

LA NECESIDAD DE HACER LA CIENCIA “CONCEPTUALMENTE TRANSPARENTE”*

Joseph D. Novak**

Introducción

El lanzamiento del Sputnik por la URSS en 1957, acrecentó la preocupación nacional por el mejoramiento de la Educación en Ciencias y Matemáticas en los Estados Unidos, así como en otros países occidentales. Para esta fecha ya se había constituido el Comité de Estudio de las Ciencias Físicas y estaba trabajando en el desarrollo de nuevos cursos de física. Rápidamente se organizaron otros grupos como el de Química, el proyecto Chemical Bond Approach, y el de Biología, el programa BSCS. La Fundación Nacional para las Ciencias (NSF) comenzó a destinar montos considerables para la financiación de programas de capacitación de maestros en servicio.

Era tal el entusiasmo que la Educación en Ciencias en los Estados Unidos se convirtió en lo mejor que el dinero y el talento científico podían idear. La realidad hoy es que, por variadas razones, los Estados Unidos está en los últimos lugares entre las naciones industrializadas de Occidente y Japón, en cuanto a la Educación en Ciencias y Matemáticas (Bottons, Korcheck, 1988). Claramente algo ha estado equivocado.

Ya en 1962, la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias (NSTA) había reconocido que los nuevos programas de ciencias para la escuela secundaria y elemental, si bien eran necesarios, no eran suficientes para enfrentar el reto de la educación de las nuevas generaciones. La NSTA creó entonces un Comité de Currículo encargado de hacer recomendaciones para el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias en todos los grados, desde preescolar hasta el grado doce. El Comité publicó informes (NSTA, 1964 a,b) en donde recomendó que los currículos de Ciencias desde preescolar hasta el grado doce, deberían ser construidos con referencia a siete grandes *esquemas conceptuales* de la ciencia e incluyó trabajos en los que se ilustraban cinco *procesos* de la ciencia. Una vez publicados los “esquemas conceptuales” de la NSTA, estos fueron objeto tanto de aprobación como de condenación (ver Glass, 1965). Hoy, un cuarto de siglo más tarde, puede ser útil reflexionar sobre la idea de la comprensión de las Ciencias desde la integración conceptual junto con actividades e ideas que aclaren y expliquen los procesos de la ciencia.

Ocurrió que las ideas básicas de las propuestas curriculares de la NSTA eran inválidas y, por consiguiente, destinadas a desaparecer, o, por el contrario, que estaban ellas más allá de su tiempo y fueron expuestas en una época en que predominaban otras ideas competitivas, respaldadas por la mayoría de las Agencias Federales, especialmente la National Science Foundation (NSF). Mi apreciación es que lo último fue el factor predominante¹. No obstante lo anterior, puedo asegurar que los avances significativos en la comprensión del aprendizaje humano y en la historia y filosofía de las Ciencias han creado un nuevo clima intelectual en el que el desarrollo del currículo de ciencias y la

* Versión tomada del original: The Need to Make Science “Conceptually Transparent”. Por HUMBERTO CAICEDO LOPEZ, U.P.N.

** Universidad de Cornell.

¹ Para una discusión de las políticas de la NSF sobre financiación de Proyectos de Currículos de Ciencias ver Novak, 1969.

enseñanza de la ciencia centrada en la comprensión conceptual como fundamento de la Educación en Ciencias, se ha convertido en la idea actual más preponderante. Además los nuevos instrumentos para el planeamiento de la instrucción y para ayudar a los estudiantes a “aprender a aprender”, aunados al poder y potencial de tales ideas, permitirá ponerlas en práctica.

La utilización de estas nuevas ideas y nuevos instrumentos educativos pueden ayudar a hacer la ciencia *conceptualmente transparente* y no un montón de hechos para memorizar o fórmulas para aplicar y obtener respuestas que no tienen significado para los estudiantes. Enfrentados a una barrera de hechos y fórmulas que deben ser memorizados, la ciencia aparece *conceptualmente opaca* a la mayoría de los estudiantes. El poder que la comprensión *conceptual* de la ciencia confiere se pierde, y así mismo el interés por el estudio de la ciencia.

Una nueva interpretación del aprendizaje humano

En la década siguiente a la publicación de *La conducta de los organismos*, Skinner (1938), la psicología conductista dominó casi totalmente el pensamiento de psicólogos y psicólogos educativos en el hemisferio occidental.

No obstante que el trabajo de Piaget (desde 1920) continuaba en Europa, hubo poco interés por él en los Estados Unidos hasta los sesenta, cuando su trabajo fue “redescubierto”, (Ripple, Rockcastle, 1964). Sin embargo, la psicología conductista con su énfasis en los resultados de la conducta específica, que prescribe más tarde el uso de objetivos conductuales (Mager, 1964), continúa siendo dominante en las facultades de educación y en los salones de clase. La psicología conductista rechaza explícitamente, como centro de atención, los significados que los aprendices (o maestros) manejan o han adquirido y, por el contrario, hace énfasis en las manifestaciones de los resultados de la conducta. Además, el conductismo, construido sobre los principios del positivismo (ver adelante), rechaza o da poca importancia al papel de los valores y sentimientos en la adquisición del conocimiento o en el “descubrimiento” de nuevos conocimientos. La proliferación de “pruebas objetivas” se facilitó por las ideas del conductismo y las ideas del positivismo sobre la naturaleza del conocimiento. Estas pruebas objetivas, como se sabe, son *muy subjetivas*; en ellas, personas diferentes al aprendiz seleccionan el conocimiento y los enunciados que se considera corresponden a las respuestas “verdaderas”; sólo la calificación es objetiva.

Hay actualmente un consenso general entre los investigadores que estudian al aprendizaje humano, y se acepta que cada persona construye su propio significado sobre la forma como el mundo parece funcionar (ver por ejemplo, Bruner y Haste, 1987). Los seres humanos son únicos en su capacidad para usar símbolos (orales o escritos) para representar el significado de los conceptos y para construir relaciones entre los conceptos y, así, explicar cómo funcionan las cosas.

Definimos concepto como las regularidades percibidas en los objetos o eventos o los registros de eventos u objetivos designados por una etiqueta. La conexión de dos o más conceptos forma una proposición o enunciado acerca de algo en el mundo, que ocurre naturalmente o que han construido personas. Así “el cielo es azul” es una proposición que hace una afirmación sobre la apariencia del cielo. “Fuerza es igual a masa por aceleración” y oferta y demanda determinan el precio “son proposiciones”; la primera ocurre en forma natural y la segunda se debe a la actividad de las personas.

Construir significados requiere de la construcción de nuevas proposiciones, y la adquisición de nuevos conceptos se realiza ya sea por descubrimiento, que es principalmente la forma como los niños pequeños adquieren sus primeros conceptos y lenguaje, o mediante el “aprendizaje por recepción” (Ausubel, 1963; 1968), que es la forma como los escolares y adultos adquieren sus nuevos significados. El mayor problema con el aprendizaje escolar por recepción es que los alumnos aprenden a *memorizar* definiciones de conceptos o algoritmos para resolver problemas, pero no entienden las regularidades en eventos u objetos o las relaciones denotadas por las etiquetas de los conceptos o por las fórmulas. En el grado cuarto o quinto, la mayoría de los estudiantes se contentan con un aprendizaje mecánico, repetitivo y escogen para aprender procedimientos repetitivos y mecánicos en lugar de aprendizajes significativos.

No solamente hay un consenso acerca de que los niños construyen sus propios significados sino sobre el hecho de que los nuevos significados se construyen con base en los conocimientos que ya se poseen. Aquí surge el problema, pues, como se sabe, todos poseemos “concepciones erróneas” o ideas que en alguna forma son incompletas o incorrectas (Novak, 1987 a). Este último hecho hace difícil el aprendizaje significativo de la ciencia y puede ser una razón para que los maestros frecuentemente soliciten a los estudiantes memorizar palabra por palabra la definición de conceptos o los algoritmos para la solución de problemas.

El aprendizaje repetitivo no construido sustantivamente sobre el conocimiento previo tiene la ventaja de no ser influenciado apreciablemente por las concepciones erróneas que ya existen. Desafortunadamente, la información aprendida mecánicamente, usualmente se olvida en dos o tres semanas a menos que se refuerce. Esta es una de las razones por las que los estudiantes americanos se desempeñan tan pobremente en pruebas de rendimiento en ciencias. La NSTA tiene como una de sus metas educacionales el incremento sustancial en las horas de clase dedicadas a la instrucción de ciencias y la recomendación de que la ciencia debe enseñarse continuamente desde preescolar hasta finalizar la secundaria (NSTA, 1990). La repetición de los tópicos de ciencia año tras año tendrá poco valor, sin embargo, si la mayoría de los estudiantes están comprometidos en un aprendizaje mecánico y repetitivo.

Una nueva interpretación de la naturaleza del conocimiento

Otro importante desarrollo en las últimas dos décadas ha sido lo que Popper (1982) llamó la muerte de la epistemología positivista. La rama de la filosofía que tiene que ver con la naturaleza de la producción del conocimiento (Epistemología) ha sufrido un cambio revolucionario. Hasta los sesenta el positivismo (positivismo lógico o empirismo) fue la visión epistemológica dominante. Esta visión sostenía que la observación cuidadosa y la experimentación puede conducir al *descubrimiento* de la *verdad* sobre la forma como funciona el mundo. La producción del conocimiento era vista como una lucha objetiva para arrancarle a la naturaleza el secreto de cómo funcionan las cosas. Lo que ha emergido con fuerza en la última década son las ideas de la epistemología constructivista. Estas visiones ven la explicación como una construcción humana, cargada de emoción (y algunas veces de intriga) y con todas las debilidades del ser humano. Además, los modelos explicativos son vistos como evolutivos en el tiempo, construidos sobre viejas ideas pero agregando otras nuevas, tal como los seres vivos han evolucionado en los últimos millones de años (Toulmin, 1972).

La epistemología constructivista está en gran consonancia con la forma como los seres humanos construyen sus significados psicológicos de las cosas. En efecto, la

producción de nuevos conocimientos se ve como un caso especial de los esfuerzos de algunos por darle sentido y explicación a alguna parte del universo (Novak, 1987 b). El aprendizaje significativo es siempre en algún grado un proceso creativo y un genio es solamente una persona especialmente buena para aprender significativamente. En este sentido, cuando se estimula el aprendizaje significativo en la escuela, se está incrementando de hecho, la creatividad. El aprendizaje repetitivo, mecánico, en contraste, la inhibe y la disminuye. Las escuelas no requieren currículos especiales para enseñar a pensar creativamente; “necesitan prácticas instruccionales que estimulen vigorosamente los aprendizajes significativos”.

El mapa conceptual una ayuda para el aprendizaje significativo

En el curso de nuestra investigación para estudiar los cambios en la comprensión infantil de los conceptos científicos durante un período escolar de 12 años, desarrollamos un instrumento que denominamos mapa conceptual (Novak y Musonda, en prensa). La figura 1 muestra un ejemplo de mapa conceptual; es un mapa conceptual sobre los mapas conceptuales.

Hemos encontrado que lo que se sabe de un tema se puede representar mediante un mapa conceptual, incluyendo aquellos temas que tratan sobre cómo hacer cosas, tales como la danza o el baloncesto (ver Novak y Gowin, 1984). Nuestra experiencia ha sido que cuando se solicita a los estudiantes construir sus propios mapas conceptuales sobre los temas que están estudiando, éstos encuentran nuevos significados y nuevas formas de relacionar lo que ya saben con los nuevos materiales que deben aprender. En resumen, los mapas conceptuales construidos por los estudiantes les ayudan a aprender *significativamente*. Los temas de las materias de estudio ya no son un cúmulo de definiciones para memorizar o problemas para resolver mediante rutinas, insertando números o símbolos en fórmulas, sin tener idea de por qué funcionan las fórmulas. La ciencia en vez de ser *conceptualmente opaca*, se convierte en *conceptualmente transparente*.

Los mapas conceptuales, sin embargo, no son una varita mágica. Toma tiempo enseñar a los estudiantes a construir buenos mapas conceptuales (generalmente varios meses de práctica y de refuerzo crítico). También se requiere tiempo para que el maestro aprenda cómo enseñar a los estudiantes a hacerlos y cómo convertirse en un crítico constructivo de ellos. La meta, sin embargo, no es la construcción de buenos mapas conceptuales, la meta es saber usarlos para estimular aprendizajes significativos. Aquellos estudiantes considerados excelentes porque son buenos para memorizar (generalmente con poca comprensión) se resisten a usarlos y con frecuencia se quejan cuando deben trabajar con ellos. Es importante enseñarle cómo aprender a aprender, así como la técnica del mapa conceptual (Novak, Gowin, 1984). La consecuencia, sin embargo, puede ser enormemente gratificante, tanto para el maestro como para los estudiantes.

Los mapas conceptuales como instrumento para representar el conocimiento

Los mapas conceptuales se pueden usar para organizar y representar el conocimiento. Mi experiencia es que siempre que los maestros (se incluyen profesores universitarios) construyen un mapa conceptual de la conferencia, demostración, del capítulo del libro o del experimento de laboratorio que van a enseñar, ocurre en ellos una nueva interiorización de los significados de los temas del curso. El conocimiento está hecho de conceptos y sus relaciones, así como las palabras están hechas de letras y la

materia de átomos (como generalmente se acepta). No obstante, una simple conferencia o un experimento de laboratorio puede incluir 30 o 40 conceptos relevantes y quizá otros 30 o 40 conceptos menos relevantes. El número de formas como estos conceptos pueden permutarse o combinarse es virtualmente infinito. Esto es lo que hace del conocimiento de cualquier dominio tan profundamente complejo y lo que hace que lo veamos al menos ligeramente diferente de cualquier otra persona. Los genios no saben mucho más (algunas veces menos) que otros expertos en el área; los genios saben cómo organizar mejor su conocimiento. Esto les permite “ver” lo que es opaco para otros. Después de que el genio dibuja el nuevo marco conceptual, los otros expertos del área dirán “¿por qué no lo vi?”. Los mapas conceptuales no harán genios de sus estudiantes, pero puede estar seguro que la mayoría de sus estudiantes verán los temas de ciencias en forma diferente después de un año de uso exitoso de la técnica del mapa conceptual.

Comprensión conceptual de la ciencia

Durante los semestres de primavera de 1989 y 1990, varios maestros de ciencias se reunieron conmigo en lo que denominé Seminario sobre la Comprensión Conceptual de la Ciencia. Invité a algunos de los más destacados miembros del cuerpo docente de la Universidad de Cornell para que presentara al seminario sus ideas acerca de los conceptos básicos que se necesitan para entender sus disciplinas. Todos los científicos invitados colaboraron maravillosamente en forma por demás entusiasta. En una hora cada uno de los científicos presentó lo-que consideraba eran las ideas válidas fundamentales de su campo. Se leyeron también informes del Proyecto 2061 (Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, AAAS, 1989) que tiene como meta rediseñar la educación en ciencias de tal forma que cuando el Cometa Halley revise la tierra en el año 2061, podamos tener unos ciudadanos mejor formados científicamente. Cada miembro del seminario construyó su propio mapa conceptual sobre su interpretación de lo que dijeron los científicos invitados o sobre lo que el Proyecto 2061 recomendaba. Las figuras 2 a 6 muestran ejemplos de los mapas conceptuales elaborados por algunos de los participantes en el seminario.

El seminario también discutió los problemas que a diario enfrentan los maestros: estudiantes desmotivados preparándose para los exámenes de Estado (New York State Regent's Exams), colegas que no desean cambiar lo que están haciendo, una administración que insiste en la “contabilidad” en la cual no se incluye la habilidad de los estudiantes para usar el conocimiento aprendido en situaciones del mundo real, y una gran cantidad de otros problemas. Discutimos además el hecho de que la mayoría de los cursos universitarios de ciencia son también “conceptualmente opacos” y que estos cursos no ayudan a los maestros a ver las relaciones de las ideas fundamentales necesarias para entender los tópicos estudiados. El adagio, “enseñamos como nos han enseñado” resultó verdad para la mayoría de los maestros presentes en el seminario y se concluyó que la transición hacia una enseñanza que capacite a los estudiantes para que por sí mismos aprendan significativamente no es fácil.

Una muestra de mapas conceptuales construidos por los participantes al seminario

Los participantes en el seminario construyeron mapas conceptuales para representar al conocimiento presentado en las conferencias, el informe del Proyecto 2061, artículos de revistas, textos y programas de estudio del Estado de Nueva York. La figura 2 muestra el mapa conceptual preparado a partir de la conferencia sobre Química hecha por el Premio Nobel Roald Hoffmann. Hoffmann define la Química como “el estudio de las moléculas y sus transformaciones”. El mapa es una versión simplificada de lo que Hoffmann presentó

y no incluye todas las ideas principales expuestas. Sin embargo, sirve para ilustrar las ideas claras captadas por uno de los participantes. Un mapa similar fue elaborado por Hughes a partir de la conferencia del profesor Haynes sobre la evolución del universo (figura 3).

La figura 4 muestra un mapa conceptual sobre fuerzas, preparado del informe del Proyecto 2061 de la AAAS (capítulo 4). Goodloe, un biólogo, llegó a la conclusión que si bien fue un reto realizar el mapa conceptual a partir del informe, también le dio la oportunidad de profundizar sobre la física.

La figura 5 es un mapa conceptual compuesto por las ideas claves de cuatro capítulos de un texto de biología para secundaria (Alexander, et al., 1986). Chang encontró que los capítulos examinados del texto eran muy descriptivos, con pocas explicaciones de la teoría o los principios fundamentales del fenómeno presentado. Esto es común en muchos de los textos escolares de ciencias especialmente aquellos para estudiantes “promedio” o por “debajo del promedio”. Desafortunadamente tales presentaciones ocultan la forma cómo la ciencia funciona y cómo se obtienen los “hechos” de la ciencia. La ciencia se convierte, en palabras del gran educador de la ciencia Joseph Schwab (1962) en “conclusiones retóricas”.

A lo largo de los programas del seminario, hubo mucha discusión por parejas o pequeños grupos de colegas. Esta aproximación al “aprendizaje cooperativo” (Johnson, Johnson y Holube, 1985) ayudé a la práctica de esta forma de enseñanza-aprendizaje, de la cual resultaron también, en algunos casos, en mapas conceptuales generados cooperativamente. La figura 6 muestra un mapa conceptual creado por el grupo del seminario de 1989 al final del semestre. Representa un esfuerzo por integrar coherentemente todas las subdisciplinas de la ciencia con estructuras conceptuales integradas. Es interesante constatar cómo el mapa ilustra los “esquemas conceptuales” presentados en el informe de la NSTA (1964 b) Teoría en Acción. El “experimento” del seminario para ver si la ciencia puede hacerse conceptualmente transparente a los maestros para que, consecuentemente, ellos puedan a su vez ayudar a hacer la ciencia conceptualmente transparente a sus estudiantes, está en marcha. Se requerirán varios años antes de que estemos suficientemente preparados para saber cómo hacerlo efectivamente y otros años más antes de que se pueda recoger evidencia que induzca a importantes y profundos cambios en la Educación en Ciencias en la escuela. La evidencia derivada de la investigación sugiere que nuestra estrategia es promisoriosa (Novak, 1991). Muchos textos escolares han introducido actividades de mapeamiento conceptual, tanto para las ediciones dirigidas a estudiantes como a profesores, aunque se observa todavía un amplio y variado grado de aceptación de la evidencia de que la meta es estimular a los estudiantes y aprender significativamente. Somos optimistas frente al propósito de lograr ciudadanos “científicamente educados” para el año 2061.

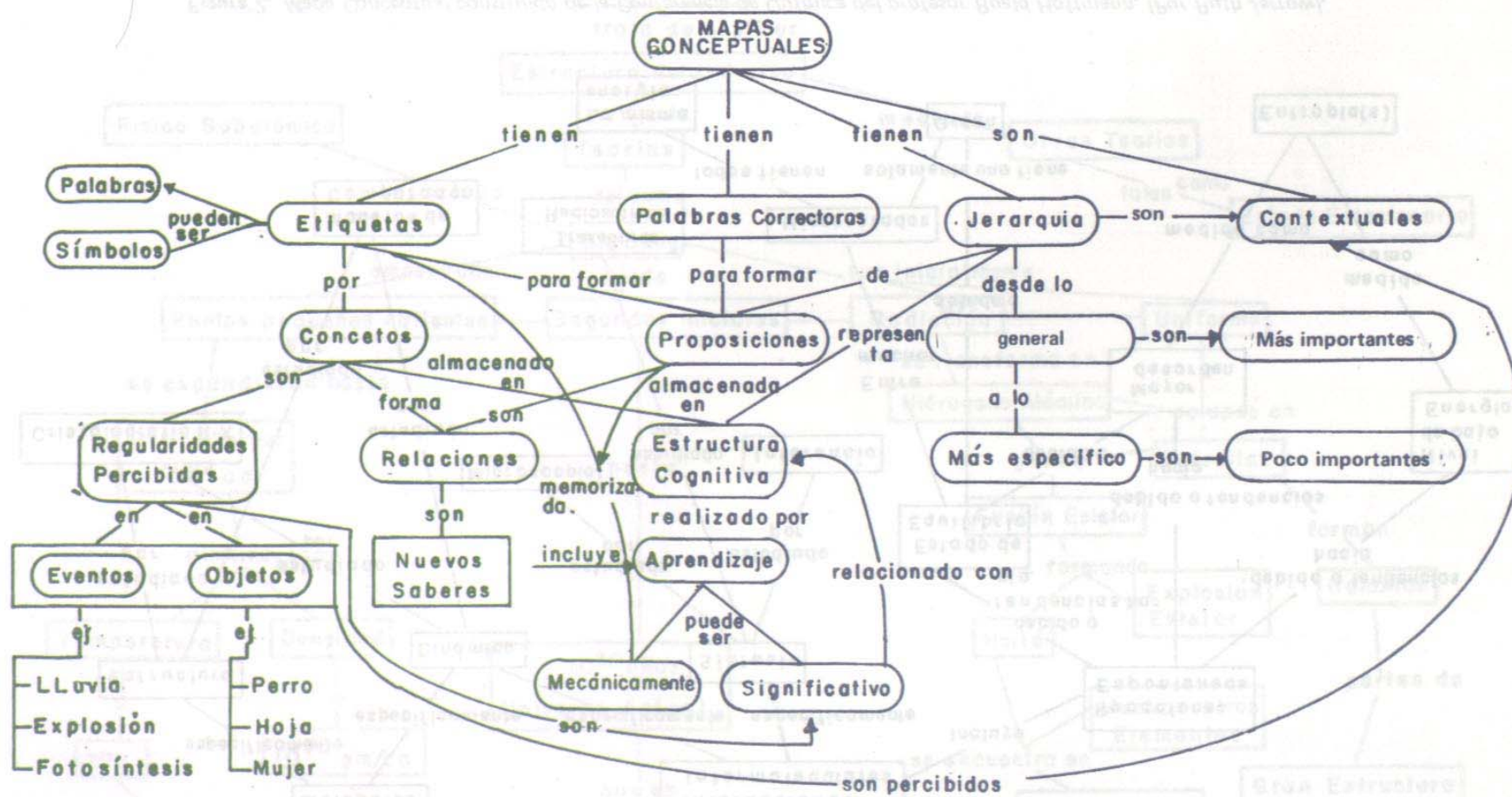


Figura 1. El Mapa Conceptual muestra los conceptos claves de un mapa conceptual. Estos tienen estructura jerárquica y las relaciones entre los conceptos se indican mediante palabras "conectoras". Estas son las dos características críticas de este sistema de representación del conocimiento.

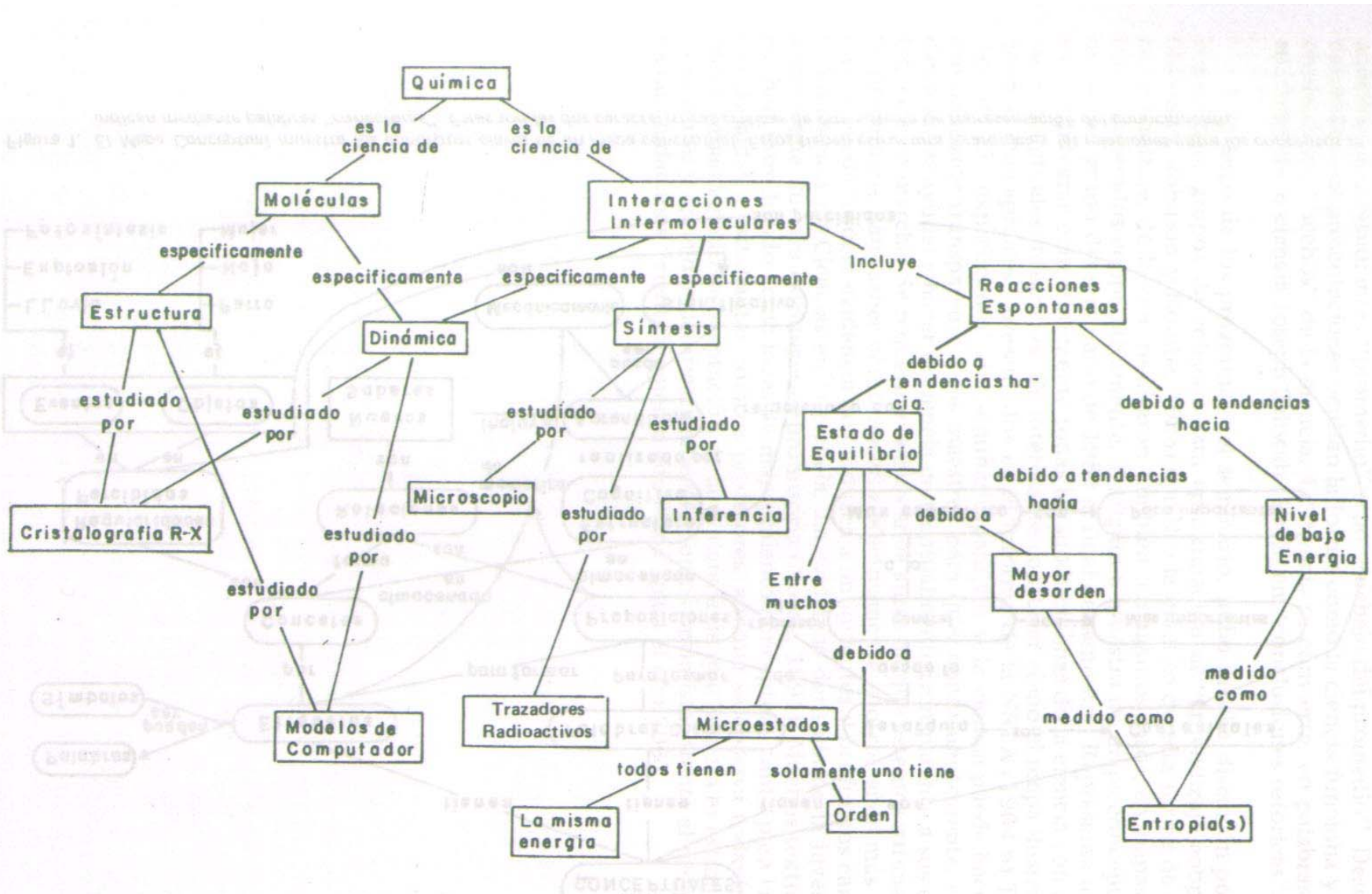


Figura 2. Mapa Conceptual construido de la Conferencia de Química del profesor Roald Hoffmann. (Por Ruth Jarrow).

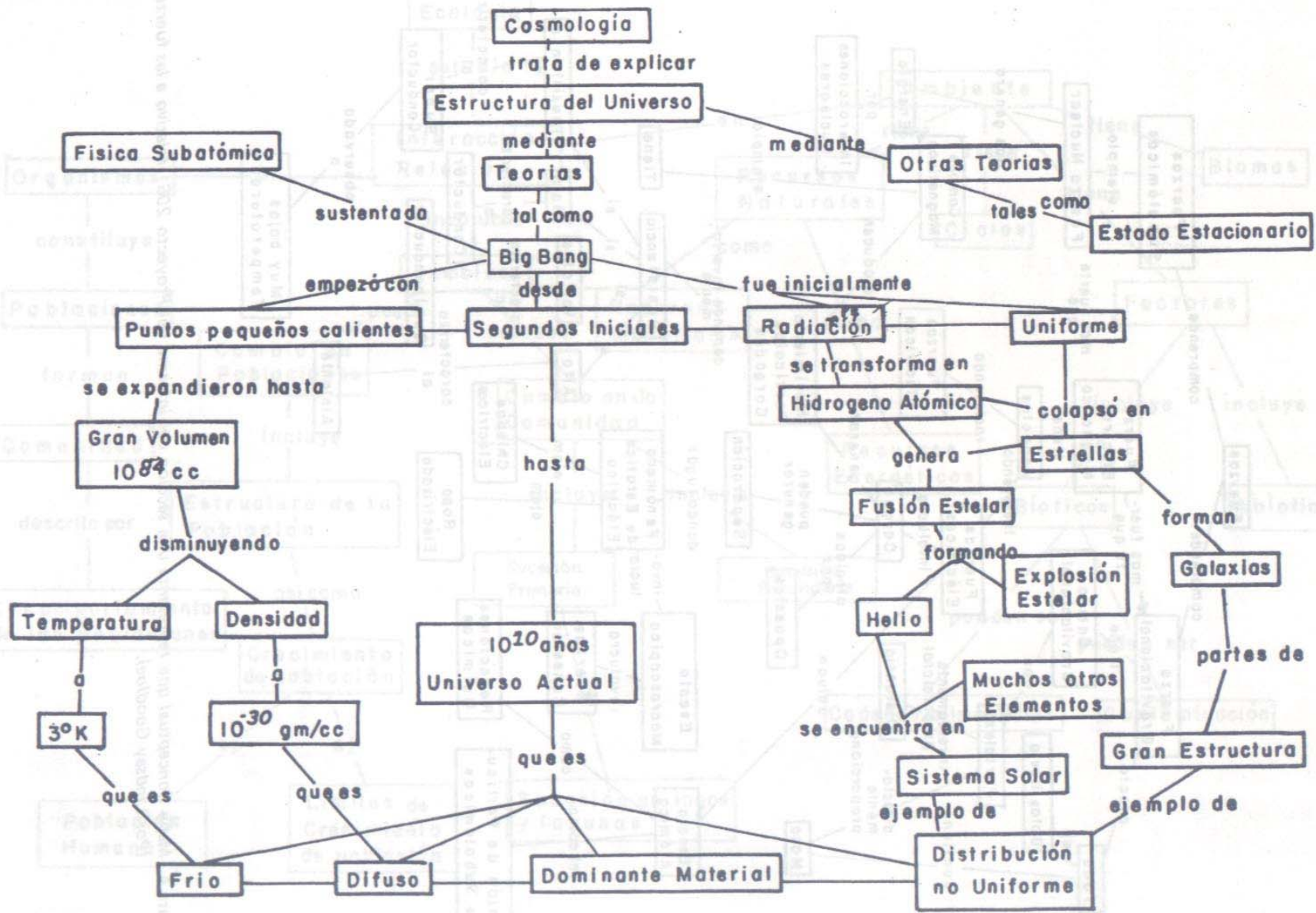


Figura 3. Mapa Conceptual que muestra las ideas claves sobre cosmología presentados por la profesora Martha Haynes. (Por Tom Hughes).

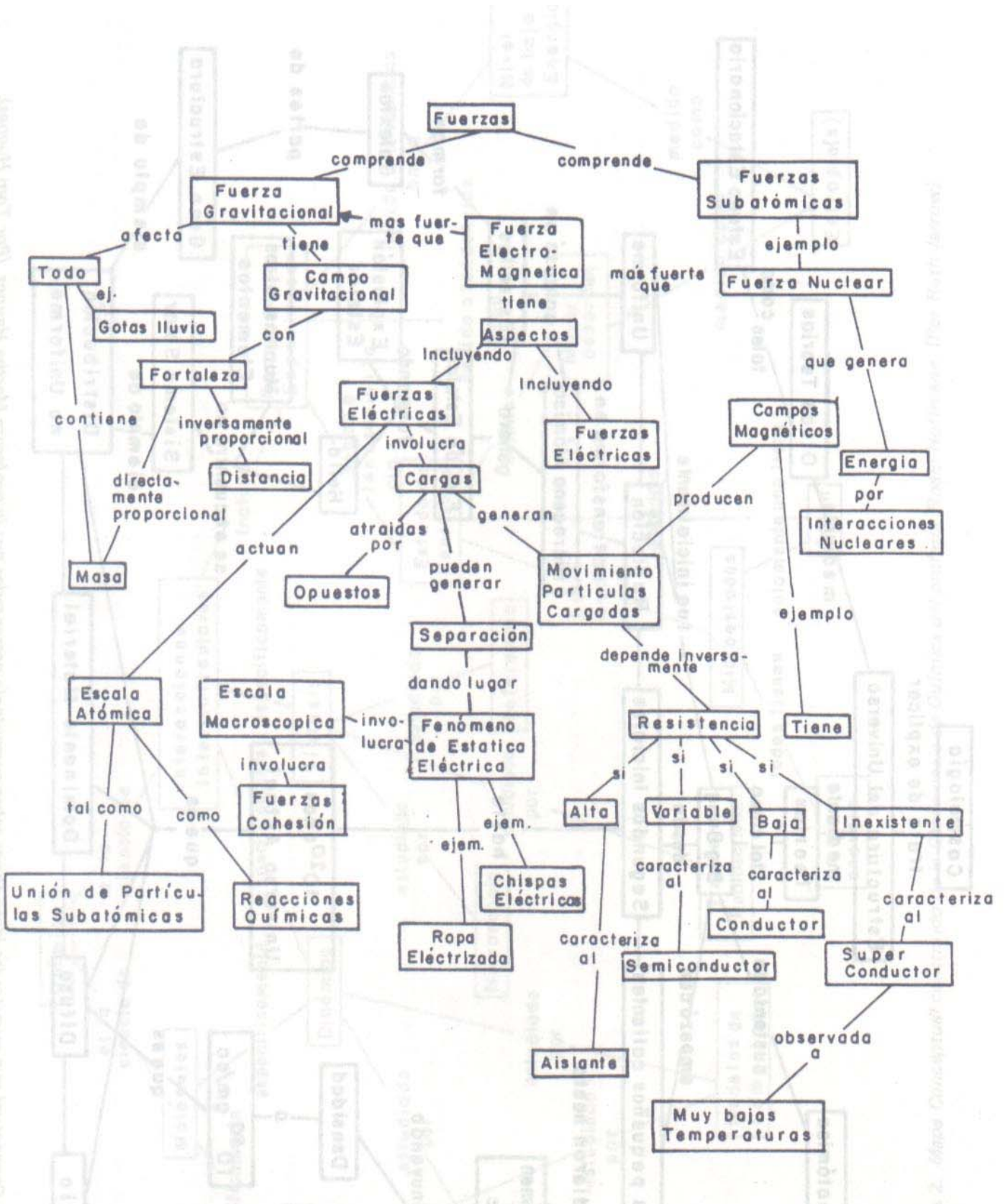


Figura 4. Mapa Conceptual que representa una sección del informe del Proyecto 2061 relativo a las fuerzas. (Por Lindsay Goodloe).

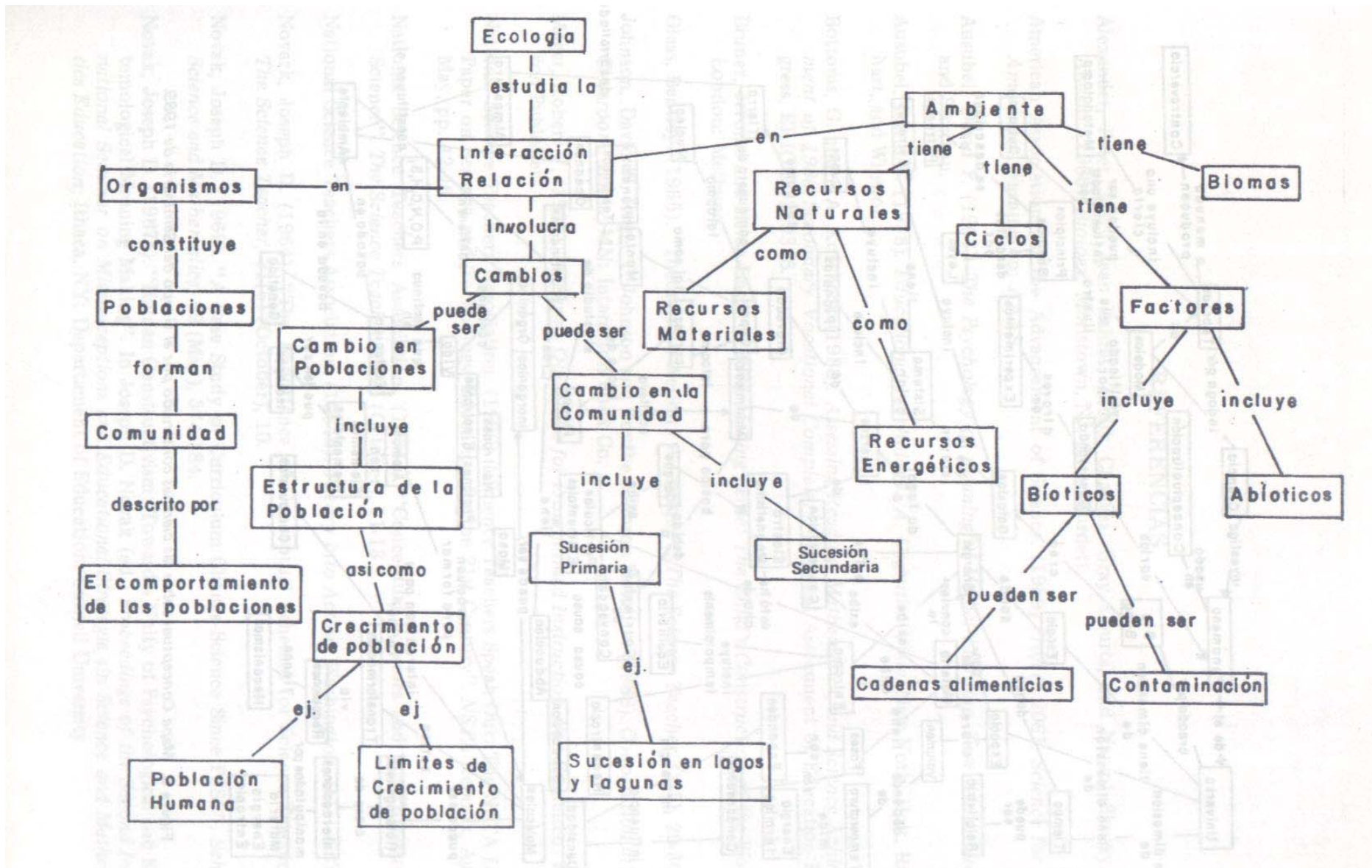


Figura 5. Mapa Conceptual de la Unidad Ecología de un texto escolar. (Por Tau-Chau-Chang).

REFERENCIAS

- Alexander, Peter, Mary Jean Bahret, Judith Chanves, Gray Courts, and Naomi Skolky D' Alessio. (1986). *Biology*. Moristown, NJ: Silver Burdett.
- American Association for the Advancement of Science. (1989) *Project 2061, Science for All Americans*. Washington: AAAS.
- Ausubel, David P. (1963). *The Psychology of meaningful Verbal Learning*. New York: Grune and Stratton.
- Ausubel, David P. (1968). *Educational Psvchology: A. Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart, and Winston.
- Bottoms, G. and S.A. Korcheck (1988). *Assessing Reading, Mathematics, and Science Achievement of 1988 Secondary Vocational Completers*. National Assessment of Education Progress, ERIC ED309325.
- Bruner, Jerome and Helen Haste. (1987). *Making Sense: The Child's Construction of the World*. London: Methuen.
- Glass, Bentley. (1965). "Theory into Action - A Critique". *The Science Teacher* 32(5), 29-30.
- Johnson, David W. Roger T. Johnson and Edythe Johnson Holubec. (1988). *Cooperation in Pie Classroom*. Edina, MN: Interacton Bock Co.
- Mager, Robert F. (1962). *Preparing Objectives for Programmed Instruction*. San Francisco: Fearon Publishers.
- National Science Teachers Association. (1990). "Science Teachers Speak Out: The NSTA Lead Paper en Science and Technology Education for the 21st Century". *NSTA Reports*, April/ May, pp. 4 2-46.
- National Science Teachers Association. (1964a). "Conceptual Schemes and the Process of Science". *The Science Teacher* 31(6) (October). 11.13.
- National Science Teachers Association. (1964b). *Theory into Action*. Washington, D.C.: NSTA.
- Novark, Joseph D. (1964). "The Importance of Conceptual Schemes for Science Teaching". *The Science Teacher*, 31(6) (October), 10.
- Novak, Joseph D. (1969). "A Case Study of Curriculum Change-Science Since PSSC". *School Science and Mathematics*, 69 (May), 374-384.
- Novak, Joseph D. (1987a). "Human Constxuctivism: TowaTd a Unity of Psychological and Epistemological Meaning Making". In Joseph D. Novak (ed.) *Proceedings of the Second International Seminar en Misconceptions and Educational Strategie sin Science and Mathematics Education*. Ithaca, NY: Departament of Edeuation, Cornell University.

Novak, Joseph D. (ed.) (1987b). *Proceedings of the Second International Seminar en Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics Education*. Ithaca, NY: Department of Education, Cornell University.

Novak, Joseph D. (1991). "Concept Maps and Vee Diagrams: Two Metacognitive Tools to Facilitate Meaningful Learning". *Instructional Science*, 19, pp. 1-25.

Novak, Joseph D. and Gowin, D. Bob (1984). *Learning How to Learn*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

Novak, Joseph D. and Musonda, (in press). "A Twelve-Year Longitudinal Study of Science Concept Learning". *American Education Research Association*, (forthcoming).

Popper, Karl. (1982). *Unended Quest. An Intellectual Autobiography*. London: Open Court.

Ripple, R. E. and Rockcastle, Verne N. (eds.) (1964). *Piaget Rediscovered*. Report of a Conference. Ithaca, NY: Cornell University.

Schwab, Joseph. (1962). "The Teaching of Science as Enquiry", in Schwab, J.J. and Brandwein, P. F. *The Teaching of Science*. Cambridge: Harvard University Press.

Skinner, B. F. (1938). *The Behavioral of Organisms: An Experimental Analysis*. New York: D. Appleton-Century Co., Inc.

Toulmin, Stephen. (1972). *Human Understanding, Volumen 1: The Collective Use and Evolution of Concepts*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

