciones generadas para la pregunta N°1 y un 44,4 % de los estudiantes restantes sus explicaciones se identificaron con un razonamiento heurístico de asociación por disponibilidad, ya que a pesar de poseer conocimientos en el tema las explicaciones proporcionadas consideran sólo algunos factores. (Gráfico 3).

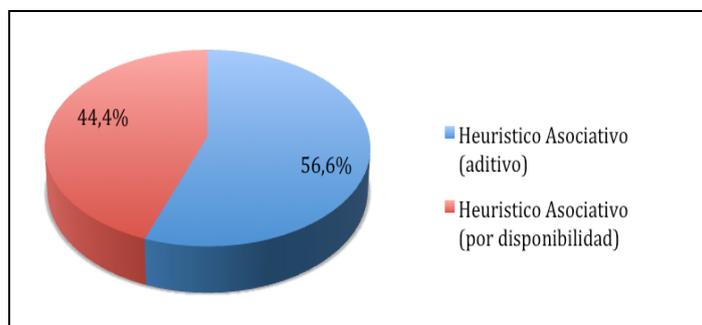


Gráfico 3: Procesos de razonamiento en explicaciones macrocausales, pregunta N°1

Por otra parte, del 37,1% de las explicaciones macro-causales formuladas en la pregunta N°2, un 15,4 % de los estudiantes, llevan a cabo un razonamiento heurístico asociativo de tipo aditivo; un 7,7 % realiza un razonamiento heurístico de fijación en que un mismo principio se aplica a los demás problemas y el 77,0 % de los estudiantes

restantes realiza un proceso heurístico de asociación por disponibilidad junto con el de reducción de la información (Gráfico 4).

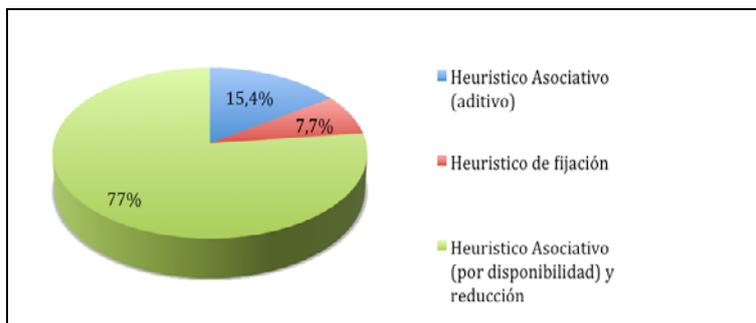


Gráfico 4: Procesos de razonamiento en explicaciones macrocausales, pregunta N°2

Del 45,7 % obtenido en la categoría de Micro-causalidad para la pregunta N°1, un 18,8% de los estudiantes lleva a cabo un razonamiento Heurístico de asociación aditiva y de reducción, en donde los estudiantes indican que el cambio en las propiedades del sistema se debe a la suma de la cantidad de partículas que se deben congelar y además consideran sólo un factor como base para sus explicaciones; y el 81,2% restante dieron explicaciones llevando a cabo las vías de razonamiento heurísticos de asociación por disponibilidad junto con el de reducción (Gráfico 5).

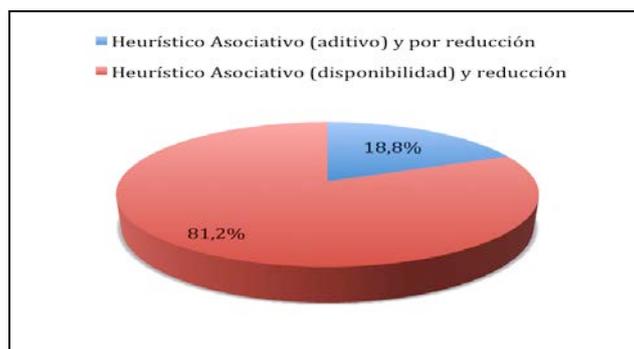


Gráfico N°5: Procesos de razonamiento en explicaciones microcausales, pregunta N°1

En cuanto a la pregunta N°2, el 100% de las explicaciones microcausales construidas en esta categoría, se llevó a cabo una vía de razonamiento heurística de Asociación por disponibilidad, más la de Reducción. En la pregunta N°3 sobre la propiedad coligativa de osmosis, la mayor parte de los estudiantes formulan explicaciones no causales (45,7%) basadas en la ley de osmosis o de tipo funcionales, las que consideran que los cambios producidos en el sistema ocurren para satisfacer un propósito (Talanquer, 2007). Este tipo de explicación muestra que han establecido una vía de razonamientos basada en principios intuitivos o suposiciones, correspondiendo a explicaciones teleológicas. En este tipo de procesos los estudiantes son propensos de emitir este tipo de explicaciones principalmente por la naturaleza del concepto de osmosis. Además en esta pregunta se obtuvo que un alto porcentaje (28,6%) no explica el fenómeno, y el 25,7 % restante da explicaciones de tipo causal, lo que se condice con un proceso heurístico de razonamiento de tipo asociativo (Gráfico 6). Algunos ejemplos:

**Explicación No Causal:** “Esto es un ejemplo de osmosis, en donde se transporta el agua de un lado a otro de la muestra, consiguiéndose una isometría entre ambos”.

**Explicación Causal:** “es por el simple hecho de que las propiedades del agua pura y el agua pura con el azúcar son totalmente distintas en sus composiciones, por ende existe una tendencia de separación, por ende no existe cohesión”.

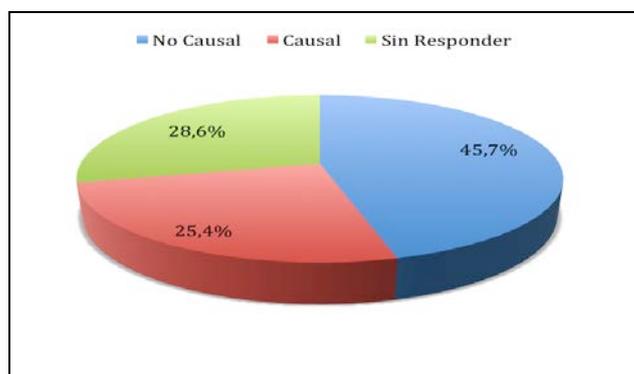


Gráfico 6: Resultados pregunta n°3

Finalmente las explicaciones que no se logran clasificar, se debe a la presencia de errores conceptuales o que el estudiante no entiende la pregunta, no explicando los fenómenos presentados en el cuestionario.

## CONCLUSIONES

Se estima que no sólo basta conocer un gran marco teórico sobre las concepciones de los estudiantes, si no se conoce cómo razonan. Hemos aportado con datos de aula, para iniciar un diagnóstico sobre las vías de razonamiento, que es el primer paso para reconocer cómo interpretan los estudiantes el mundo natural que los rodea. Lograr comprender las relaciones que establecen los estudiantes con los conceptos que dominan y el nivel de comprensión que tienen de los temas que se enseñan. Concordamos con la bibliografía que necesitamos de modelos sencillos que ayuden a los profesores a evaluar, predecir y transformar la forma de razonar de nuestros estudiantes.

Asumimos que necesario que a nivel metodológico, complementar con un grupo de discusión y entrevista individual, para caracterizar y asegurar correspondencia entre la categoría referenciada desde la teoría y el dato recogido desde el aula. Finalmente, ningún estudiante de la muestra logra elaborar una explicación que evidencie de forma explícita en ella una vía de razonamiento analítica. Se podría explicar esta carencia de modelos dinámicos de la materia como la base para sus explicaciones, a pesar de que los estudiantes hayan sido instruidos previamente en el contenido y conceptos químicos subyacentes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andersson, B. (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupil's preconception in science. *European Journal of Science Education*, 8(2), 155-171.
- Andersson, B. R. (1985). Pupils' reasoning with regard to an electromagnet. In R. Duit, Jung, W. , Rhoeneck, C. von (Ed.), *Aspects of understanding electricity* (pp. 153-163). Kiel: Schmidt & Klaunig.
- Andersson, B. R. (1986). The experimental gestalt of causation: A common core to pupils preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 2, 155-171.

- Andersson, B. R. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Brosnan, T. (1990). Categorising macro and micro explanations of material change. In P. L. Lijnse, Licht, P. , Vos, W. de, Waarlo, A. J. (Ed.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: a central problem in secondary Science Education* (pp. 198-211). Utrecht: CD-β Press.
- Brosnan, T., Reynolds, Y. (1999). Investigating understanding of chemical and physical change. In M. Komorek, Behrendt, H. , Dahncke, H. , Duit, R. , Graeber, W. , Kross, A. (Ed.), *Research in Science Education - Past, Present, and Future Vol.1* (pp. 122-124). Kiel: IPN Kiel.
- Chi, M. , de Leeuw, N. , Chiu, M. , LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477.
- Gil-Perez, D. (1987). Differences entre "modelos espontaneos", modelos enseñados et modelos científicos: algunas implicaciones didácticas. In A. Giordan, Martinand, J. L. (Ed.), *Modelos et simulation. Actes des 9. journées int. sur l'ed. scient* (pp. 118-121). Chamonix: Centre Jean Franco.
- Gilbert, J., de Jong, O., Justi, R., Treagust, D. F., & van Driel, J. (2002). *Chemical education: Towards research-based practice*. Dordrecht: Kluwer Academic publishers.
- Halliday, M.A.K. (1972). *Explorations in the function of language*. London: Edward Arnold.
- Halliday, M.A.K. (1985). *An introduction to functional grammar*. London: Edward Arnold.
- Maeyer, J., & Talanquer, Vicente. (2010). The role of heuristics in students thinking: Ranking of chemical substances. *Science Education*(1-20).
- Piaget, J. (1974). *Understanding causality*. New York: W. W. Norton & Co. Inc.
- Pozo, I., & Gómez-Crespo, J. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencias*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencias.
- Pozo, J. I. , Gomez, M. A. , Sanz, A. (1999). When change does not mean replacement: Different representations for different contexts. In W. Schnotz, Vosniadou, S. , Carretero, M. (Ed.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 161-174). Oxford, UK: Pergamon.
- Talanquer, V. (2010). Pensamiento intuitivo en química : suposiciones implícitas y reglas heurísticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 165-174.
- Talanquer, V. (2007). Explanations and Teleology in Chemistry Education. *International Journal of Science Education*, 29(7), 853 - 870.
- Talanquer, V. (2010). Exploring Dominant Types of Explanations Built by General Chemistry Students. *International Journal of Science Education*, 32(18), 2393 - 2412.