

## **Análisis desde una Perspectiva Social del Modo en como Razona un Grupo de Estudiantes de Secundaria Sobre un Sistema Complejo Diseñado con el Software de Modelamiento VnR.**

Cuitláhuac I. Pérez López

Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México

### **Resumen**

Razonar sobre un sistema complejo es complicado para los alumnos. Cuando los estudiantes intentan comprender y razonar sobre un sistema complejo se enfocan sobre las estructuras perceptuales disponibles, interpretan los procesos del sistema a partir de concebir las relaciones causales de manera lineal y unidireccional, y omiten patrones recíprocos o cíclicos. Como apoyo se ha sugerido el uso de los modos nuevos de indagación sustentados en las TIC's. Específicamente para razonamiento sobre sistemas complejos se sugiere el uso de modeladores. La literatura sobre el uso de modeladores reporta que las actividades de modelamiento promueven que los estudiantes exploren, predigan y prueben sus predicciones, así como también refinar y reflexionar sobre sus modelos. Los hallazgos reportados han sido analizados desde una perspectiva cognitiva, desde la cual el razonamiento es visto como un logro individual. Sin embargo, no es suficiente para explicar cómo los estudiantes aprenden a razonar sobre sistemas complejos considerando únicamente la estructura mental sin hacer referencia al ambiente social de aprendizaje que existe dentro del salón de clase ni considerar el razonamiento está enraizado en el contexto social en el cual se produce.

El objetivo del estudio es describir el tipo de razonamiento social presentado por los estudiantes cuando modelan un sistema complejo, así como saber si presentan argumentos y en caso de que los presenten describir las características de los mismos.

Sustentado en las categorías de análisis propuesta por Mercer (2000) y en el modelo de argumento de Toulmin (1958), se analizaron los diálogos producidos por estudiantes de una escuela secundaria mientras construían modelos de un ecosistema utilizando un software de modelamiento. Aunque los resultados que se presentan son datos preliminares, permiten observar que los ambientes de modelamiento sustentados en el uso de la computadora favorecen, de una manera muy modesta, el razonamiento social y la construcción de argumentos.

### **Razonamiento sobre sistemas complejos**

En distintos estudios se reporta que entender un sistema complejo (ecosistema, sistema económico, etc.) requiere que los estudiantes generen explicaciones que involucren patrones causales bi-direccionales, relaciones multicausales, ciclos múltiples y estructuras de retroalimentación positiva y negativa no-lineal (Bell y Grotzer, 2001; Green, 1997; Grotzer y Perkins, 2000; White, 1997). De esta manera un sistema complejo es un conjunto de relaciones donde la complejidad es referida a relaciones multicausales, ciclos múltiples y una estructura de retroalimentación no-lineal.

Estudios acerca de cómo los estudiantes entienden y razonan sobre el comportamiento de sistemas complejos han demostrado que ellos se enfocan sobre las estructuras preceptuales disponibles (Bell y Grotzer, 2001; Hmelo y Green, 2004; Hmelo, Holton, y Kolodner, 2000; Wilensky y Resnick, 1999) e interpretan los procesos del sistema a partir de concebir las relaciones causales de manera lineal y unidireccional, y omiten patrones recíprocos o cíclicos (Chi, Slotta, y Leeuw, 1994; Gobert, 2000; Green, 1997; Grotzer y Perkins, 2000; Hogan Thomas, 2001; Newton, 1996; Penner, 2000; Richmond, 1994; Southerland, Abrams, Cummins, y Anselmo, 2001; White, 1997).

Los resultados presentados en dichos trabajos muestran que razonar acerca de un sistema complejo es difícil para los estudiantes (11-18 años de edad). En consecuencia, desde esas líneas de investigación se han sugerido diferentes propuestas instruccionales para favorecer en los estudiantes el razonamiento sobre sistemas complejos. Dentro de las más mencionados están los modos nuevos de indagación ofrecidos por las herramientas y recursos sustentados en las Tecnologías de

Información y Comunicación (TIC's). Específicamente para razonamiento sobre sistemas complejos se ha sugerido el uso de modeladores.

### **Modelamiento de razonamiento apoyado en el uso de la computadora.**

El modelamiento es la construcción de un modelo de algún fenómeno a través de integrar piezas de información a cerca de la estructura, función y mecanismos causales del fenómeno.

La literatura sobre el uso de ambientes de modelamiento basado en la computadora reporta que las actividades de modelamiento promueven que los estudiantes exploren, predigan y prueben sus hipótesis (Bliss, 1994; Carney, Forrbus, Ureel, y Ureel, 2001; Salles y Bredewer, 2002; Wilensky, 1999; Zaraza y Guthrie, 1998), así como también refinar y reflexionar sobre sus modelos. Por ejemplo Bliss (1994) encontró que a través de actividades de modelamiento los sujetos que participaron en el estudio tendieron a mostrar razonamiento causal. Igualmente, reporta que las actividades exploratorias y expresivas durante las actividades de modelamiento, alentaron que los sujetos investigaran los puntos de vista de los otros sobre cierto tópico y presentaran sus propias ideas reflexionando y explorando sus propios modelos. Además los ambientes de modelamiento sustentados en el uso de la computadora permiten a los alumnos explorar y construir modelos en los cuales crean conexiones entre agentes de nivel micro siguiendo reglas y patrones de nivel macro que constituyen el mundo de fenómenos sociales y naturales (Wilensky, 2001). También ayudan a los estudiantes a articular las relaciones entre entidades o elementos de un sistema y entender como esas relaciones generan la conducta del sistema complejo (Carney, 2001). Finalmente las actividades de modelamiento pueden generar retroalimentación para los alumnos, habilitándolos a la reflexión y revisión de sus modelos.

Los programas de modelamiento no solo han sido diseñados para personas con cierto nivel de conocimiento matemático. Existen programas de modelamiento que no requieren de fórmulas algebraicas para expresar, predecir y explicar la conducta de los modelos. Un ejemplo de estos últimos es el programa VnR<sup>1</sup>, el cual permite establecer relaciones semi-cuantitativas entre los elementos del modelo. El Programa VnR posibilita generar un rango de expresiones, tan amplio como el que permite el modelamiento puramente matemático, incluyendo la representación de las circunstancias bajo las cuales un modelo es relevante y las condiciones que definen estados y habilitan procesos.

Estudios sobre comprensión de sistemas complejos utilizando materiales tradicionales o modeladores sustentados en la computadora han reportado hallazgos analizados desde una perspectiva cognitiva. La mayoría de estos estudios han usado técnicas y procedimientos para identificar procesos psicológicos. Los investigadores suponen que las personas tienen, construyen y razonan con entidades mentales, llamadas modelos o representaciones mentales (Bliss, 1994; Hogan y Thomas, 2001; Wilensky y Resnick, 1999; Zaraza y cols., 1998). Los modelos expresados son representaciones externas generadas desde las representaciones mentales de los sujetos y expresadas a través de la acción, el habla, descripciones escritas u otro tipo de materiales gráficos utilizados (Gobert, 2002).

Con dichas técnicas el interés del investigador se apoya no sólo en la realización de una secuencia de acciones, sino en el proceso que subyace la secuencia en sí misma. Los investigadores hacen inferencias acerca de las representaciones mentales de los sujetos basados en los tipos de razonamiento que los sujetos son capaces de realizar con el conocimiento que poseen.

En esta línea, el razonamiento es visto como un logro individual. Esta conducta encuentra expresión cuando el sujeto predice o explica el fenómeno en una situación aislada o individual guiándose por su estructura mental, es decir, está basada solamente en el auto-reporte, lo cual podría omitir algunos procesos de interés.

---

<sup>1</sup> El software VnR fue diseñado por Ian Lawrence. Si requiere información sobre el programa puede contactar al autor en la dirección : I.Lawrence@bham.ac.uk

De acuerdo con Leach y Scott (2003) la visión cognitiva explica porqué es difícil para la mayoría de los alumnos razonar sobre sistemas complejos, sin embargo, no es suficiente para explicar cómo los estudiantes aprenden a razonar sobre sistemas complejos. En otras palabras, no es posible explicar cómo los estudiantes aprenden a razonar enfocándose solamente en la estructura mental sin hacer referencia al ambiente social de aprendizaje que existe dentro del salón de clase. Rogoff (1998) encontró que cuando los sujetos resuelven problemas en pareja o grupos pequeños y son capaces de establecer un esquema común y metas compartidas, los cambios positivos son más probables. Por su parte Ivarsson, Schoultz y Säljö (2002) señalan que la percepción y la comprensión están fuertemente ligados con los modos de acción culturales, y ponen énfasis sobre la naturaleza mediada del razonamiento.

### **Explicación del razonamiento como una actividad inter-mental.**

Esta aproximación social visualiza al razonamiento como un modo a través del cual los estudiantes construyen y comparten conocimiento mediante el uso del lenguaje.

Varios trabajos presentan evidencias a cerca de los modos en los cuales los estudiantes tienden a hablar y pensar sobre fenómenos naturales y sociales (Ivarsson, Schoultz, y Saljo, 2002; Kleine, De Laat, y Van der Meijden, 2002; Leach y Scott, 2003; Lemke, 2001; Mercer, 2000; Pilkington, 2001; Wegerif, 2001; Wegerif, Mercer, y Dawes, 1999). Estos trabajos han puesto énfasis sobre la construcción social del conocimiento y el rol que juega el lenguaje como una herramienta para compartir y construir significados. Así, el razonamiento puede ser visto como una actividad conjunta de interacción social, compartida y construida, mediada a través del lenguaje (Mercer, 2000; Wegerif y Mercer (1997; 2000). De esta forma los estudiantes no descubren reglas lógicas de un modo solitario, sino que ellos manejan sus procesos psicológicos a través de herramientas culturales. Por tanto, el razonamiento sobre sistemas complejos está enraizado en el contexto social en el cual se produce.

Mercer (2000) señala que es posible observar y analizar el razonamiento cuando un diálogo está teniendo lugar. Su análisis es posible a través de tres categorías analíticas. Cada una de ellas representa un modo en el cual los alumnos construyen conjuntamente conocimiento durante un diálogo: 1) Habla acumulativa.- los participantes aceptan el punto de vista de los otros de un modo no-crítico a través de la repetición, confirmación y elaboración; 2) Habla de disputa.- los participantes no aceptan el punto de vista de los otros. El desacuerdo y la toma de decisiones individualizada lo caracterizan; y 3) Habla exploratoria.- los participantes se involucran con sus propias ideas y con las de los otros de manera crítica pero constructiva.

Aunque el razonamiento es visto como una práctica social, esto no quiere decir que en situaciones de enseñanza-aprendizaje de ciencias cualquier cosa debe ser considerada como viable, sino que debe ser consistente con evidencias sobre el mundo social o natural. Driver y cols. (2000) señalan que la argumentación no implica una discusión basada en creencias, sino en la presentación de evidencias y datos. Entonces, el razonamiento sobre contenido de ciencias requiere que los estudiantes sometan a juicio sus puntos de vista o conclusiones e intenten dar solución a las controversias que surjan.

En este sentido, sería necesario analizar si el diálogo entre estudiantes contiene conclusiones y sustento, o de lo contrario si carece de argumentos. Un modelo sencillo y poderoso para analizar y caracterizar diferentes tipos de argumentos es el propuesto por Toulmin (1958). A través de este modelo se pueden identificar expresiones en términos de su función dentro de un argumento. El modelo básico está compuesto por: conclusiones (la posición acerca del tema), datos (la evidencia, los hechos), y apoyos (el componente del argumento que establece la conexión lógica entre la conclusión y los datos).

### **Estudio:**

En este estudio el objetivo es describir el tipo de razonamiento social presentado por los estudiantes cuando modelan un sistema complejo, así como saber si presentan argumentos y en caso de que los presenten describir las características de los mismos.

**Sujetos.-** Se trabajó con dos grupos de segundo año y dos grupos de tercer año de una escuela secundaria privada. En total participaron 125 sujetos.

**Instrumentos y tareas.-** Se utilizó como software de modelamiento el programa VnR. La tarea que realizaron los estudiantes fue modelar un sistema complejo.

**Procedimiento.-** Se trabajó durante cuatro sesiones de 50 minutos con cada uno de los grupos. De las cuatro sesiones las dos primeras se destinaron para enseñar a los alumnos a usar el software VnR y discutir acerca de lo que son los sistemas complejos. Los alumnos trabajaron en equipos de tres o dos integrantes por computadora. Se colocó una grabadora de audio tipo reportero en cada una de las computadoras con el objetivo de grabar el diálogo entre los integrantes de cada uno de los equipos. En total fueron 16 equipos por grupo, que multiplicado por cuatro (cuatro grupos de secundaria) y por dos (dos sesiones de modelamiento) da un total de 128 sesiones de 50 minutos cada una grabadas en audio.

La tarea que se solicitó a los alumnos fue que modelaran cualquier sistema complejo que consideraran pertinente. Aunque los alumnos plantearon al maestro y al responsable de la investigación muchas preguntas, la actividad no fue dirigida en el sentido de sugerir a los alumnos que sistema modelar o como modelarlo (variable, valores y relaciones entre ellas).

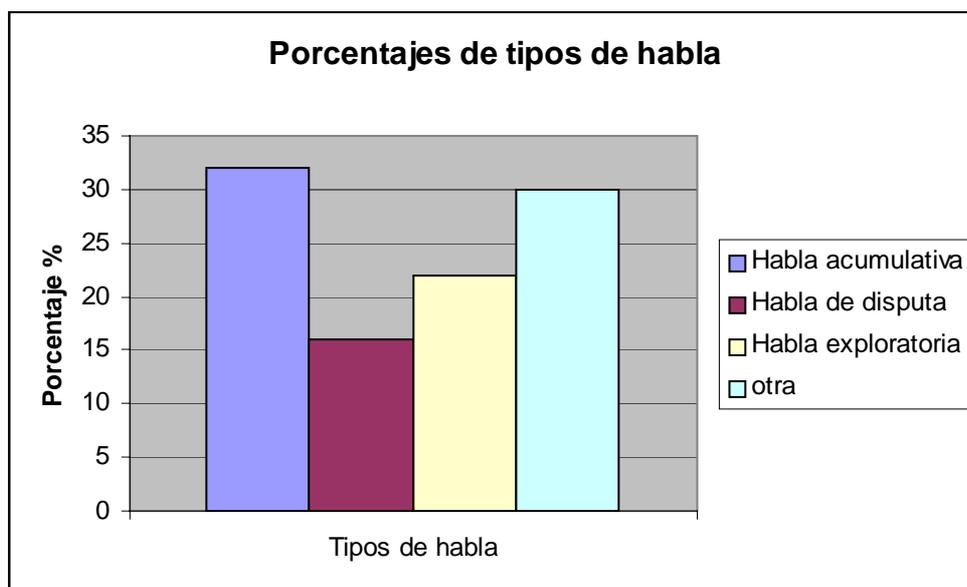
La propuesta de Mercer (2000) fue usada para analizar los distintos tipos de habla presentados en los diálogos de los sujetos, mientras que para el análisis de la argumentación se usó el modelo básico de argumento de Toulmin (1958) como un marco analítico para identificar características del argumento en el habla de los estudiantes.

La unidad de análisis se estableció en dos niveles: el macro que corresponde al diálogo entre los integrantes de cada uno de los equipos; y el micro que tiene que ver con los enunciados como unidad de la comunicación discursiva (Bajtín, 1982). La delimitación entre enunciados como unidad se determinó por la alternación de los hablantes.

Es importante señalar que los datos reportados corresponden solo al análisis de 20 de las 128 sesiones grabadas.

## Resultados Preliminares

Gráfica 1



Como se observa en la gráfica 1 el tipo de habla acumulativa fue la que se presentó en mayor porcentaje durante los diálogos de los alumnos. Esto significa que la mayor parte del tiempo los alumnos sólo aceptaron las ideas o conclusiones de sus compañeros sin revisarlas críticamente. Este dato corresponde con las evidencias presentadas por Mercer (2000) y Wegerif y Mercer (1997). Aunque el habla exploratoria no es un modo natural que se da entre los sujetos, por lo que se debe enseñar, el habla exploratoria obtuvo un porcentaje más elevado que el habla de disputa. Probablemente esto se deba a que las actividades de modelamiento utilizadas en este estudio alentaron que los sujetos revisaran las ideas o los puntos de vista de los demás.

Además, el análisis de los diálogos nos permite ver que en los equipos cada interlocutor, durante el proceso de modelamiento, va complementando las aportaciones del otro añadiendo información propia y, mediante su mutuo apoyo y aceptación, los dos o tres integrantes construyen una comprensión y un conocimiento compartidos.

Las siguientes líneas muestran cómo los tres sujetos complementan la idea.

- S1 Y el trabajo lo ponemos acá y el dinero aquí.  
S2 Este es el rendimiento y este es el dinero (risas).  
S3 Necesitas trabajo para tener dinero y necesitas dinero para que se compren necesidades.  
S1 Ahí está güey, y aquí podemos poner comida.

No sólo hacen lo que Mercer llama una conversación acumulativa sino que analizando el contenido se observa que los sujetos hacen propuestas sobre los elementos que componen el sistema, las relaciones entre ellos, y en un alto porcentaje discuten sobre los ciclos de retroalimentación establecidos entre algunos elementos del sistema.

De acuerdo con la literatura es muy complicado para los alumnos razonar de manera cíclica y con procesos de retroalimentación, sin embargo a partir de la representación de los elementos del sistema y sus relaciones, los sujetos se enfrascan en discusiones sobre la manera en que las variables del sistema están relacionadas inter-dependientemente.

En este segmento, de manera acumulativa, los sujetos establecen procesos de retroalimentación entre la variable mantenimiento y la variable hijos, así como la dependencia con el dinero.

*(Ejemplo de Habla Acumulativa)*

- S2 Vamos a poner tener mantenimiento de la casa, necesitas dinero, no pero también ah se me olvidó la idea, bueno si tienes hijos es el mayor tienes que gastar más en el mantenimiento de la casa, entonces sería que los hijos perjudican el mantenimiento de la casa.  
S1 Porque la maltratan y pintan en ella.  
S2 Entonces como sería, así (hace referencia a la relación entre la variable mantenimiento y la variable dinero).  
S1 Aja (expresión de aceptación).

Aunque ellos hablan de manera acumulativa y no presentan argumentos, discuten sobre las variables, sus relaciones y en muchos casos ciclos de repetición. Este tipo de diálogo se presenta en todos los casos que hasta el momento hemos analizado.

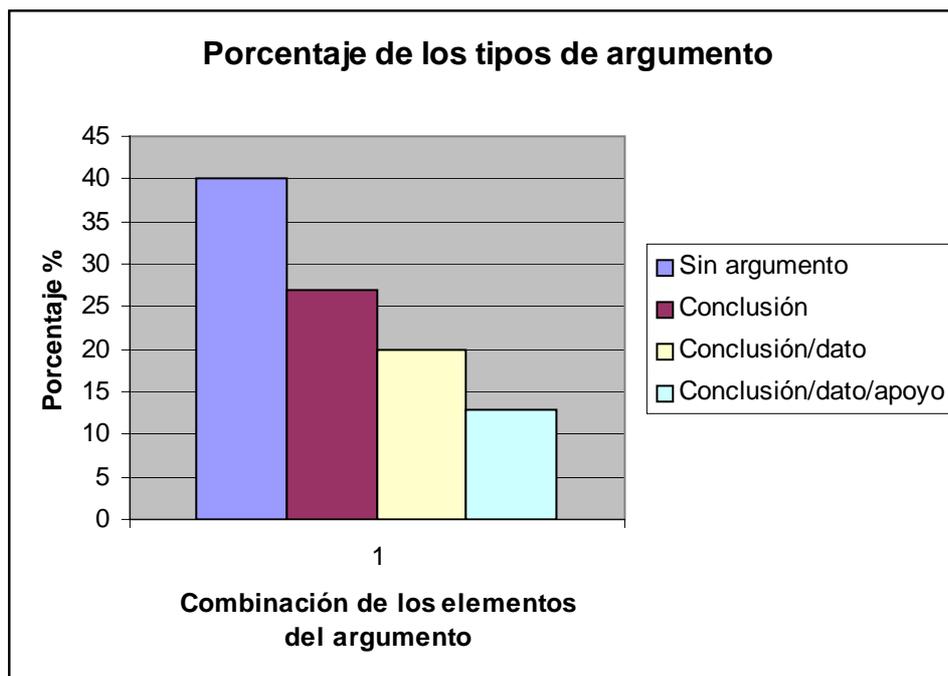
El análisis de los diálogos también presenta evidencias de que cuando los sujetos ejecutan sus modelos, gracias a la posibilidad de representar en la pantalla de la computadora las variables, modificar sus valores y ver las consecuencias de sus relaciones, tienen los elementos visuales para discutir sobre el comportamiento del sistema en función de las variables, sus valores y el tipo de relaciones establecidas entre ellas. Por ejemplo en el siguiente segmento de un diálogo se observa como los alumnos razonan sobre el comportamiento de su modelo:

*(Ejemplo de Habla Exploratoria)*

- S2 Este con este, no salida, no entrada con salida, (.) salida con entrada.  
S1 Si, así está bien.  
S2 Si ahora  
S1 No, pero pérate aquí, debemos de ponerle más porque es toda, a mayor cantidad de pasajeros aumenta el positivo de la masa.  
S2 Y esta reacciona al contrario con este, con más masa y más pasajeros aumenta (corrige) disminuye la posibilidad de vida.  
S1 Entonces,  
S2 Ese está bien, ese está perfecto, está bien,  
S1 No, porque a mayor masa aumenta  
S2 No no, bájalo, la sobrevivencia exacto, está bien como está ahora, hay que pasarnos a play (opción de ejecutar en el software VnR)  
S1 Pero entonces también la cantidad de pasajeros es negativo porque  
S2 Entre más pasajeros disminuye disminuye la probabilidad de vida  
S1 No, al contrario porque  
S2 Entre más pasajeros  
S1 Aquí pueden sobrevivir más y el peso de baja  
S2 No, porque entre más pasajeros hay, menos probabilidad porque no hay tantos botes y el barco se está hundiendo súper rápido por su peso,  
S1 Entonces lo dejo así,  
S2 Si así lo dejas si quieres ponlo aquí no tan bajito (hace referencia al valor de la variable pasajeros).

En otros casos, los menores, presentan argumentos y su tipo de habla es sobre variables (pasajeros, masa, peso, probabilidad de vida), sus relaciones y ciclos de retroalimentación.

Gráfica 2



Con respecto al uso de argumentos, en la gráfica 2 se observa que durante los diálogos de los estudiantes en un 40% no presentaron argumentos. En el 27% de ellos fueron acompañados sólo de la conclusión, pero sin datos y sin apoyos. Mientras que la combinación de conclusión y datos se presentó en el 20% de los casos.

De acuerdo con Toulmin (1958), la estructura básica de un argumento debe presentar conclusión, datos y apoyos. Este tipo de argumento se presentó en el 13% de los casos. Los resultados son congruentes a los reportados por otros estudios como son el de Newton y Newton (2000), quienes encontraron que los profesores de educación básica que participaron en su estudio, dedican menos del 5% del tiempo en actividades enfocadas en la enseñanza y producción de argumentos. Datos similares se reportan en otros estudios enfocados en la evaluación y promoción de actividades argumentativas (Simon, Erduran, y Osborne, 2002).

Considerando que el sistema educativo formal debe ofrecer actividades que promuevan y fortalezcan el desarrollo y uso de argumentos

Durante el proceso de análisis siempre intentamos identificar, a través de una lectura cuidadosa de las transcripciones, o alternativamente escuchar el casete, cómo estaba constituida una conclusión.

En seguida se presenta un fragmento del diálogo entre dos integrantes de un equipo que modelaron la vida de los leones en un zoológico. Uno de ellos estaba a favor de los zoológicos como un lugar para que los leones vivieran, mientras que el otro concluía que los zoológicos no son un buen lugar para los leones.

En los enunciados se observa como los argumentos (conclusiones, los datos y apoyos) se construyen dirigidos por la actividad discursiva. Un sujeto presenta una conclusión mientras que el otro dato y/o apoyo a la misma.

Ejemplo:

- S1 En el zoológico viven algunos animales en peligro de extinción, y algunos señores los cuidan.  
S2 Si, si por ejemplo en Chapultepec viven algunos que están en peligro de extinción. Entonces este (señala el modelo) es un lugar para proteger los animales en peligro de extinción.

Esta conclusión está a favor de los zoológicos y usa el dato “En el zoológico viven algunos animales en peligro de extinción, y algunos señores los cuidan.”, la cual es apoyada por “en Chapultepec viven algunos (los animales) que están en peligro de extinción”. “Entonces este (el zoológico) es un lugar para proteger los animales en peligro de extinción”.

Ejemplo:

- S1 Yo creo que los zoológicos no son un buen lugar para que vivan los animales. Imagínate, Si los leones siempre están encerrados, no viven como ellos están acostumbrados, podrían molestarte, hacerse peligrosos...mmm, su calidad de vida es mala.  
S2 Cierto, tienes razón. Vivir enjaulado en un zoológico puede alterar su conducta y no vivir a gusto.

La posición presentada por S1 es contraria a los zoológicos, expresada como una *conclusión* en la frase “Yo creo que los zoológicos no son un buen lugar para que vivan los animales”. Después, S1 agrega a esta conclusión “Si los leones siempre están encerrados, no viven como ellos están acostumbrados, podrían molestarte, hacerse peligrosos...mmm, su calidad de vida es mala.” Esta elaboración la consideramos como *dato* que sustenta su conclusión. S2 apoya los datos al decir “Vivir enjaulado en un zoológico puede alterar sus conducta y no vivir a gusto.” Observamos la contribución de S2 como *apoyo* al argumento que está siendo construido.

Así, en el análisis fue importante la identificación de lo que constituye los datos del argumento. Los apoyos, si existen, son la frase o parte del discurso que relaciona los datos con la conclusión.

## Referencias

- Bajtín, M. (1982). *Estética de la Creación Verbal*. México D.F.: Siglo XXI Editores.
- Bell, B., & Grotzer, T. (2001). *Focusing on the Nature of Causality in a Unit on Pressure: How does it Affect Understanding?* Paper presented at the American Educational Research Association, Seattle.
- Bliss, J. (1994). From mental models to modelling. In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn & C. Tompsett (Eds.), *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. (pp. 27-32). London: Falmer Press.
- Bliss, J. (1994). Reasoning with a semi-quantitative tool. In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn & C. Tompsett (Eds.), *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. (pp. 127-141). London: Falmer Press.
- Carney, C., Forrbus, K., Ureel, L., & Ureel, L. (2001). *Using modelling to support integration and reuse of knowledge in school science: Vmodel, a new educational technology*.: Northwestern University School of Education and Social Policy.
- Chi, M. T., Slotta, J., & Leeuw, W. (1994). From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.
- Gobert, J. (2002). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal Science Education*, 22(2), 891-894.
- Gobert, J. D. (2000). A typology of causal models for plate tectonics: inferential power and barriers to understanding. *International Journal of Science Education*, 22(9), 937-977.
- Green, D. (1997). Explaining and envisaging and ecological phenomenon. *British Journal of Psychology*, 88, 199-217.
- Grotzer, T., & Perkins, D. (2000). *A Taxonomy of Causal Models: The Conceptual Leaps Between Models and Students' Reflections on Them*. Paper presented at the National Association of Research in Science Teaching, New Orleans.
- Research in Science Teaching, New Orleans.
- Hmelo, C., & Green, M. (2004). Comparing expert and novice understanding for a complex system from the perspectives of structures, behaviour, and functions. *Cognitive Science*, 28.
- Hmelo, C., Holton, D., & Kolodner, J. (2000). Designing to learn about complex system. *The Journal of the Learning Sciences*, 9(3), 247-298.
- Hogan, K., & Thomas, D. (2001). Cognitive comparisons of students' systems modelling in ecology. *Journal of Science Education and Technology*, 10, 319-345.
- Ivarsson, J., Schoultz, J., & Saljo, R. (2002). Map reading versus mind reading: revisiting childrens' understanding of the shape of the earth. In M. Limón & L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change. Issues in Theory and Practice*. (pp. 77-99). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Kleine, J., De Laat, M., & Van der Meijden, H. (2002). *Seeking attunement in collaborative Learning*. Paper presented at the 5th Congress of the International Society for Cultural Research and Activity Theory (ISCRAFT), Amsterdam.
- Leach, J., & Scott, P. (2003). Individual and sociocultural views of learning in science education. *Science & Education*, 12, 91-113.

- Lemke, J. (2001). Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 296-316.
- Mellar, H., & Bliss, J. (1994). Introduction: Modeling and education. In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn & C. Tompsett (Eds.), *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. (pp. 1-7). London: Falmer Press.
- Mercer, N. (2000). *Word & Minds: How We Use Language to Think Together* (G. S. Barberan, Trans.). London: Routledge.
- Newton, D. P. (1996). Causal situations in science: a model for supporting understanding. *Learning and Instruction*, 6(3), 201-217.
- Newton, D. P., & Newton, L. D. (2000). Do teachers support causal understanding through their discourse when teaching primary science. *British Educational Research Journal*, 26(5), 599-613.
- Penner. (2000). Explaining systems: investigating middle school students' understanding of emergent phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(8), 784-806.
- Pilkington, R. (2001). Analyzing educational dialogue interaction: Towards models that support learning. *International Journal of Artificial Intelligence*, 12, 1-7.
- Richmond, B. (1994). *System Dynamics/System Thinking: Let's Just Get On With It*. Paper presented at the International System Dynamics Conference, Sterling, Scotland.
- Rogoff, B. (1998). Cognition as a collaborative process. In D. Kuhn & S. Siegler (Eds.), *Handbook of Child Psychology: Cognition, Perception, and Language* (pp. 679-744). New York: Wiley.
- Salles, P., & Bredewer, B. (2002). *A case study of collaborative modelling: building qualitative models in ecology*. Paper presented at the International Workshop on Model-based Systems and Qualitative Reasoning for Intelligent Tutoring Systems, San Sebastian, Spain.
- Simon, S., Erduran, S., & Osborne, J. (2002). *Enhancing the Quality of Argumentation in School Science*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science, New Orleans, USA.
- Southerland, S., Abrams, E., Cummins, C., & Anselmo, J. (2001). Understanding students' explanations of biological phenomena: conceptual frameworks or p-prims? *Science Education*, 85, 328-348.
- Toulmin, S. E. (1958). *The Uses of Argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wegerif, R. (2001). Applying a dialogical model of reason in classroom. In R. Joiner, D. Faulkner, D. Miell & K. Littleton (Eds.), *Rethinking Collaborative Learning*: Free Association Press.
- Wegerif, R., & Mercer, N. (1997). A dialogical framework for investigating talk. In R. Wegerif & P. Scrimshaw (Eds.), *Computers and Talk in the Primary Classroom*: Clevedon.
- Wegerif, R., & Mercer, N. (2000). Language for thinking: a study of children solving reasoning test problems together. In H. Cowie & D. Aaslvoort (Eds.), *Social Interaction in Learning and Instruction: the Meaning of Discourse for the Construction of Knowledge*. (pp. 179-193). Oxford: Elsevier.
- Wegerif, R., Mercer, N., & Dawes, L. (1999). From social interaction to individual reasoning: An empirical investigation of a possible socio-cultural model of cognitive development. *Learning and Instruction*, 9(5), 493-516.
- White, P. (1997). Naive ecology: causal judgments about a simple ecosystem. *British Journal of Psychology*, 88, 219-233.
- Wilensky, U. (1999). GasLab -- an Extensible Modeling Toolkit for Connecting Micro- and Macro-properties of Gases. In W. Feurzeig & B. Hunter (Eds.), *Computer Modeling in Science and Mathematics Education*. Berlin: Springer Verlag.
- Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in levels: a dynamic system approach to making sense of the world. *Journal of Science Education and Technology*, 8, 3-19.

Zaraza, R., Joy, T., & Guthrie, S. (1998). *Modelling in the educational environment, moving from simplicity to complexity*. Paper presented at the International System Dynamics Conference, Quebec, Canada.