

FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES (FLACSO)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID.

MAESTRÍA EN PSICOLOGÍA COGNITIVA Y APRENDIZAJE.

*El razonamiento por analogía en Tecnología y en Educación
tecnológica.*

Maestrando: Abel Rodríguez de Fraga.

Directores: Dr. Mario Carretero y Dr. Marcelo Leonardo Levinas.

Buenos Aires, diciembre de 2009.

“El niño piensa o se expresa, a menudo, por analogías. La analogía es en él, espontánea. Ella le ofrece un poderoso medio de extensión imaginativa, un medio preconceptual para superar la situación subjetiva y actual. La analogía no va solamente, de objeto a objeto, de situación a situación, por una especie de asimilación pragmática o cualitativa; va también de lo conocido, lo familiar, lo subjetivo, a lo desconocido. Es un medio para sobrepasarse a sí mismo y de situarse en ese fluir de cosas o acontecimientos que precede en el niño al mundo de las causas.”

Henry Wallon. Los orígenes del pensamiento en el niño.

“Piaget escribe: ‘cuando la verdad coincide con la apariencia, el contacto superficial con el objeto (la experiencia inmediata empírica) es suficiente para conducir a lo verdadero’. Nos parece que la realidad no coincide con la apariencia, sino cuando los criterios de verdad se superponen a los criterios de éxito, es decir, cuando una estructura está perfeccionada.”

Pierre Mounoud. La estructuración del instrumento en el niño.

“Cuando tengamos que investigar qué es la invención necesitaremos dejar sentado que la invención pura, ex nihilo, es inconcebible. Para que las técnicas evolucionen es preciso que la adquisición se asocie a algo preexistente, incluso lejano o inverosímil”.

André Leroi – Gourhan. El medio y la técnica.

“Mi santa madre
me lo decía:
'cuidate mucho, Juanito,
de las malas compañías' ”.

Juan Manuel Serrat. Las malas compañías.

ÍNDICE			
Partes	Capítulos	Títulos	Páginas
INTRODUCCIÓN.		Introducción.	5
CONSIDERACIONES PREVIAS.		Caracterización de las secciones de esta obra.	9
		Modalidades de presentación de lo técnico en los RA	12
PRIMERA PARTE			
	1	Antecedentes históricos de las investigaciones sobre la analogía y sobre el razonamiento por analogía.	15
		El papel histórico-cultural jugado por las técnicas en los razonamientos por analogía.	15
		Los antecedentes filosóficos del estudio de la analogía y del razonamiento por analogía.	17
		Pasaje de los estudios lógico- filosóficos a los primeros trabajos psicológicos sobre el razonamiento por analogía.	19
		La influencia de los test mentales y de las investigaciones en resolución de problemas en las investigaciones sobre los RA.	21
		El razonamiento por analogía en las psicologías genéticas del desarrollo.	22
	2	Las investigaciones contemporáneas sobre la analogía y sobre el razonamiento por analogía.	28
		La constitución del campo.	28
		El campo de las investigaciones sobre el razonamiento analógico. Modelos	35
		La teoría de la extrapolación estructural (Gentner, Forbus, Falkenheimer y otros)	38
		El modelo pragmático o de las restricciones múltiples de Holyoak, Gick, Thagard y otros.	42
		Alcances y limitaciones de las investigaciones sobre el razonamiento por analogía.	45
		Análisis comparativo entre los enfoques en IRA.	46
SEGUNDA PARTE			
	3	El empleo de analogías en contextos de enseñanza y de aprendizaje.	49
	4	El uso de los razonamientos por analogía en la Educación Tecnológica.	56
		El contexto.	56
		Las experiencias de clase	57
		Resolución de problemas con tecnologías hidráulicas.	

	empleando razonamientos por analogía.	58
	Descripción y análisis de la secuencia de actividades.	64
	Actividad 1: Elevación de líquidos	64
	Actividad 2: Desplazamiento de un móvil dentro de un circuito hidráulico cerrado.	70
	Actividad 3: Diseño, construcción y análisis de una fuente de agua que debe producir un chorro de caudal y altura constante.	76
	Conclusiones sobre las actividades con sistemas hidráulicos	80
CONCLUSIONES GENERALES	Un modelo alternativo al del racionalismo técnico: La Técnica, como un proceso socio y psicogenético de construcción de conocimientos.	87
NOTAS		93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		94
ANEXO		104

INTRODUCCIÓN

Las actuales *investigaciones sobre los razonamientos por analogía* (IRA) aportan a tres campos diferentes aunque profundamente relacionados.

Uno de ellos refiere a la Psicología cognitiva que indaga el papel que juegan los *razonamientos por analogía* (RA) en el funcionamiento de la mente.

Otro es el de la Psicología de las enseñanzas específicas, particularmente interesadas en la enseñanza de las ciencias, donde han tenido una amplia difusión las *teorías del cambio conceptual* (TCC). Estas investigaciones no se generalizaron al conjunto de las áreas de enseñanza. La Educación tecnológica, sin embargo, prácticamente carece de referencias dentro de este campo al que pretende aportar este trabajo.

El tercero se refiere a la *inteligencia artificial* (IA), posiblemente el primero de los campos en iniciar los estudios sobre la analogía a través del desarrollo de programas de resolución de problemas basados en el RA y, además, productora de modelos mentales sobre la mente para la psicología cognitiva y para la de la enseñanza y aprendizaje.

A pesar de la novedad de estas investigaciones, en tanto campo autónomo, el interés por investigar el uso de analogías y, en particular, por comprender los razonamientos basados en analogías posee una larga tradición en la Psicología y en la historia del pensamiento en general. Así, desde la antigüedad griega hasta nuestros días, la analogía, y los razonamientos basados en su empleo, han sido revisitados un sinnúmero de veces sin que por ello se pueda establecer de manera unívoca el alcance del término

“analogía”. Así, de acuerdo al campo en que se aplique y a la edad de los sujetos en estudio, pueden llegar a variar tanto los propósitos investigativos, los mecanismos estudiados, como las situaciones y estímulos propuestos.

En este trabajo me interesa considerar, particularmente, a las IRA en el campo de la enseñanza y del aprendizaje. La mayor parte de estos trabajos pueden considerarse teóricamente inscritos dentro de las investigaciones sobre cambio conceptual comprendiéndose, entonces, que se mantengan la clase y frecuencia de las áreas escolares abordadas en las mismas. Se destacan, particularmente, el caso de las ciencias formales y experimentales y también otras áreas tradicionales como, por ejemplo, Lengua e Historia.

El punto de articulación entre las teorías de cambio conceptual y la enseñanza de las ciencias gira en torno a las condiciones de producción del conocimiento científico, entre las que se destacan el pasaje de las ideas erróneas o alternativas a las legitimadas científicamente. En el contexto de estos trabajos, las investigaciones sobre el razonamiento analógico en Educación tecnológica, tema que constituye la referencia central de este trabajo, continúan siendo más la excepción que la regla. Son más frecuentes, sin embargo, los trabajos dedicados a comprender los procesos cognitivos involucrados en los procesos de diseño tecnológico y los vinculados con la IA.

La ausencia de trabajos sobre la tecnología podría asociarse a la misma coyuntura en el sentido de que las epistemologías tradicionales suelen asociar a la tecnología más con el logro del éxito y con el despliegue de acciones instrumentales que con la construcción

de conocimientos. Y más con la aplicación de ideas procedentes de la ciencia que con la creación de ideas originales surgidas desde los contextos técnicos.

Sin embargo, tanto los resultados de los escasos trabajos destinados al estudio de la tecnología como la evidencia empírica recogida en contextos de Educación tecnológica, parecieran mostrar la misma apelación a los razonamientos por analogía, por parte de los sujetos enfrentados a la resolución de problemas tecnológicos, que las empleadas en las situaciones de cambio conceptual.

Estas concordancias estarían en fase con algunas epistemologías sobre la tecnología que proponen un isomorfismo estrecho entre los procesos de descubrimiento científico, los de diseño e invención, y los mecanismos cognitivos comunes a ambos si se los considera en tanto situaciones de resolución de problemas (Laudan, 1984).

El estado de situación que acabo de resumir intenta demarcar el contexto a partir del cual enunciar los propósitos y las principales cuestiones que pretendo abordar en este trabajo:

- Caracterizar el papel y la importancia del razonamiento analógico (RA) en las situaciones de resolución de problemas técnicos (SRPT).
- Argumentar acerca del rol que parecen jugar las analogías intradominio y las interdominio en los procesos de construcción de los saberes y conocimientos técnicos.
- Señalar la importancia de los procesos de redescipción representacional cuando se aplican sobre las representaciones de la acción que configuran a los “programas

de acción técnicos”. Precisar sus relaciones con los procesos de toma de conciencia y de RA.

- Reconocer y diferenciar, en el contexto de SRPT, la producción de analogías formales y materiales en tanto unas trabajan sobre dimensiones funcionales del pensamiento y las otras incorporan las dimensiones causales.
- Destacar las concordancias entre los modos de resolución empleados por los alumnos y el funcionamiento de algunos programas informáticos de la IA. Precisar cómo los razonamientos de base teleonómica- funcional y de base causal se coordinan progresivamente para resolver problemas técnicos.
- Fundamentar la necesidad de concebir a la construcción del conocimiento técnico de una forma mucho más progresiva, y recursiva, de la que se desprende de las conclusiones de las TCC y de las concepciones filosóficas que conciben a la tecnología como producto de la yuxtaposición de una fase técnica de carácter empírica y de otra, tecnológica, de tipo analítico- formal.

CONSIDERACIONES PREVIAS

Caracterización de las secciones de esta obra.

En la Primera parte trato de caracterizar y discutir los principales aportes al campo de la reflexión sobre la analogía.

En el Capítulo 1, presento una síntesis de trabajos y de reflexiones que se extienden desde la filosofía griega hasta los trabajos de las psicologías constructivistas.

Destaco, dentro de ese conjunto, la transición desde las reflexiones filosóficas hasta el surgimiento de la psicología. En paralelo con esta transición analizo el papel que la analogía pasó a tener dentro de la epistemología de las ciencias en relación a la cupla inducción /deducción. Cito a varios investigadores que plantean la pertenencia de las investigaciones sobre la analogía al campo psicológico. Me detengo, particularmente, a examinar los aportes de los enfoques genéticos y trato de explicitar las controversias que mantuvo Piaget con Spearman a propósito de los correlatos. Recupero, brevemente, las fecundas reflexiones de Wallon sobre el papel de las analogías en los niños pequeños.

En el Capítulo 2, indago en el surgimiento conjunto de la psicología cognitiva y de la IA y de la forma en que esta asociación influyó en la futura evolución de las investigaciones en el razonamiento por analogía que será sostenida desde ambas referencias.

Propongo un análisis comparativo de los principales enfoques y me centro en aquellas cuestiones más funcionales con los propósitos de este trabajo. Así, analizo y discuto los criterios empleados para oponer una clase de analogías a

otras (profundas-superficiales) y recupero los conceptos de Mary Hesse (1966, 1988) para abordar las analogías en su doble dimensión causal y funcional. Presento y analizo los principales aportes de las actuales corrientes en las IRA. Destaco, en particular, los trabajos de Dedre Gentner y de Keith Holyoak. Y me apoyo en Fernando Adrover y en Ricardo Minervino para realizar un abordaje comparativo de esos dos enfoques. Destaco, en el origen del campo, al trabajo de un grupo de pioneros en IA. Analizo, discuto y valorizo, en relación a lo tecnológico, el énfasis de algunos autores, como Holyoak (2004), en la importancia que llegan a asumir las metas y los contextos del problema en relación a la selección de las analogías fuente más pertinentes. Dentro del conjunto de estas investigaciones analizo y destaco aquellas situaciones y analogías propuestas que refieren a situaciones de tipo técnico, hecho frecuente a partir de los pioneros trabajos de Duncker, pero rara vez mencionados como tales en la bibliografía.

La Segunda parte tiene como propósito la discusión de los RA en el contexto de la enseñanza.

En el Capítulo 3 de la Segunda parte, discuto las propuestas sobre la enseñanza surgidas del campo de las IRA. Considero, en particular, el caso de la enseñanza de las ciencias y sus vinculaciones teóricas con las teorías de cambio conceptual. Recorro a la obra de Kuhn para discutir algunas de las afirmaciones referidas a la posibilidad de existencia de saltos conceptuales en el caso de sujetos individuales y en el de las comunidades científicas. Reviso, brevemente, la noción de paradigma.

Discuto, a partir de estos análisis, algunas de las diferencias entre los cambios cognitivos en ciencias y en tecnología. Reviso, críticamente, los temores sobre los errores a los que conducirían las enseñanzas de la ciencia que se apoyan en el recurso a las analogías. Comparo estas situaciones con sus homólogas en el caso de las enseñanzas de la tecnología.

Reflexiono sobre las reformas educativas y relativizo la tendencia que tiende a reducirlas a trayectorias orientadas en función del progreso de ciertas teorías sobre la enseñanza. Confronto esta perspectiva con la que subraya la importancia del tipo de sujetos que se trata de formar, con el marco conceptual e ideológico de cada reforma y con el carácter cíclico del espíritu de las mismas.

En el Capítulo 4 de la segunda parte presento y analizo una secuencia de actividades realizadas en el área de Educación tecnológica. Me apoyo en ellas para analizar la presencia de razonamientos por analogía y las particularidades que presentan en función de este campo de enseñanza. Me interesa considerar tanto las analogías intradominio como las interdominio. Como centro de interés de esta tesis me interesa indagar el modo en que las mismas parecen intervenir en las situaciones de creación y de re-conocimiento de tecnologías. Estos aportes permitirían fundamentar nuevas modalidades de enseñanza de la tecnología que superen el modelo tradicional que imagina al conocimiento tecnológico como una aplicación de los conocimientos científicos.

En las Conclusiones intento situar las experiencias descritas en el capítulo 4 dentro del contexto de la Enseñanza basada en los razonamientos por analogía. Retomo y discuto, críticamente, las apreciaciones de algunos didactas de la ET que asimilan la creatividad

técnica a los procesos de ensayo y error cuando no están acompañadas por el razonamiento científico. Defiendo la hipótesis de que la construcción de tecnologías moviliza conceptos y estrategias ligadas, sobre todo, a dimensiones cognitivas de tipo teleonómico y funcional como ya fuera señalado tanto por investigadores de la IA como del Constructivismo psicológico. Y destaco como inevitable y necesaria, a diferencia de la tendencia presente en las IRA, la alternativa de que los alumnos deban afrontar el error, si se pretende promover formas de enseñanza que verdaderamente se orienten al desarrollo de sujetos activos.

Completo las conclusiones con una breve reflexión epistemológica sobre la tecnología compatible con los análisis psicológicos previos.

Modalidades de presentación de lo técnico en los RA.

Es frecuente que en las IRA se empleen situaciones, ejemplos o actividades de carácter técnico. Pero no siempre se destaca esta característica por su falta de pertinencia con el problema planteado. Sin embargo, dado que el propósito de este trabajo se relaciona con actividades de tipo técnico, me parece importante hacer algunas precisiones al respecto.

1 El conocimiento técnico aparece como una parte constitutiva del análogo fuente. Así ocurre en numerosos ejemplos presentes en la bibliografía en los que la situación de partida, representada en el análogo fuente, constituye o se ha desprendido de una situación o dispositivo de carácter técnico. Por ejemplo, en la conocida investigación ideada por Duncker, donde se plantea cómo irradiar un tumor sin afectar los tejidos circundantes, el análogo fuente (la toma de un castillo) constituye un procedimiento técnico vinculado a las técnicas de la guerra. Aunque es infrecuente (yo no pude verificarlo en la bibliografía) que se reconozca explícitamente el origen técnico de numerosos análogos fuente. Sí existe acuerdo entre los investigadores en destacar que el

análogo fuente procede generalmente de una representación “menos compleja” o de base más empírica que la del análogo target. Algo semejante ocurre en el caso de los conceptos metafóricos.

2 El problema mismo a resolver, al cual estará ligado el análogo meta, es de carácter técnico. En este caso, como en cualquier otro, el análogo fuente puede proceder tanto de una situación o conocimiento de tipo técnico como de otra clase de situaciones y conocimientos.

Consideraré, en este trabajo, a ambas clases de situaciones para poder precisar la importancia del razonamiento técnico en la cultura ya sea jugando tanto el rol de fuente de nuevas analogías como de producto de ellas. Pero me interesará, particularmente, un tercer caso.

3 El análogo fuente como el target pertenecen al campo técnico. Este caso, característico de la creación de nuevos procesos y tecnologías, por apoyarse en otras ya conocidas le confiere a la Técnica una serie de rasgos peculiares que los vinculan también con procesos de redescipción, de toma de conciencia y de transferencia de funciones. Y reforzarían algunas hipótesis de la Antropología que conciben al desarrollo tecnológico como un proceso de cambio progresivo en contextos de recursividad (Geertz, 1973; Clarke, 1968/1978). A diferencia del cambio conceptual en ciencias, que suele implicar siempre un salto cualitativo acompañado de la refutación parcial o total de conocimientos o creencias anteriores.

Este tercer caso sitúa la creación técnica en permanente interacción con la cultura, en sentido amplio, y particularmente con los llamados *medio interior* y *medio técnico* (Leroi-Gourhan, 1945 & 1973). Así un determinado estado del conocimiento técnico opera como un sistema regulador que tanto moderará como promoverá la creación de lo nuevo. Desde este punto puede pesquisarse una diferencia importante

entre la creación técnica y la científica, más allá de las grandes semejanzas existentes entre ellas. En este sentido las teorías del cambio conceptual enfatizan el pasaje de lo no verdadero a lo verdadero y se preocupan, como las investigaciones en el razonamiento por analogía (IRA), en diferenciar claramente lo falso de lo verdadero. Vale decir, dichas teorías han sido concebidas dentro del contexto de la creación científica.

Las cosas son diferentes en el caso de la tecnología donde el solo hecho de que haya existido una tecnología en algún momento histórico es prueba de su eficacia (aunque siempre relativa a un contexto o época) de allí que sea muy infrecuente o sencillamente imposible presenciar el surgimiento de algo nuevo que no esté apoyado en actividades y en tecnologías previas (Basalla, 1988). La continuidad del medio técnico, es no solo enteramente compatible con el razonamiento por analogía sino que lo exige como instancia explicativa de su funcionamiento más allá del juicio de veracidad que nos merezca el análogo fuente al que se recurra en cada caso. Como lo expresara

Leroi-Gourhan: “Cuando tengamos que investigar qué es la invención (técnica), necesitaremos dejar sentado que la invención pura, *ex nihilo*, es inconcebible. Para que las técnicas evolucionen, es preciso que la adquisición se asocie a algo preexistente, incluso lejano o inverosímil” (Leroi-Gourhan, 1945&1973, Tomo II, Pag. 304 de la Trad. Cast. Cursivas en el original).

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE LA ANALOGÍA Y SOBRE EL RAZONAMIENTO POR ANALOGÍA.**El papel histórico-cultural desempeñado por las técnicas en los razonamientos por analogía.**

El uso de metáforas y de analogías parece haber sido consustancial al pensamiento humano, como lo prueban los ritos y las creencias míticas de la humanidad en las que jugaron un papel destacado las homologías y las analogías mágico- religiosas. Ya sea bajo formas práctico-operativas, o mediante la expresión comunicativa, las analogías desempeñaron una importante función codificadora y organizadora en las culturas tradicionales (Levi - Strauss, 1962; Bourdieu, 1980). En ellas, el mundo técnico fue, junto con el mítico – religioso y el de los seres vivos uno de los primeros en que se desplegaron las analogías (Frazer, 1922; Elíade, 1991).

Pero las similitudes y analogías entre el mundo animal y las técnicas humanas no se limitaron a la producción de prácticas míticas. Promovieron, también, prácticas eficaces. En algunos de estos casos, las técnicas animales eran tomadas como referencia analógica para construir las humanas. En otros casos, el sincretismo que Wallon y Piaget encontraron en los primeros razonamientos analógicos y transductivos de los niños, también se expresó en el llamado “pensamiento salvaje” (Levi-Strauss, 1962)

El papel de las técnicas que proceden estableciendo analogías sobre fenómenos de la naturaleza (inclusive, sobre los comportamientos de los animales) se acompaña de las analogías que los hombres establecen tomándose a sí mismos como parte de las analogías fuentes y creando, por analogía consigo mismos, nuevos soportes:

”: “El hombre es un inventor astuto, y siempre está imitando su propia estructura para fabricar nuevas máquinas, adaptando algún secreto de su anatomía en hierro, madera y cuero con el fin de realizar algún trabajo” Aristóteles, *Ética Eudémica* VII, 9 (1.241b24).

Y también Vico: “Son corolarios de esta lógica poética todos los primeros tropos, de los que el más luminoso y, por más luminoso, más necesario y más frecuente, es la metáfora (...) Es digno de observación que en todas las lenguas la mayor parte de las expresiones en torno a las cosas inanimadas se han elaborado con elementos extraídos del cuerpo humano, de sus partes, así como de los sentimientos y las pasiones humanas” (Vico, 1744, pag. 176 de la Trad. Cast.)

Esta lógica técnica basada en la delegación, anticipada genialmente por Aristóteles y Vico, fue retomada, de diversas formas, por numerosos pensadores y psicólogos (Kapp, 1877; Mounoud, 1970; Bruner, 1966; Cellérier, 1980; Gehlen, 1986) estableciendo, así, una trayectoria o genealogía de pensamientos que continúa renovándose.

Existe un paso, apenas, entre el enunciado metafórico y su funcionamiento como analogía productiva. Pero estamos tan habituados a usar la metáfora como tropo en cada pliegue del discurso cotidiano que resulta dificultoso saber cuándo, realmente, un término pasa de poseer un contenido metafórico a ser la referencia a partir de la cual se hace posible trasponer una operación técnica a un nuevo “soporte”. De una forma semejante a como el razonamiento metafórico estructura el discurso y la experiencia humanas:

“la metáfora no es solamente una cuestión del lenguaje, es decir, de palabras meramente. Sostenemos que, por el contrario los procesos del pensamiento humano son, en gran medida metafóricos” (Lakoff y Johnson, 1980, p. 42 de la Trad. Cast.).

En los procesos de metaforización, como en los propios de la analogía, dos situaciones diferentes, pero tomadas como *parcialmente* semejantes pueden llegar a estructurar tanto la experiencia discursiva y cognitiva como la de la creación técnica, que se deriva de aquellas. El razonamiento metafórico y el establecimiento de analogías constituyen mecanismos comunes al arte y a la técnica. La diferencia fundamental es la clase de “soportes” sobre los que se ha de “volcar” o “delegar” el contenido metafórico – analógico: si es en el discurso, en la naturaleza, o en la experiencia social y técnica.

Los antecedentes filosóficos del estudio de la analogía y del razonamiento por analogía.

Los primeros psicólogos que se ocuparon de la analogía y del razonamiento por analogía fueron deudores directos de la lógica y de la filosofía de su tiempo las que, a su vez, estuvieron precedidas por la tradición griega y, también, por la medieval aunque ésta se interesó, casi exclusivamente, por el plano teológico.

Un primer hecho a destacar es la impronta dejada hasta el presente por los matemáticos y filósofos griegos quienes legaron una comprensión de la analogía que orientó a la mayor parte de los estudios posteriores:

“Los matemáticos griegos entendieron la analogía como una proporción, o razón de proporcionalidad, en el sentido hoy todavía usual cuando hablamos de ‘proporciones’ o ‘razones’ en matemáticas (Ferrater Mora, 1994, T.1 pag. 158).

Existe consenso en reconocer a Pitágoras como uno de los que más firmemente abordó el uso conciente de la analogía. Su noción de “armonía”, más allá de su ilimitada extensión, se presta muy bien a connotar entidades vinculadas entre sí analógicamente.

Es griega, también, la discusión filosófica que relaciona al bien, al sol, al hijo y al padre y que será generalizada, reformulada y profundizada por Plotino, Platón y, sobre todo, por los medievalistas para discurrir acerca de la inteligibilidad de Dios:

Pero es a Aristóteles a quien se le deben las consideraciones más rigurosas sobre la analogía. Abordó su estudio en diversos textos y terminó de precisar significaciones que aún perviven:

“La metáfora es el uso de un nombre que significa una cosa para significar otra. Comprende cuatro especies: dos que se basan en la relación entre género y especie, la que se basa en la relación entre especies y la que se basa en una relación analógica” (Aristóteles, 2006, pag. 155 de la Trad. Cast.).

La recuperación de la obra de los griegos, mediada por la cultura árabe, promovió en la Edad Media un sinnúmero de argumentos y de análisis filosóficos y teológicos, sobre todo entre los escolásticos, que le otorgaron a la analogía un lugar de gran importancia.

Pero será a partir del surgimiento de las ciencias experimentales en el sXVI, y a través de la obra de quienes reflexionaron a partir de esos aportes, cuando se torne más complejo el análisis lógico y filosófico, primero, y psicológico después sobre los razonamientos por analogía.

El debate se hará dentro del marco, más amplio, de las relaciones que juegan los procesos lógicos deductivos e inductivos dentro del conocimiento científico. El aporte de las ciencias experimentales será, sobre todo, el de complementar la idoneidad lógica, reconocida desde los griegos a los procesos deductivos, con las trayectorias empíricas experimentales que revalorizarán la importancia de la inducción. Sobre todo de la llamada incompleta y, con ella, la de los razonamientos por analogía, proponiendo relaciones más complejas con los procesos deductivos:

Comienza a afirmarse así la idea de que, más allá de que no puedan asegurar la verdad lógica, los razonamientos por analogía constituyen ante todo, formas psicológicas, antes que lógicas, para acercarse al conocimiento nuevo. La conciben así, también, los grandes físicos:

“Los razonamientos que tienen por base la similitud y la analogía, estrictamente hablando, no dependen de la lógica formal sino más bien, de la psicología. Si los caracteres sobre los que actúa son directamente perceptibles, hablamos de similitud; si son relaciones abstractas, empleamos preferentemente la palabra analogía. (Mach, 1905, p. 186 de la Trad. Cast)

y los especialistas en el campo del lenguaje y de la lingüística:

“La analogía es de orden psicológico. (...) La analogía supone la conciencia y la comprensión de una relación que una las formas entre sí.” (De Saussure, 1945, p. 265 de la Trad. Cast.)

y, más contemporáneamente, algunos destacados científicos y epistemólogos: “Al parecer los isomorfismos o leyes descansan en nuestra cognición por un lado y en la realidad por otro.” (Bertalanffy, 1968, p.85 de la Trad. Cast.)

Si bien el enunciado formal de la analogía y el énfasis en su importancia contó con el apoyo de destacados pensadores, la caracterización de la analogía no fue clara ni promovió demasiados consensos. En el sXIX y, también en el XX, persistían las imprecisiones respecto a su caracterización:

« Le mot analogie, employé pour désigner un mode spécial de raisonnement, signifie généralement une espèce d'argument qu'on suppose être de nature inductive, mais qui ne constitue pas une induction complète. Il n'y a cependant pas de mot qui s'emploie plus indéterminément ou dans une plus grande variété de sens » (Mill, 1866, T. 2, p. 83).

Junto a los aportes de los filósofos y lógicos del sXIX, especialmente a los de Mill y Hamilton (1874) quienes produjeron uno de los más rigurosos análisis de su época sobre la analogía y sobre el razonamiento por analogía, se divulgaron en los s.XVIII y XIX varias obras sobre poética y retórica que incluían consideraciones sobre las figuras y, en particular, sobre los tropos Chesneau Du Marsais (1730), (Arcaute, 2001-2004),

Pasaje de los estudios lógico- filosóficos a los primeros trabajos psicológicos sobre el razonamiento por analogía.

Las primeras reflexiones psicológicas sobre la analogía y sobre los RA no estuvieron fundamentadas, como ocurrirá en la fase siguiente, ni en el trabajo experimental ni en la investigación clínica. Fueron trabajos de transición entre la filosofía y la psicología naciente. Y podría sugerirse, como posible puente vinculante de ambos campos, el del interés por las semejanzas, las contigüidades y las asociaciones sostenidas por los filósofos y psicólogos asociacionistas que pretendían dejar atrás a las teorías de las facultades.

En este contexto fueron los mismos filósofos y los lógicos quienes comenzaron a plantear los límites e incumbencias de la Lógica cuando se trataba de comprender las leyes del pensamiento. Se afirmaba, por un lado, la creencia en la imposibilidad de recurrir a la Lógica para acceder a las leyes del pensamiento. Y, por otra, se iniciaba la convicción creciente de que la analogía y el RA, a pesar de haber sido teorizada por los lógicos desde Aristóteles, constituía más un mecanismo psicológico que una regla lógica comparable a la del silogismo.

En este sentido algunos de los filósofos de la ciencia desconfiaron siempre de ella y de sus valores de verdad para terminar aceptando al razonamiento por analogía como un heurístico de carácter probabilístico, generador de infinidad de ideas novedosas, pero condicionado siempre al trabajo de verificación (Bunge, 1969/1983; Nagel, 1961). La influencia del positivismo y de sus seguidores mantuvo por largas décadas al razonamiento por analogía alejado de los intereses de los epistemólogos quienes, de los tres contextos propuestos por Reichenbach, retuvieron bajo su interés solo el contexto de verificación. En las últimas décadas, en cambio, la epistemología de las ciencias abrió sus preocupaciones y análisis a los tres contextos, más allá de poner en discusión, inclusive, a la noción de contexto (Klimovsky, 2005).

Uno de los más destacados estudiosos y divulgadores de los RA fue el gran lógico, filósofo y psicólogo escocés Alexandre Bain autor de una Lógica inductiva y deductiva influida por Stuart Mill, de un tratado de composición y retórica y de uno de los primeros tratados de psicología, “Los sentidos y la inteligencia” (Bain, 1895).

Bain, era considerado en Francia, además, como el más importante estudioso del aprendizaje de las “artes mecánicas” y también de la creación científica y de las “Bellas artes”, de allí que considere pertinente su mención para este trabajo.

Bain, como Spencer y también como la mayor parte de los biólogos y físicos de la época, recurrió asidua y explícitamente a los RA para ampliar los conocimientos generados en algún campo particular. Y generalizó el papel de los mecanismos cognitivos en la creación técnica y científica. ¡También subrayó el hecho, sustentado actualmente por la psicología cognitiva, respecto al carácter menos abstracto del

análogo fuente respecto al target !:

“D’habitude on emploie les procédés pratiques dans les cas familiers, et ensuite on les transporte à d’autres cas de même nature, *mais plus complexes* (Bain, 1895, pag. 418, cursivas mías)¹.

¹ La primera edición inglesa es de 1855.

Y la oposición entre analogías “superficiales” y “profundas” también fue anticipada por estos pensadores. Así argumentaba Ribot, “a lo Piaget “a partir de la obra de Spencer:

“Assimiler et différencier, voila tout mécanisme de la pensée (...) Depuis l’acte de conscience le plus humble jusqu’au raisonnement le plus compliqué; depuis l’intuition de la ressemblance grossière qui n’est qu’une lointaine analogie jusqu’ à l’intuition de la ressemblance parfaite qui est une identité, le processus reste le même invariablement » (Ribot, 1881, p.233)

En tanto que Bain proponía la denominación de “asociaciones constructivas” para caracterizar a los razonamientos analógicos propios de la creación científica, artística y técnica, Ribot hablaba de “imagination”. Pero ambos, a diferencia de la tradición centrada en las facultades, las consideraron como expresiones particulares del funcionamiento de los mismos mecanismos de la inteligencia:

« En traitant de la faculté de similarité, nous avons eu occasion de reconnaître l'existence d'une faculté qui tend a l'originalité et à l'invention, comme par exemple quand, en vertu de l'identification de deux choses très éloignées l'une de l'autre dans la nature, nous transférons à l'une tout ce que nous connaissons de l'autre, ce qui nous permet de constituer une nouvelle combinaison d'idées qui augmente notre instruction. (Bain, 1895, pag. 456 y 457).

Y Ribot: comentando el planteo de Bain:

« Ce que M. Bain appelle association constructive c'est l'*imagination*. Imaginer n'est-ce pas associer des idées ou sentiments acquis antérieurement pour produire quelque construction qui ressemble à la réalité ? (...) La association fondée non plus sur la contiguïté, mais sur la ressemblance, explique la classification, l'abstraction, la définition, l'induction, la généralisation, le jugement, le raisonnement, la déduction, l'analogie; toutes ces opérations, se réduisant à associer des idées qui se ressemblent, différent, ou se ressemblent et différent tout à la fois » (Ribot, 1881, pag. 273-274)

La influencia de los test mentales y de las investigaciones en resolución de problemas en las investigaciones sobre los RA.

La relación que había comenzado a establecerse a fines del sXIX entre analogía y creatividad técnica no volvería a plantearse claramente hasta las últimas décadas del sXX. Pero después de esos trabajos seminales el interés por la analogía y por el razonamiento técnico resurgen en ocasión de la construcción de los test mentales.

Las pruebas sobre analogías tuvieron en Spearman (1927), iniciador del análisis factorial, a su teórico más destacado y en el psicólogo inglés Raven al psicometrista que produjo uno de los más conocidos, difundidos y eficientes test para evaluar el llamado factor g de Spearman, basado en analogías espaciales no verbales, el Test de matrices progresivas.

Las pruebas eran, básicamente de dos clases. En una de ellas los sujetos debían establecer las relaciones existentes entre dos clases de cosas, a las que Spearman denominaba “fundamentos” (como, por ejemplo, techo y casa). A la resolución de esta clase de problemas la llamó “edución de la relación”. En la otra clase de pruebas, llamada “edución de un fundamento”, se ofrecía un fundamento y una relación y el sujeto debía deducir el otro fundamento (por ejemplo, entre el fundamento “fuerte” y la relación “opuesto”).

Spearman logró de esa forma valorizar el tema de la resolución de problemas por analogía. De allí que autores disímiles en sus planteos como Piaget (1977) y Holyoak (2004) se hayan referido a él al momento de tratar de situar sus propios aportes a este campo.

El razonamiento por analogía en las psicologías genéticas del desarrollo (Piaget y Wallon)

Piaget propuso las primeras referencias sobre la analogía en el contexto de la investigación sobre el lenguaje egocéntrico (Piaget, 1923/1968 y 1924/1967). Es interesante comprobar que, ya entonces, Piaget vuelve a rozar las oposiciones que señalé arriba entre el razonamiento deductivo y el “intuitivo” y sobre el cual se habían rebelado los primeros psicólogos, centrándose mucho más en aquello que los niños no parecen saber o conocer que en los comportamientos mediante los cuales alcanzan efectivamente sus metas:

“1º) La lógica egocéntrica es más intuitiva, más “sincrética” que deductiva (...) 3º) Usa esquemas personales de analogía, recuerdos del razonamiento anterior, que dirigen el razonamiento ulterior sin que esta influencia se explicite.” (Piaget, 1923/1968, p.47 de la Trad. Cast).

Y llega a oponer la deducción a la analogía cuando, en rigor, el problema no reside tanto en el mecanismo mismo como en la forma en que se desenvuelve en esas edades:

“La inteligencia comunicada, por el contrario, es 1º) mucho más deductiva 2º) Insiste más en la prueba...3º) Tiende a eliminar los esquemas de analogía reemplazándolos por la deducción propiamente dicha.” (íbid. Pag. 47 de la Trad. Cast)

En el contexto de sus análisis sobre la inteligencia sensomotora y el pensamiento preoperatorio, Piaget se refirió a otras modalidades de la analogía aunque no siempre reconociéndolas bajo ese nombre. La más precoz de ellas refiere a una anticipación sensomotora, en el límite de la simbolización. A partir de la observación 180 (Piaget, 1936/1977, p.322 y ss. de la Trad. Cast) Piaget presenta el comportamiento de su hija Lucienne (1; 4 (0)) para lograr abrir una caja de fósforos, casi cerrada, dentro de la que se había ocultado una cadenita. El recurso eficaz al que apeló la niña consistió en abrir y cerrar la boca varias veces hasta darse cuenta, rápidamente que debía introducir su dedo en la caja y tirar. En sus extensas consideraciones sobre esta observación Piaget comienza caracterizando a esa conducta como una innovación que va más allá de los comportamientos denominados “aplicación de medios conocidos a situaciones nuevas”. Y la sitúa dentro de los que denomina “descubrimiento de nuevos medios por experimentación activa”. En estos casos, afirma, la invención se presenta bajo la forma de una acomodación brusca del conjunto de esquemas, acomodación que procede diferenciando los esquemas precedentes en función de la situación actual. Esto ya supondría un comienzo de representación que no sería el fruto del tanteo. Para afirmar después:

“por otra parte, *la analogía así establecida* (cursivas mías) mediante asimilación entre la ranura percibida y otras aberturas simplemente evocadas le lleva a prever que una presión ejercida sobre el borde de la abertura la ensanchará sin más” (Piaget, 1936/1977, p. 329 de la Trad. Cast.)

Y completa esta interpretación afirmando que aún cuando este conjunto de comportamientos se apoyen, por analogía, en acciones que pudieron haber realizado anteriormente (como enganchar, tirar etc.): “esta analogía implica la imaginación de nuevas combinaciones”.

Si ahora se comparan estas expresiones de Piaget con las del psicólogo escocés Bain y con las de Stuart Mill, haciendo abstracción de las diferencias entre las teorías sostenidas por cada uno, apreciaremos una “analogía singular” sobre la caracterización de los comportamientos creativos entre lo que Piaget denomina “descubrimiento de nuevos medios por experimentación activa”, Bain “asociaciones constructivas”, Ribot “imagination”, y que Spencer denominó “asociaciones orgánicas” o “integradas”.

Con esto quiero sugerir que los cuatro autores han recurrido, para explicar situaciones semejantes ligadas a la creación y a la invención, a modos de razonamientos por analogía. Con la diferencia de que Piaget, apoyado en su teoría de la equilibración irá en busca de componentes más micro, psicológicamente hablando, que den cuenta tanto de la analogía como de otra clase de razonamientos. Se entenderá, por otra parte, que el ejemplo de la recuperación del collar, en tanto conducta instrumental, puede incluirse dentro de una psicología del razonamiento técnico, de allí su mención en este trabajo.

Dentro del período preoperatorio, Piaget también analizó los que denominó “Los mitos de origen y el artificialismo”. Se constituyen a través de una transferencia o adjudicación, simbólica, de comportamientos humano-procedimentales, primero y técnico-artefactuales, después, a fenómenos naturales. Se trata, nuevamente, de apelar a razonamientos por analogía tomando a las actividades técnicas como fuente y a lo natural desconocido, como target. Piaget acotaba, además, que durante su transcurso, los niños comienzan a interesarse por los detalles de las máquinas y por los procedimientos técnicos.

Pero las reflexiones más interesantes de Piaget sobre el razonamiento por analogía las produce en el contexto de su crítica a Spearman y a su interpretación sobre la “educación de los correlatos” (Piaget, 1936/1977, 1946, 1947, 1977, 1980). La crítica de Piaget se enraíza en la más general al empirismo y, en particular, al asociacionismo de base

empirista:

“en última instancia (...) el empirismo es necesariamente asociacionista” (Piaget, 1936/1977, pag. 346 de la Trad. Cast.).

Uno de los argumentos que ofrece Piaget para oponerse a las posiciones ‘empiristas’ es

“que la acomodación a las cosas se apoya siempre en una asimilación de esas cosas a unos esquemas ya estructurados (la constitución de un nuevo esquema consiste, en efecto, siempre en una diferenciación de los esquemas precedentes)” (íbid, pag 351 de la Trad. Cast.).

Vemos como Piaget, al igual que en el caso del razonamiento transductivo, y del artificialismo en particular, considera a la analogía, *en estos niveles de desarrollo*, como una asimilación de las cosas a los esquemas previos seguida de una diferenciación posterior de los mismos. Lo que da lugar a nuevos esquemas derivados de la misma raíz. Al igual que ocurre con otras formas de razonamiento Piaget reencuentra su sentido a partir de los procesos de equilibración de allí que llegue a afirmar que

“la asimilación contiene en embrión todos los mecanismos intelectuales y constituye una vez más, respecto de ellos, el hecho realmente primero” (Piaget, íbid, pag. 49 de la Trad. Cast),

Una expresión análoga a la que, muchos años después, Hofstadter (2001) emplearía pero refiriéndose a la analogía, “Analogy as the core the cognition” y a la que, medio siglo antes, apelara Ribot (1881, pag. 273-274), bajo la denominación de “ressemblance” para establecer la misma, extrema, identificación entre el papel rector de una operación mental específica con respecto a todas las demás.

Pero será en investigaciones dedicadas específicamente a trabajar sobre la abstracción reflexionante (Piaget, 1977) en relación con un problema basado en la formación de los correlatos y en un estudio, posterior, sobre las correspondencias (Piaget, 1980) donde Piaget analizará más a fondo esta cuestión y dónde volverá, una vez más, sobre los

planteos de Spearman. De este último trabajo solo cabe señalar la forma en que Piaget se refiere, explícitamente, a los razonamientos por analogía. Lo hace en el contexto de la introducción de la noción de “coordinadores”. En el caso de los que operan por repetición, Piaget señala la existencia de correlatos muy precoces, en niños de 2 y 3 años, explicitando que lo dice en el sentido de Spearman cuando relacionan un padre con el abuelo y la madre con la abuela. Y respecto al coordinador de sustitución, que en términos de la teoría de la equilibración opera diferenciando a partir de lo previamente repetido o asimilado, lo conecta con los razonamientos por analogía:

“El coordinador de sustitución (...) es característico de la asimilación generalizadora que, desde el nivel sensorio-motor, permite la aplicación de esquemas a contenidos nuevos, lo que constituye un establecimiento de correspondencias basado en la analogía y no ya solamente en las simples repeticiones de acciones y en las identificaciones de elementos.” (Piaget, 1980, pag. 37 de la Trad. Cast.).

Podría concluirse, en relación con Piaget, que si bien nunca consideró a la analogía y a los RA como categorías de análisis tampoco afirmó que las mismas solo fueran patrimonio de los adultos, como afirman algunos investigadores del campo cognitivo, como Gentner. Queda claro que, más allá de su defensa del razonamiento deductivo, Piaget aportó numerosas pruebas experimentales sobre el uso de los mecanismos analógicos a lo largo del desarrollo de la inteligencia.

A diferencia de Piaget, Henry Wallon, valorizó a la analogía reconociéndola como un mecanismo genéticamente anterior a la comparación objetiva y posterior a la “sucesión metamórfica de la imágenes”. En esa doble función de mecanismo superador y de asimilador distorsivo la analogía, para Wallon, se anticipa en el niño al orden causal, como también pensaba Piaget (y los pioneros en desarrollo de programas computacionales de diseño técnico y de razonamiento cualitativo como Johan De Kleer, Sussman, Forbus y otros a los que analizaré más adelante), pero de una forma tal que no solo le limita objetividades al niño sino que, sobre todo, le abre las puertas a su creatividad:

“Ella (la analogía) le ofrece un poderoso medio de extensión imaginativa, un medio preconceptual para superar la situación subjetiva y actual (...) Es un medio para superarse a sí mismo y de situarse en ese flujo de cosas o acontecimientos que precede en el niño al mundo de las causas.” (Wallon, 1945/1963, pag.34 de la Trad. Cast.).

En este sentido, algunas de las observaciones aportadas por Wallon, junto las de Piaget referidas a los coordinadores, permiten comprender cómo el razonamiento técnico puede entenderse como un sistema combinatorio y permutativo:

“Goldstein observaba en un afásico que según la cercanía llamaba a un cortaplumas, saca-punta, pelapapas, cortapan, cuchillo y tenedor. Así el objeto se transforma por un juego de analogías cuyos motivos le son impuestos desde fuera. (...) Se da siempre un desfile más o menos accidental de usos o de semejanzas, no integrados aún a algo único dentro de esta diversidad potencial...” (íbid, pag. 38 de la Trad. Cast) .

LAS INVESTIGACIONES CONTEMPORÁNEAS SOBRE LA ANALOGÍA Y SOBRE EL RAZONAMIENTO POR ANALOGÍA

La constitución del campo.

Las investigaciones psicológicas sobre la analogía y sobre los razonamientos por analogía parecen haber surgido en contextos diferentes.

En uno de ellos, la problemática que parece haber disparado el interés por la analogía estaba, en parte, situada en la revisión que proponían de la misma los filósofos y científicos (Sloman, 1971 y 1978; Hesse, 1966 y 1988). Las reflexiones solían referirse al valor de los razonamientos inductivos, entre ellos los analógicos, como mecanismos más idóneos, por lo menos en ciertos casos, que los procesos deductivos para generar novedades:

“Classically the study of analogy has been concerned with analogical *meaning* (related to metaphor), and with analogical argument, which was seen in standard logic texts up to the 19th century as a very poor relation of inductive and hypothetical reasoning”(Hesse, 1988, pag. 317) y

“When an early version of this chapter was published in 1971 (En las referencias, Sloman, 1971), many readers thought I was trying to prove that analogical representations are always or intrinsically better than Fregean ones. That would be absurd. I have been trying to show that questions about which should be used can be discussed rationally in the light of the purposes for which they are be used and the problems and advantages of using them. In some circumstances, analogical representations have advantages” (Sloman, 1978)

En otra fase, parecen haber sido los test mentales y, en particular, los trabajos de algunos psicólogos como Spearman quienes vieron en esta clase de razonamientos un “camino regio” para llegar a descifrar algunos de los mecanismos de la inteligencia.

En el tercer caso, al que está orientado este capítulo, parecen haber existido un eslabonamiento de circunstancias que terminaron por encender la chispa que disparó el rico y complejo campo de las Investigaciones sobre la analogía.

Uno de esos factores fue, sin duda, el desarrollo de la primera gran computadora que operaba de una forma analógica, la ENIAC. Y, en torno a ella, la sucesión de los tres

grandes momentos que terminaron por configurar el campo de la IA (Russell y Norvig, 2003):

- La propuesta, en 1943, del modelo neuronal debida a McCulloch y Pitts (1965).
- La publicación del artículo “Computing machinery and intelligence” de Turing (1950), donde proponía, entre otros temas, el del aprendizaje automático.
- La trayectoria se completa (para volver a abrirse hasta el presente) en 1956 con la realización del Taller de Darmouth. Duró dos meses y reunió a varios de los que serían los investigadores más brillantes de su tiempo (entre ellos, McCarthy, Minsky, Shanon, Newell, Simon y otros). Allí comenzaron a imaginar los futuros desarrollos que darían lugar al campo llamado, por una sugerencia de McCarthy en ese mismo encuentro, *Inteligencia artificial* y que comenzaría a desarrollarse en unas pocas instituciones norteamericanas como el MIT, IBM y las universidades de Carnegie Mellon y Stanford.

En este contexto no es sencillo seguir las trayectorias complejas que reúnen y diferencian a una cantidad de investigaciones y reflexiones que tienen en común el interés por las analogías y por el razonamiento por analogía. Pero sin pretender hacer siquiera una síntesis de las mismas, lo que escapa a los propósitos de este trabajo, es importante señalar tan solo algunas referencias que permitan situar y comprender mejor el sentido de las investigaciones psicológicas en RA sobre las que me extenderé más adelante.

Si bien el abordaje de las situaciones de resolución de problemas ya había alcanzado un desarrollo apreciable en las primeras décadas del sXX el hecho de haber enfatizado en la heurística y, dentro de ese contexto, en la analogía como mecanismo de resolución de

problemas fue obra de autores como Polya (1945/1957) que retomaron la discusión de las “dos facetas “de las matemáticas, una sistemática y deductiva y la otra experimental e inductiva². Se renovaban, así, parte de las discusiones decimonónicas que analicé en el capítulo anterior, pero en un contexto transformado por las ciencias de la computación.

Los primeros computadores, gigantes devoradores de energía, fueron empleados básicamente para realizar cálculos matemáticos vinculados a problemas sobre la trayectoria de proyectiles y la física teórica. Esto dio lugar a la creencia de que las computadoras solo podían ser vistas como dispositivos tontos pero dotados de alta velocidad de cálculo. Pero el llamado “mito aritmético” (Raphael, 1976) que hacía del computador solo un dispositivo numérico duró poco tiempo ya que se comprendió rápidamente que, en rigor, las computadoras son procesadoras de representaciones y de sistemas simbólicos. De allí el rápido surgimiento de la IA y la búsqueda de programas de computación que pudieran analogarse a las funciones inteligentes humanas.

En los 50's comenzaron a producirse programas de ese tipo que culminaron, en una primera instancia, con la creación por parte de un equipo dirigido por McCarthy, del LISP uno de los primeros programas de alto nivel que fue empleado por la IA. El desbordante optimismo de esa época dorada de la IA llevó a Herbert Simon y a Allen Newell a concebir un programa que a diferencia de los creados hasta ese momento, especializados en la resolución de cierta clase de problemas, se presentaba como un *sistema de resolución general de problemas* (SRGP). Los autores comenzaron

² Obsérvense las concordancias que presentan estas cuestiones con las relaciones entre ciencia y técnica.

sosteniendo tres proposiciones sobre las que apoyar la comparación entre la inteligencia humana y la de los computadores:

- 1 Se puede construir una ciencia del proceso de la información que sea substancialmente independiente de las propiedades específicas de los mecanismos particulares del proceso.
- 2 El pensamiento humano se puede explicar en términos del proceso de información sin establecer una teoría sobre los mecanismos neurológicos fundamentales.
- 3 Las teorías del proceso de la información del pensamiento humano se pueden formular en lenguajes de programación del computador y se pueden probar simulando con computadoras el comportamiento pronosticado.” (Simon y Newell, 1964, p. 348 de la Trad. Cast.)

Para sostener una década después, en el contexto de acelerado desarrollo de la IA:

“Ahora estamos en posibilidad de enunciar una hipótesis científica general, una ley de estructura cualitativa para los sistemas de símbolos: *La hipótesis de los sistemas de símbolos físicos*. Un sistema de símbolos físicos cuenta con los medios necesarios y suficientes para realizar actos de inteligencia general” (Newell y Simon, 1976, p.. 128 de la Trad. Cast., en cursivas en el original)

Pero el entusiasmo inicial se bien siguió sosteniendo ambiciosas aspiraciones se tornó mucho más prudente al comprobar que aún los programas exitosos se encontraban con obstáculos inesperados al pretender expandir sus alcances a problemas más complejos.

Entre las numerosas respuestas que se dieron a estos inconvenientes se destacó la idea de Minsky (1986) de trabajar con problemas mucho más acotados y que requirieran modos de representación de los conocimientos mejor especificados. Luego esos subprocesos podrían llegar a relacionarse entre sí. Esta idea no solo la planteó Minsky en lo relativo a la IA sino que se apoyó en ella para imaginar la estructura y el funcionamiento de la mente humana.

Se crearon, así, una diversidad de programas específicamente orientados a la resolución de cierta clase de problemas llamados “micromundos”. Uno de ellos fue el ANALOGY, creado por Tom Evans y presentado en 1964. El programa, que corría en LISP, se aplicó a la resolución de problemas basados en analogías geométricas, semejantes a las empleadas en test mentales y que respondían a la forma clásica A:B::C:D de una forma semejante a la propuesta en el Test de Raven.

Menos citado que el anterior, fue el programa Argus de Walter Reitman, presentado en 1965, y que se proponía encontrar analogías entre palabras operando a partir de una red semántica hecha manualmente. Pero su desempeño, al igual que el programa anterior, fue muy limitado (Turney, 2005; French 2002).

Desde entonces las investigaciones sobre las analogías y sobre los RA rara vez avanzan sobre el plano de la mente humana sin acompañarse antes, después, o durante, de investigaciones análogas pero encaradas desde la IA. El modelo computacional sigue siendo, así, la referencia central del campo tanto de las investigaciones en razonamiento por analogía como de la Psicología cognitiva en su conjunto:

”La analogía entre la mente y las computadoras resulta útil en las tres etapas del desarrollo de una teoría cognitiva: descubrimiento, modificación, y evaluación (...) Las teorías cognitivas por sí solas no tienen la precisión que permite hacer predicciones cuantitativas; para eso se precisan los modelos y los programas, que vinculan la teoría con los datos observados”. (Thagard, 2005, p.33-34 de la Trad. Cast.)

A esta dualidad de recursos, rasgo identitario de la Psicología cognitiva, cabe agregar la importancia de las investigaciones sobre la estructura lógica y la representación del conocimiento, parte inseparable de las otras dos. Así, las nuevas hipótesis sobre representación del conocimiento tanto pueden dar lugar a nuevos diseños en IA como a la creación de modelos de la mente. Y viceversa, cada uno devuelve la influencia al resto. Por esta razón se hace muy difícil aislar, en esta tercera fase del estudio de la analogía, a las investigaciones propiamente psicológicas de las ingenieriles, de las lógico – filosóficas, de las lingüísticas e, inclusive, de las referidas a la enseñanza. Todas ellas, en mayor o menor medida, aportan al campo de los RA. En rigor, estamos en presencia de un campo científico- tecnológico complejo.

Una de las derivaciones de estas multidependencias, en particular la de la IA con respecto a la Psicología cognitiva, es que en la inteligencia humana las formas de

representación del conocimiento (por lo menos de las modalidades culturales ya que todavía no conocemos la estructura del "mentalés") se construyen (psico)genéticamente de allí que se presenten bajo diferentes formatos a lo largo del desarrollo (Piaget, 1936/1977; Bruner y otros, 1966) en lugar de limitarse a operar algunas de ellas a todo lo largo del mismo como suele ocurrir con un programa informático. En términos de psicología humana aquello que llamamos "razonamiento por analogía" puede asumir diferentes expresiones, como vimos en el capítulo anterior, desde algunas muy simples e imperfectamente separadas de sus contenidos hasta expresiones formales de carácter cuantitativo. En contraste, varias de las propuestas de la IA suelen limitarse al tratamiento de datos bajo organizaciones del conocimiento muy estructuradas. Al contrario, y en la medida en que algunos de los autores de programas de analogías en IA pretenden generalizar sus resultados a la psicología humana, se esfuerzan en dotar a sus teorías de un mayor número de variantes explicativas. En algunos casos, sin embargo, las diferencias en los modos de representación de los conocimientos conduce a tipificar de una forma demasiado contrastante a las formas consideradas "buenas" o "profundas" de aquellas consideradas "superficiales". Y de esta forma se cierran los caminos para intentar imaginar alguna clase de construcción de las primeras a partir de las segundas o a postular su inclusión en trayectorias psicogenéticas diferentes, aunque esta pretensión corresponda, básicamente, a las expectativas de los modelos constructivistas de la inteligencia.

En cambio, si el propósito consiste en poder diseñar programas capaces de crear o de "descubrir" nuevos conocimientos de orden científico mediante el empleo de analogías muy formalizadas, como las que caracterizan a los invariantes de la física, entonces lo que interesa es lograr un sistema capaz de producirlos a partir del empleo de lógicas desarrolladas y de entradas de datos formales, como lo expresa Feynman. "Hay sistemas

eléctricos, llamados circuitos lineales, en los cuales encontramos una analogía completa con los sistemas mecánicos” (Feynman, 1963, p. 25-9 y 25-10 de la Trad. Cast.),

Estos señalamientos que hago míos en este trabajo ya fueron anticipados por algunos especialistas del campo que se han mostrado preocupados por esta clase de caracterizaciones que aúnan a su sencillez clasificatoria su imprecisión terminológica:

“El concepto de semejanza entre dos situaciones análogas está relacionado con el grado de solapamiento que podamos establecer entre ellas con respecto a aspectos ‘superficiales o estructurales’ de las mismas, no existiendo consenso entre los autores sobre qué se entiende por superficialidad, por estructura, por los límites entre ellas e, incluso, sobre los propios criterios de clasificación de las características que se pueden distinguir en una determinada situación o análogo.” (González Labra, 1997, p.36)

y también: ”A pesar de la importancia teórica que se ha dado al problema del papel de lo superficial y lo estructural en el pensamiento analógico, y a las investigaciones empíricas dedicadas a estudiarlo, no existe en el área un acuerdo absoluto respecto a la definición y diferenciación de estos componentes” (Minervino, 1998, p.115).

Pero ya sea que la atención se centre en la psicogénesis o en los programas, la discusión acerca de qué entender por analogías es importante. A las consideraciones que ya hiciera en capítulos anteriores es conveniente incluir en este contexto algunas más que se destacan por el aporte que brindaron a la constitución de este campo en esta tercera fase.

Mary Hesse, una de las epistemólogas que más se interesó por el nuevo campo y que más influyó sobre varios de los especialistas en IRA reconoció, en los 60s, la importancia de precisar los significados a los que alude el término analogía pero destacando de antemano los aspectos preformales del proceso de RA:

“But before formalization can take place, two other steps of explication are necessary. First, the pre-formal essentials of the process must be adequately described and codified” (Hesse, 1988, P.318).

Hesse distinguió dos tipos de razonamientos por analogía:

En un caso se establecen *relaciones de similitud o de semejanza funcional* entre dos instancias, una conocida y la otra no, lo que supone el establecimiento de correspondencias uno a uno entre ambas teorías o situaciones.

El segundo tipo de RA establece, además, la co-existencia de *relaciones causales* iguales entre cada uno de los componentes de cada instancia. Los procesos de razonamiento que solo dan lugar a la primera clase de relaciones son denominados analogías formales en tanto que los que llegan a implicar tanto a las relaciones de similitud como a las causales se denominan *analogías materiales*. Así, Lamas (2004, p. 247), siguiendo a Hesse, propone el siguiente cuadro (Cuadro 1) para apreciar la articulación de los aspectos funcionales y los causales, cuyo análisis retomaré más adelante.

	Propiedades de la natación	Propiedades del vuelo
Relaciones causales 	Presenta mucha resistencia.	Presenta poca resistencia.
	Estructuras lisas.	Estructura con plumas.
	Estructuras óseas compactas de los miembros anteriores.	Estructuras óseas gráciles de los miembros anteriores.
	Realizado por aletas.	Realizado por alas.
	Movilidad en medio acuático.	Movilidad en medio aéreo.
	Relaciones de semejanza (En cuanto a la función)	

Cuadro 1

El campo de las investigaciones sobre el razonamiento analógico. Modelos

Las principales teorías sobre la analogía y sobre el RA coinciden en un planteo esquemático general y difieren en una cantidad de apreciaciones. Algunos especialistas no consideran a algunas de esas diferencias como tales y sugieren que existirían más semejanzas entre algunos de los enfoques que las que la mayoría de los investigadores suelen admitir. (Abrantes, 2003; Minervino, 2003; Minervino y Adrover, 2003).

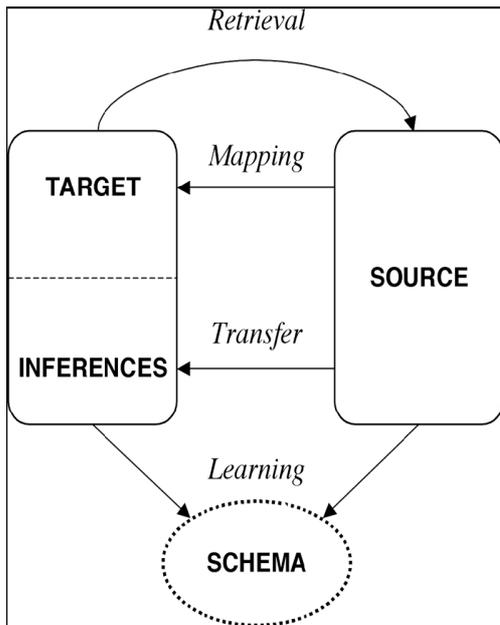


Figura 1 Principales componentes del razonamiento analógico

El esquema propuesto por Holyoak (2004, p. 118), (Figura 1) sintetiza los principales procesos e instancias propuestas por las IRA y sobre las que existe un acuerdo general entre los diferentes enfoques. Las diferencias surgen cuando se trata de explicar el rol de cada una de las instancias en el proceso de RA e, inclusive, sobre qué entender por analogía y que variantes de las mismas se pueden proponer.

Del conjunto de investigaciones en RA existen dos aspectos que pretendo recuperar en este capítulo y vincularlos a la resolución de problemas técnicos.

Uno de ellos se refiere a la estructura del razonamiento analógico, a su caracterización como mecanismo y a su actuación en el contexto de resolución de determinados tipos de problemas.

El otro aspecto se refiere a la forma en que este mecanismo se comporta o configura en función de la edad, de los grados de experticia y de otras variables que hacen al plano del desarrollo. Así, es posible encontrar algunas coincidencias entre los autores en uno de estos aspectos, o en parte de ellos, aunque no, necesariamente, en el otro.

Entre las primeras investigaciones que la psicología cognitiva le dedicó al uso y a la comprensión de metáforas y de analogías, se cuentan las de Rumelhart y Abrahamson (1973), Howard Gardner (1974), que volverá esos temas en obras posteriores³ sin por eso sumarse al campo propiamente dicho de las IRA, las de Gentner (1977a y 1977b). También cabe citar, ya que ampliaré las referencias más adelante, a otros autores, a Mary Gick y Keith Holyoak (Gick y Holyoak, 1980).

El campo del razonamiento analógico se despliega, también, sobre su “otra mitad” constituida por las investigaciones sobre modelos analógicos implementadas en IA pero de las que no me ocuparé en este trabajo por alejarse de la finalidad específica que persigo. Tampoco analizaré otros enfoques psicológicos, como el propuesto por Sternberg, ya que se basa en los modelos clásicos de proporciones, como los usados en los test mentales lo que también difiere, considerablemente, de los contextos habituales en que los sujetos (inventores, alumnos) se apropian (construyen) conocimiento tecnológico.

El centro de interés de las tres primeras investigaciones (Gardner 1974; Gentner 1977 a y b) confluía en la habilidad de los niños para comprender metáforas y analogías. Ambos autores señalaban sus discrepancias con la afirmación, frecuente entonces, de que solo hacia el final de desarrollo los sujetos alcanzaban la habilidad de manejarse con analogías verbales. Y ambos coincidían, también, en señalar a la misma obra de Inhelder y Piaget (1955) como uno de los ejemplos más representativos de ese supuesto,

³ En una de sus obras más conocidas (Gardner, 1985, pag. 290), propone una serie de ejemplos donde se expresaría la “capacidad metafórica” y en los que reúne al pintor, al poeta, al arquitecto y al ingeniero de una forma que, por su generalidad hace recordar a las viejas obras, como las de Bain y Ribot, que llamaban la atención sobre la creatividad en la técnica. Señalo este detalle con el propósito de subrayar como una y otra vez reaparece en la literatura, a lo largo de un siglo, la cuestión de la creatividad en la técnica sin que ese interés se trasunte en la creación de un campo de investigación como si ocurre, con el del descubrimiento científico y la historia de las ciencias.

aunque ya señalé más arriba que esta afirmación no es, en rigor, aplicable a Piaget en sentido estricto.

Gentner también señalaba cómo la inserción sociocultural de cada niño condicionaba fuertemente sus posibilidades no solo de proponer o seleccionar analogías sino, inclusive, de poder comprender las consignas de la prueba (Gentner, 1977 a). Unos años antes, el gestaltista Rudolf Arnheim (1969) les dirigía una crítica similar a las pruebas de resolución de analogías que integraban los test mentales, cuestionando también, y a solo un año de creado, al “Analogy” de Evans por su pretensión de ser un programa “inteligente”. Arnheim emplea en su crítica una expresión que comenzó a difundirse entonces. Decía que en IA el análisis de lo percibido iba de los detalles a lo global, de “abajo a arriba”. En cambio, en los sujetos humanos la percepción se desplaza a la inversa, de lo más global a los detalles, “de arriba a abajo”.

Resulta interesante de destacar que el mismo año en que Gentner publica estos dos trabajos, donde se posiciona frente a los de Piaget e Inhelder de 1955, Piaget publicaba sus investigaciones sobre los correlatos spearmanianos (Piaget, 1977) las que darán lugar, años mediante, a nuevos debates entre el constructivismo y la psicología cognitiva.

La teoría de la extrapolación estructural (Gentner, Forbus, Falkenheimer y otros)

En una de sus primeras obras, Gentner proponía analizar el desarrollo de la habilidad metafórica, y afirmaba que su visión de las habilidades metafóricas no distinguía entre analogía, metáfora y simil. Definía “a metaphor or analogy” (Gentner 1977 b), como un “mapping” realizado desde una región semántica, “el dominio de origen”, a otro, “el rango de aplicación”. Investigó en ese trabajo la resolución de analogías topológicas entre partes del cuerpo humano, que operaba como dominio de origen y otras partes de

la imagen objeto que operaba como rango de aplicación. Gentner concluía afirmando que la habilidad de establecer analogías entre entidades diferentes estaba presente tempranamente en el desarrollo del lenguaje. Aunque no alcanzaran el dominio de los que se consideraban los estándares adultos. De esa forma no objetaba la resolución tardía de algunas analogías pero entendía más a la habilidad para metaforizar como una propiedad mental en desarrollo antes que en un punto de llegada. En este sentido su visión, aunque no su concepción sobre la estructura del mecanismo, está más cerca de las ideas de Wallon, aunque este autor nunca sea mencionado en los trabajos de los cognitivistas, que de las de Piaget.

Gentner propondrá más adelante un marco teórico para la analogía:

“The analogy ‘A T is (like) a B’ defines a mapping from B to T. T will be called the *target*, since it the domain being explicated. B will be called the *base*, since it is the domain that serves as a source of knowledge” (Gentner, 1983, p. 157)

sobre el que girarán sus investigaciones hasta el presente, las que le permitirán presentar nuevas síntesis y aplicaciones del modelo (Gentner, 2002).

En paralelo con la creación del modelo psicológico propondrá, junto a dos expertos en inteligencia artificial, el programa de IA conocido como The structure - mapping engine (SME) (Falkenhainer, Forbus, Gentner, 1986).

Para fundamentar su modelo, Gentner (1983), parte de un conjunto de supuestos basados, en parte, en trabajos previos de otros investigadores:

- 1 Las situaciones y dominios son, consideradas psicológicamente, como sistemas de objetos, de objetos –atributos y de relaciones entre objetos.
- 2 El conocimiento es representado como nodos y predicados en redes proposicionales donde los nodos representan conceptos y los predicados aplicados a los nodos expresan proposiciones sobre los conceptos.
- 3 Las distinciones son esencialmente sintácticas, sobre los tipos de predicados.

La primera distinción es entre atributos de objetos y relaciones. Donde los atributos son predicados que toman un argumento y las relaciones, toman dos o más.

La segunda distinción es entre los predicados de primer orden (tomando objetos como argumentos) y los predicados de segundo y alto –orden (tomando proposiciones como argumentos).

4 Las representaciones mencionadas, considerando entre ellas a las distinciones entre las clases diferentes de predicados, son proyectadas para reflejar el modo en que las personas interpretan una situación, más bien que lo que es lógicamente posible.

Desde estos primeros trabajos, serán las ciencias duras las primeras en ser convocadas para ilustrar o inspirar las situaciones en análisis: analogías entre galaxias, entre modelos astronómicos y atómicos, entre flujos hidráulicos y térmicos y entre flujos hidráulicos y eléctricos (Gentner y Gentner, 1983) aunque, naturalmente, en algunos casos, como en los dos últimos, es difícil de deslindar qué le corresponde a lo científico y qué a lo tecnológico. En el contexto de esos ejemplos fundamentará Gentner su mecanismo del mapeo en función de la estructura o extrapolación estructural (“structure- mapping”) para probar la forma en que se interpretan reglas por analogía.

Así, expresa su interés por las relaciones de alto orden en la construcción de analogías afirmando que las distinciones que serán tenidas en cuenta lo serán “only on the syntax of the knowledge representation, not on the content” (Gentner, 1983, pag. 158).

Desde sus primeros trabajos, donde procedía más globalmente con las diferentes clases de similaridades, Gentner nunca dejó de considerar las diferentes clases de comparaciones posibles entre diferentes dominios (Gentner 1983, Gentner y Holyoak, 1997). Para diferenciar las clases de predicados construidos en función de las diferentes clases de dominios se basó en el número de atributos y de relaciones mapeados, de la

fuente al target. Y los aplicó a las similaridades literales, a las analogías, a las abstracciones y a las similaridades anómalas.

Las similaridades literales y las anómalas se diferencian en considerar o bien un número elevado de atributos y relaciones, las primeras, o un bajo número de ambos, las segundas. En tanto que en las analogías, como en las abstracciones, el mapeo pasa por alto la mayoría de los atributos aislados y se centra en encontrar la mayoría posible de relaciones de alto nivel (Gentner, 1983). Respecto a las metáforas, Gentner las considera básicamente analogías o combinaciones de ellas aunque matiza las similaridades en función de cuál sea el tipo de metáfora considerada destacando que, en muchos casos, las reglas de mapeo son menos regulares que en el caso de la analogía lo que ha llevado a investigaciones complementarias sobre el procesamiento específico de metáforas el que si bien, según Gentner, es perfectamente compatible con el modelo de extrapolación estructural la llevó a proponer cuestiones e hipótesis adicionales como, por ejemplo, la llamada “career of metaphor” (Wolff y Gentner, 2000) que postula cómo las metáforas novedosas son procesadas como alineaciones estructurales entre las representaciones concretas o literales de la base y el target pero, en tanto son repetidas, como comparaciones, el significado metafórico es gradualmente esquematizado y termina asociado con el término base. Esta trayectoria de la metáfora queda bien expresada en los diagramas que propusieron Gentner y colaboradores (Gentner 1989; Gentner y Markman, 1997) en los que se aprecia el espacio de despliegue de la metáfora, cuando se la representa en función de los atributos y de las relaciones compartidas (Fig. 2).

Figure 1
Similarity Space, Showing Different Kinds of Matches in Terms of the Degree of Relational Versus Object-Description Overlap

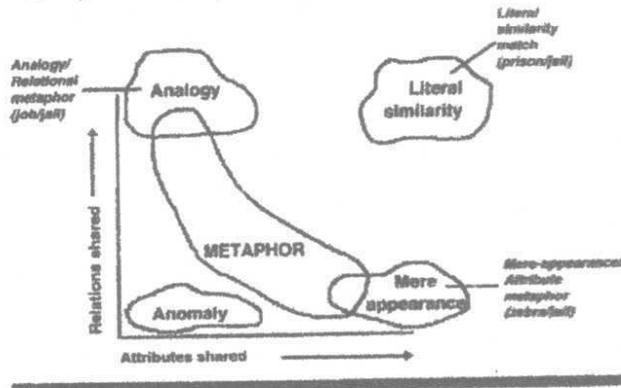


Figura 2

El modelo pragmático o de las restricciones múltiples de Holyoak, Gick, Thagard y otros:

A diferencia de Gentner, en cuyas investigaciones se apoyó en principio (Thagard, 2005), Keith Holyoak y col. (Holyoak, 2004; Gick & Holyoak 1980, 1983) ponen un fuerte acento en los aspectos pragmáticos presentes en toda situación de resolución de problemas como, por ejemplo, las metas perseguidas y los efectos del contexto, los que, según Holyoak, guían el proceso de interpretación de las analogías. Además de coincidir con Gentner, en que los mapeos se realizan maximizando la similaridad de los elementos y relaciones en correspondencia y el paralelismo estructural “i.e, isomorphism, defined by consistent, one to one correspondences” (Holyoak, 2004, pag. 122).

Según Holyoak, la analogía, que es considerada además como una dimensión especial de los procesos inductivos (Holland, Holyoak, Nisbett & Thagard, 1986), puede proporcionar el germen para generar nuevas correspondencias entre modelos de esquemas para una misma clase de problemas.

Holyoak se interesó tempranamente por los procesos de resolución en problemas mal definidos donde tanto las reglas a seguir como la meta a alcanzar no estuvieran explicitadas desde el mismo planteo como sí ocurre, por ejemplo, con las analogías estudiadas por Sternberg de la forma A:B::C:D. y con los problemas del tipo de la torre de Hanoi y de los misioneros y los caníbales (“well defined problem”), a las que Holyoak consideraba mejor investigadas (Gick & Holyoak, 1980). Al contrario, él buscaba acercarse a la comprensión de aquellos problemas siempre presentes en Historias del arte y de las ciencias que siendo mucho menos definidos, se resolvían conectando análogos distantes. Estos contextos, cabe decir, son semejantes a los del campo tecnológico.

El modelo pragmático aborda también la cuestión de las analogías superficiales (Holyoak & Koh, 1987)_apoyándose, al igual que Gentner, en los aportes de Hesse y de Tversky (1977) para caracterizar a las analogías de tipo superficial y estructural. En este caso Holyoak y col. hacen depender el tipo de categorización de factores ligados al contexto de la situación y a las metas perseguidas. Pero, también, a las relaciones causales implicadas. Así, para Thagard, la causalidad constituye una de las referencias más relevantes para establecer las diferenciaciones:

“¿Cómo se hace para distinguir las semejanzas superficiales de las importantes? (...) La clave para reconocer diferencias relevantes consiste en apreciar las relaciones causales que produjeron resultados que se ajustan mejor a nuestros objetivos” (Thagard, 2005, p.132 de la Trad. Cast.).

Este acento en la causalidad involucrada en las situaciones de resolución de problemas, cuando se trata de diferenciar entre rasgos superficiales y estructurales, diferencia a Thagard, Holyoak, Koh y otros, de los “purely syntactic criteria such as Gentner’s (1983) distinction between one-placed and multiplace predicates” (Holyoak y Koh, 1987, pag. 334).

Estas tomas de posición de los teóricos del modelo pragmático respecto a las analogías superficiales, generalmente censuradas o temidas por los especialistas en aprendizaje de

las ciencias (González Labra, 1997), pero que han demostrado su pertinencia a lo largo de la historia de las técnicas, resultan pertinentes para el análisis del razonamiento tecnológico, fuertemente influido por las metas y del cual suele afirmarse, por esa razón, que constituye un saber fuertemente dependiente de contexto.

Sin embargo, la escuela pragmática no le ha dedicado una investigación específica a los modos de razonamiento técnico por analogía, por lo menos de forma explícita, aunque varios de sus trabajos se refieren, tal como yo lo entiendo, al razonamiento técnico (Gick & Holyoak, 1980; Holyoak y Koh, 1987). Aunque en otras oportunidades, en cambio, tanto Holyoak como Thagard se han referido a la importancia que posee el razonamiento por analogía en el campo técnico (Thagard, 2005; Holyoak y Thagard, 1995). Así, por ejemplo, en “Analogical problem solving” Gick y Holyoak (1980), desarrollan un conjunto de investigaciones sobre resolución de problemas por analogía tomando, como target, al conocido “problema de la radiación” de Duncker⁴ al que le aplicaron algunas modificaciones para desligarlo del campo médico. En el transcurso de las entrevistas, uno de los sujetos propuso un análogo fuente basándose en una información a la que había accedido casualmente unos días antes acerca de cómo se reparaban unas costosas lámparas cuando se les cortaba el filamento. El procedimiento consistía en enfocar sobre el filamento un conjunto de láseres de modo que la suma de energías concentradas permita fundir y unir el filamento sin afectar al vidrio de la ampolla. Lo interesante del caso es que ese análogo fuente, que interesó a Holyoak, será propuesto como target de una nueva serie de investigaciones (Holyoak y Koh, 1987) donde vuelven a apelar a la experiencia original de Duncker pero esta vez

⁴ Karl Duncker trabajó en el mismo laboratorio que Köhler y Wertheimer en los 30s. Además de crear el problema por el cual es más conocido, también experimentó en resolución de problemas mecánicos y técnicos en general (Woodworth y Schlosberg, 1964, T. II). En ese contexto Duncker propuso que la solución de problemas complejos se desarrollaba por grados, sucediendo una comprensión parcial del problema a otra. Lográndose la comprensión o “penetración” de grado inferior cuando el sujeto veía que era posible aplicar una regla aprendida previamente a un problema nuevo. Pero para la penetración de grado más alto el sujeto debía descubrir la razón en que se fundamenta la regla.

proponiéndola como análogo fuente para uno de los grupos examinados. El hecho es doblemente interesante para los fines de este trabajo. Por una parte porque se permutan los roles de fuente y de target lo que permite flexibilizar la máxima que plantea que la fuente es, generalmente, de un orden de abstracción menor al del target. Y, por otra, porque muestra que ya sea que la fuente o el target constituyan ejemplos técnicos, o de otra naturaleza, la analogía misma, como mecanismo, no parece alterarse. Lo que habilitaría a generalizar muchos de los aportes del campo al de la comprensión de la creación técnica.

Alcances y limitaciones de las investigaciones sobre el razonamiento por analogía.

A lo largo de este capítulo privilegié la caracterización de los dos enfoques que han tenido mayor difusión, siguiendo el mismo criterio que otros investigadores (Gentner, 2002; Kokinov, 1996, Minervino y Adrover, 2003). Y limité su dominio al de las investigaciones realizadas sobre sujetos por ser las más próximas al tema de mi interés, la Educación tecnológica. Pero, a modo de conclusión de esta Segunda parte, me interesa hacer un par de precisiones sobre la dimensión computacional de los dos grandes enfoques que desarrollé hasta aquí. Dejaré de lado, en cambio, la mención a un tercero (Hofstadter, 1984, 1995) que, difiriendo sobre los dos anteriores más de lo que éstos difieren entre sí (Minervino, 2003), pareciera aportar algunos conceptos potencialmente significativos para el campo de las IRA en tecnología que abordo aquí (Hofstadter, 1982, 2001).

Existe una tensión peculiar entre una teoría sobre el RA cuando es dirigida a comprender el razonamiento humano y cuando se la emplea para diseñar programas de IA (Más allá de que éstos puedan ser usados, a su vez, como modelos de la mente).

En el primer caso es posible producir teorías más refinadas que tratan de dar cuenta de la complejidad del fenómeno. Y por lo tanto, presentan diferencias más apreciables entre sí. En tanto que en el segundo, por estar su producción limitada o restringida por las variables materiales del diseño, suelen constituir versiones más simplificadas de la teoría “madre”.

De esta forma las dos grandes teorías, cuyas diferencias analicé más arriba, han dado lugar a programas que se asemejan mucho más entre sí que sus teorías de base.

Así, por ejemplo, el Structure- mapping engine SME (Falkenhainer, Forbus, Gentner, 1986) basado en la SMT de Gentner (Structure –mapping theory) es considerado, por algunos autores, como un desarrollo muy semejante al ACME, basado en la TMR de Holyoak y Thagard. Así, se subraya el hecho de que ambas teorías y modelos son, básicamente, modelos de mapping - establecimiento de correspondencias (Kokinov, 1996; Abrantes 2003), aunque Abrantes (íbid) destaca la posterior creación del programa de “recuperación” ARCS (Analog retrieval by constraint satisfaction) por Thagard y otros (1990).

Para completar, es pertinente citar a Minervino, que sostiene que

“las visiones informales de las teorías son simplificadas drásticamente por sus autores a efectos de su implementación computacional” (Minervino, 2003, pag. 101),

y que solo encuentra diferencias “insignificantes” entre SME y ACME en relación con el tratamiento del componente semántico, crítica importante si se considera que, para el autor, el SME, a pesar de lo que sostienen sus creadores, es un programa básicamente semántico y no sintáctico.

Análisis comparativo entre los enfoques en IRA.

Los especialistas del campo de las IRA suelen partir siempre de la consideración de la similitud entre las representaciones a fin de poder dar cuenta de la eficacia del proceso completo. Ya señalé más arriba algunos aspectos de esta cuestión como, por

ejemplo, las diferencias que suelen establecerse entre similitudes o semejanzas superficiales y estructurales, la amplitud de la noción de similitud y también la falta de criterios consensuados sobre qué entender por superficialidad y estructuralidad. La discusión sobre los criterios de semejanza, a los que también me referí, es semejante:

“actualmente no existe consenso sobre el propio concepto de semejanza, ni sobre las diferencias o características de los diferentes tipos” (González Labra, 1997, p. 41).

En contrario de estos desacuerdos, algunos autores como, por ejemplo, González Labra (íbid.) consideran que las diferencias sobre la oposición superficialidad-estructuralidad entre los enfoques de Gentner y Holyoak no son irreconciliables. La autora propone asimilar la semejanza de objetos y atributos de objetos compartidos, independientemente del lugar que ocupen en la situación problemática a la noción de semejanza superficial. Y a la semejanza estructural asimilarla a aquellas relaciones entre objetos incluidas dentro del estado inicial del problema, de las acciones posibles y del estado final u objetivo.

En lo que respecta al proceso de recuperación del análogo, cabe señalar que se trata de una operación muy compleja ya que la cantidad y variedad de casos presentes en la memoria de largo plazo es enorme. Y cada teoría debe esforzarse a fin de dar cuenta cómo se consigue la eficacia y por qué razón surgen analogías inapropiadas.

Esta fase puede ser iniciada de tres formas diferentes (Kokinov, 1996):

Mediante una sugerencia, que orienta al sujeto hacia una elección determinada como ocurre, p.e., cuando es provista por un instructor o docente (*analogía forzada*).

Mediante un recuerdo o recuperación espontánea ante determinada situación o problema (*analogía espontánea*).

Por la decisión explícita de un sujeto que se propone generar análogos fuente mediante una búsqueda sistemática (*analogía constructiva*)

Y en referencia a los modelos computacionales, Holyoak y Thagard enuncian como factores fundamentales en la recuperación a las restricciones de similitud, estructura y propósito (Thagard, 2005).

Así, según Holyoak y Thagard, estas “tres restricciones que operan en paralelo permiten recordar los análogos relevantes de entre todos los análogos relevantes potenciales” (íbid, p. 136 de la Trad. Cast.).

Tanto en el caso de Gentner como de Holyoak existe acuerdo en afirmar que el principal factor que influye sobre el proceso de recuperación es la “similaridad semántica de conjunto” entre fuente y target. Vale decir que en la mayor parte de los casos las disimilaridades superficiales pueden evitar que los sujetos recuperen una historia que es estructuralmente similar al target. (Kokinov, 1996)

En el caso de Gentner, las restricciones al proceso de mapping están expresadas por la consistencia, la validez en el target y la sistematicidad. Dichas restricciones son particularmente importantes en los casos de correspondencias entre dominios remotos. La consistencia estructural especifica la relación biunívoca entre cada aspecto del objeto del análogo fuente y los del análogo objetivo. Algunos autores, como Owen y Bartha (Abrantes, 2003) creen que por ser muy restrictiva podría hasta llegar a bloquear las analogías con alto valor heurístico.

La validez hace referencia a la cualidad de la analogía para minimizar diferencias entre las relaciones del dominio fuente y del target.

La sistematicidad, finalmente, alude a la necesidad de lograr jerarquías relacionales exhaustivas sobre la existencia de predicados aislados.

EL EMPLEO DE ANALOGÍAS EN CONTEXTOS DE ENSEÑANZA Y DE APRENDIZAJE.

La apelación a las analogías y al razonamiento por analogía constituye un rasgo idiosincrásico del campo educativo. Ya sea que se exprese a través del uso espontáneo de analogías por parte de los alumnos, de la ejemplificación de ciertos temas por parte de los docentes o que integre los contenidos a enseñar como ocurre, por ejemplo, en las conocidas analogías propuestas por la Biología, la Física, o la Historia. Ejemplos de tales empleos pueden rastrearse fácilmente en la bibliografía sobre educación. Pero si el empleo de analogías en la educación reconoce una larga tradición, su implementación sistemática y conscientemente dirigida es un rasgo reciente.

El estudio de la analogía y del RA en los procesos de enseñanza y de aprendizaje se encuentran predominantemente asociados a las teorías sobre el cambio conceptual, a los modelos de enseñanza instruccional y a las investigaciones sobre expertos y novatos (Rodríguez Moneo, 1999; Vosniadou, 1999). Pero el razonamiento por analogía no parece estar ligado por necesidad a estos planteos sino que, como mecanismo de generación de novedades apoyado en los saberes previos, puede ser empleado en una amplia variedad de enfoques.

A pesar de este relativismo, el papel del RA es fuertemente dependiente de su interacción con los criterios y marcos de referencia en que se propone. No tiene el mismo significado el uso de analogías en contextos de enseñanza instruccional (analogías forzadas), que es lo que ocurre más frecuentemente, que en situaciones más abiertas donde no es el docente quien dispone de qué analogía y cuándo emplear sino que la decisión es asumida por los alumnos (analogías espontáneas).

Tampoco son comparables aquellas situaciones donde se pretende enseñar, mediante el recurso de la analogía, un contenido científico tradicionalmente de difícil acceso para los alumnos que si se apela a ellas en contextos donde la “distancia cognitiva” entre los contenidos y las competencias de los alumnos sean más razonables, como lo propone la escuela vigotskiana en su planteo de la ZDP. Como afirman Duit y Treagust en referencia a quienes trabajan en este campo (Posner, Vosniadou, Chi, Pintrich y otros):

“They found that each of the perspectives of conceptual change had explanatory value and contributed a different theoretical perspective on interpreting the role that analogies played in each of the classroom situation” (Duit and Treagust, 2003, p.680)

Además de asociarse a las teorías y metodologías comentadas, la enseñanza mediante el recurso a las analogías cobró una gran difusión, particularmente, en el campo de la enseñanza de las ciencias. Y recíprocamente, las investigaciones sobre Historia y Epistemología de las ciencias, sobre todo de los 70s al presente, influyeron fuertemente sobre la psicología cognitiva en general y sobre las teorías del razonamiento por analogía, en particular. Como producto de esas influencias cruzadas surgieron las teorías del cambio conceptual las que propusieron, en su origen, una atrevida analogía (valga la expresión en este contexto) entre la creación de teorías en Ciencias (incluida la noción kuhniana de cambio de paradigma) y el cambio conceptual en los procesos de aprendizaje escolares.

No quiero extenderme en un análisis de las teorías de cambio conceptual, ya que no constituyen el propósito de este trabajo, pero creo apropiado a mi objeto hacer algunos señalamientos.

A diferencia de Piaget, que para comprender los procesos de cambio en el conocimiento científico – su verdadero objetivo investigativo- volvió su atención sobre los niños (iniciando quizás esta saga de audaces analogías entre ámbitos distantes en Psicología) las teorías del cambio conceptual parecen haber hecho lo opuesto: volvieron su atención

sobre la Historia y la Filosofía de la ciencias para tratar de comprender, a partir de ellas, la forma en que los niños podrían acceder a las ideas científicas.

Uno de los aspectos interesantes a indagar, en relación a los supuestos de ambas teorías sobre el cambio en los conocimientos, tanto en el caso de las ciencias como en el aprendizaje infantil, se refiere a las características de esos cambios. En la complementación dialéctica que existe entre continuidades y discontinuidades, en las trayectorias seguidas por la construcción de conocimientos, no parecen haberse aportado pruebas científicas definitivas que se inclinen por el predominio de unas o de otras. Se acude demasiado a la “bendición” de Kuhn para apoyar la idea de los saltos en la construcción del conocimiento científico pero suele olvidarse que las referencias de Kuhn (1970) a los cambios de paradigma (y pasando por alto las ambigüedades que siempre acompañaron a esta noción) se referían a lo que ocurría en las comunidades científicas y no a los investigadores individualmente considerados. Si bien el pasaje de un paradigma al otro tampoco era considerado por el autor como algo inmediato. Ni se postulaba que estuviera regulado, solamente, por la supuesta verdad científica del nuevo marco. En este sentido, las trayectorias investigativas individuales en torno a cada uno de los conceptos implicados se asemeja mucho más a un cambio progresivo que a saltos. O, mejor dicho, a una sucesión de cambios más limitados que se reorganizan, aceleradamente, llevando a un cambio mayor. Sin embargo estas últimas cuestiones, también consideradas por Kuhn, suelen ser pasadas por alto cuando se pretende acentuar más la discontinuidad que la continuidad en el cambio como pretendían las corrientes más radicales de los enfoques de cambio conceptual. Para Kuhn, sin embargo, la construcción de cada uno de los conceptos que sostiene todo marco teórico o teoría general exige de una construcción compleja a lo largo del proceso que dio en llamar “ciencia normal”ⁱ

Muy diferentes parecen ser, sin embargo, las preocupaciones de los investigadores y didactas en enseñanza de las ciencias cuando temen que el error procedente de analogías inadecuadas interfiera con los aprendizajes escolares.

En casi todos estos casos los propósitos que parecen guiar tanto a investigadores como a docentes no son solamente el destacar la importancia de corregir los errores que puedan surgir, lo que es lógico y forma parte del rol docente, sino de evitarlos o de limitar los alcances de las analogías, lo que es ya contradictorio con la construcción misma del conocimiento y, retomando la cita anterior sobre Kuhn, con las “teorías de tanteo” que el menciona. Así para algunos autores: “Los sujetos pueden llevar a cabo representaciones mentales del problema equivocadas, olvidar alguna característica relevante, no encontrar análogos por pertenecer a dominios desconocidos por el sujeto (...) El entrenamiento y las ayudas del profesor serán las claves para evitar tales errores” (Ceacero Cubillo, González Labra, 1998, p.457); “En definitiva, queremos señalar que para evitar los posibles efectos negativos de la transferencia analógica no se trata tanto de no utilizar analogías, sino de advertir sus peligros cuando ésta se lleva demasiado lejos” (González Labra, 1997, p. 160). ¿Pero cómo saber cuándo se ha llegado demasiado lejos en las conjeturas científicas? ¿Llegó demasiado lejos Lavoisier al refutar la teoría firmemente establecida del flogisto? ¿Llegó demasiado lejos Kekulé cuando, a partir de su sueño con monos danzando, aceleró su concepción del anillo bencénico? Pareciera que el saber cuán lejos se puede llegar con una analogía solo puede afirmarlo el que ya conoce cómo fue la historia. Probablemente éste haya sido el mayor inconveniente con que tropezó la llamada enseñanza por el descubrimiento de las ciencias ya que rara vez pudieron los docentes abstraerse del lugar del que posee el saber para habilitar a los alumnos en sus indagaciones. Como también lo fue para la concepción, errónea a mi juicio, de reemplazar el rol directivo del docente pero manteniendo, casi sin cambios, los contenidos y metas ambiciosas de las ciencias escolares.

En la mayor parte de los trabajos psicológicos sobre el aprendizaje en contextos institucionales pareciera existir cierto desconocimiento o “distancia” sobre lo que realmente ocurre en una escuela. Las reformas a la enseñanza de las ciencias y de la tecnología, sobre todo de las primeras, parecieran volver a surgir, periódicamente, de las esperanzas marchitas de una reforma anterior. Y las investigaciones que las acompañan parecieran no profundizar demasiado en comprender las razones por las cuales cada reforma, que inflamó de entusiasmo a una generación de pedagogos, investigadores y docentes, pierde consenso hasta desaparecer de la bibliografía, aunque sus huellas suelen pervivir de mil maneras en las instituciones, negándose a abandonarlas del todo. En estos casos suele justificarse el ocaso de cada una afirmando cosas tales como “los docentes no estaban preparados”, “no se alcanzaron los propósitos enunciados” y otras expresiones análogas. Sin embargo, la evidencia empírica en contextos de innovación educativa parecería mostrar que cada reforma solo logra interesar genuinamente a una proporción muy baja de actores debidamente compenetrados con la misma y solo mucho más tarde, a una proporción algo mayor, pero aún minoritaria que, a diferencia de los primeros, solo se apropian de los rasgos más superficiales o exteriores de lo nuevo. Y es en el contexto de esta difusión más amplia y menos profunda que suelen desarrollarse evaluaciones y seguimientos que, probablemente, no arrojarán buenas conclusiones. Puede comprobarse, además, que cada propuesta o enfoque no sustituye o desplaza al anterior simplemente porque parecieran lograr más exitosamente los mismos objetivos. Al contrario, los logros no parecen evaluables desde una posición técnica, sino conceptual, cultural e, inclusive, ideológica. Podría decirse por eso, parafraseando a Kuhn, que las propuestas de reforma educativa son, en buena medida, inconmensurables. Así, por ejemplo, basta acercarse a cualquier sucesión de reformas

actuales o pasadas como por ejemplo, las que personificaron Séguin, Montessori, Fröbel y Decroly para comprobar, básicamente, dos cosas:

Por una parte, todo proyecto parece seguir una evolución semejante a la que expresé arriba pero, además, cada propuesta o enfoque imagina a niños y alumnos diferentes y pretende promover o desarrollar rasgos cognitivos, emocionales, éticos, instrumentales de diferente clase en cada caso. Aún cuando cada proyecto comparta un apreciable número de objetivos con otros. Así, es posible recoger juicios como los siguientes que ilustran, claramente, lo que pretendo decir:

“Montessori forma sabios: ingenieros, geómetras. Fröbel forma poetas, artesanos, que son los poetas de la materia (...) Montessori, partiendo de la multiplicidad de la naturaleza y de la complejidad de los sentidos, crea formas geométricas con las que el niño mide y analiza cada adquisición. Fröbel, con el mismo acierto, propone a la misma edad un cubo que, dividido, barajado, reconstruido, se convierte en el atrio, el cuartel, la chimenea de la fábrica” (Michelet, 1972, pag. 222 y 223 de la Trad. Cast.).

Si el problema fuera meramente técnico, al igual que ocurre con todos los problemas de ese tipo, ya deberíamos haber llegado luego de tres siglos de investigaciones y experiencias educativas a alcanzar algo próximo a un standard. Pero sabemos que eso no ocurrió. Es más sensato pensar que cada cambio sociocultural aparece asociado a una nueva clase de proyectos educativos que se acompañan, además, o son precedidos por, una cantidad de trabajos de investigación que apuntan en el mismo sentido.

En síntesis, el análisis de la bibliografía sobre el uso de analogías permite acceder a un conjunto relativamente reducido de cuestiones y problemas que es abordado por la mayoría de los investigadores.

1 La preocupación por los errores que puedan cometer los alumnos. Réplica, de alguna manera, de la desconfianza que manifiestan hacia los procedimientos inductivos los metodólogos de la ciencia más centrados en las cuestiones de la validez que de la creación.

2 La discusión sobre el grado y clase de control que debería tener el docente sobre el proceso de RA, y de los procesos de aprendizaje en general, y que puede extenderse desde el aprovechamiento de analogías espontáneas hasta llegar a pautar rigurosamente el proceso de aprendizaje. Sin duda esta cuestión está hermanada con la anterior.

3 La relación entre modelos, enfoques y marcos teóricos psicológicos –educativos y el uso o aprovechamiento de los RA en el aprendizaje. Suelen oponerse las teorías de cambio conceptual a lo que se denomina enseñanza “tradicional” cuando, en rigor y como lo señalé arriba, ésta oposición no existe como tal ya que desde el sXIX los innovadores educativos y pedagogas/os oponen “lo tradicional” a lo que, en cada época o país, se considera “lo nuevo”, “activo” “constructivista”, etcétera. Por otra parte, cabe destacar, la apreciable distancia que existe entre las teorías educativas y sus experiencias piloto en relación con la enseñanza extendida (Duit, 2006).

**EL USO DE LOS RAZONAMIENTOS POR ANALOGÍA EN LA EDUCACIÓN
TECNOLÓGICA.****El contexto**

Las carreras de ingeniería y las de enseñanza técnica de nivel secundario⁵ comparten una misma concepción acerca de cómo organizar el proceso de enseñanza y de formación de los profesionales.

Lo conciben partiendo de la enseñanza de un conjunto de disciplinas científicas al que le suceden, algunos años más tarde, las enseñanzas denominadas tecnológicas. Este modelo curricular, llamado por algunos investigadores “racionalismo técnico” (Schön, 1983) se aplica de la misma forma, e independientemente de la edad de los sujetos, en ambos niveles de enseñanza. Puede concebirse como un intento de traducir al plano del aprendizaje la concepción sobre la tecnología que la concibe como “ciencia aplicada”.

En el caso de las Escuelas técnicas, a las que los alumnos ingresan tras dejar la escolaridad primaria, las enseñanzas científicas de ese primer ciclo se yuxtaponen a un conjunto de prácticas empíricas que giran en torno al procesamiento de diferentes clases de materiales. De esta forma la estructura del currículum hace preceder los aprendizajes más abstractos y descontextualizados respecto de los más orientados a metas y, por ende, más significativos en términos de la elección profesional realizada por los alumnos. Tanto la evidencia empírica recogida en ambos contextos, como los análisis estadísticos realizados sobre el desgranamiento, señalan a este primer ciclo de ambas clases de carreras, como un severo promotor de fracasos y de frustraciones que se traducen en elevadas tasas de desgranamiento y de abandono.

⁵ En nuestro país, asumiendo la modalidad de “Escuela técnica”.

En los últimos veinte o treinta años, todo lo que intentó hacerse para mejorar la retención en las Escuelas técnicas consistió en desplazar algunas de las materias científicas al año subsiguiente pero sin alterar la concepción de base. También se prolongó al ciclo superior la enseñanza de otras materias que solo se enseñaban en el primer ciclo como ocurrió, por ejemplo, con Matemáticas. En algunas Jurisdicciones de nuestro país se intentó avanzar tratando de hacer más significativas las prácticas de Taller, organizándolas a partir de la realización de “proyectos tecnológicos”.

Sin embargo, la ausencia de un modelo alternativo al del “racionalismo técnico” le pone límites a los alcances de las reformas que puedan llegar a proponerse. Sobre todo, porque dicho modelo reduce a la misma concepción tanto los procesos de construcción social de la tecnología (sociogénesis) como la de su apropiación/construcción por parte de los sujetos (psicogénesis). Ambos procesos se caracterizan, dentro del modelo del “racionalismo técnico”, por presentar una fuerte discontinuidad en los puntos de su desarrollo donde a lo empírico sucede lo formal. Se propone un salto donde, como intento proponer en este trabajo, debería concebirse una transición. Precisamente es en este punto de la reflexión que me interesa situar el aporte del RA en la búsqueda de una mayor continuidad al interior de estos procesos.

Las experiencias de clase

El propósito central que perseguían las experiencias que presentaré, era explorar ese territorio de la creación técnica infantil y adolescente, ignorado por la educación y, también, por buena parte de la psicología, que se extiende desde lo que, tradicionalmente, la enseñanza técnica denominó “saberes empíricos”, hasta los primeros esbozos de síntesis que se producen entre los conocimientos técnicos y los científicos. Y, también, me proponía llegar a recoger evidencia empírica en el sentido de

que dichos procesos no pueden llegar a entenderse ni como dotados de continuidades lineales ni de discontinuidades radicales.

Las experiencias partían del supuesto de que las nociones científicas podían incorporarse a los razonamientos técnicos, en situaciones de resolución de problemas, solo si eran reclamadas o demandadas por otra clase de razonamientos, de tipo funcional y cualitativo. En este sentido los RA permiten establecer vínculos cognitivos entre ciertas estructuras funcionales conocidas y otras nuevas más allá de los principios científicos involucrados en cada una.

Resolución de problemas con tecnologías hidráulicas, empleando razonamientos por analogía.

Las experiencias que presentaré en este apartado responden a modelos de enseñanza de carácter constructivista que recogen diversas influencias pero que, básicamente, constituyen situaciones de resolución de problemas de carácter experimental en las cuales pueden reconocerse situaciones de carácter microgenético.

Se apoyan, por esa razón, en la idea de que los conocimientos técnicos se constituyen en los mismos contextos donde son reclamados y que proceden, sobre todo, de las coordinaciones, regulaciones, lecturas y redescripciones de la acción. En términos generales es posible adscribirlas o fundamentarlas en una síntesis entre los aportes de los psicólogos neopiagetianos, de la psicología cognitiva y de la IA.

En estas experiencias, a diferencia de lo que ocurre en la *estrategia analógica de instrucción* (Adrover y Duarte, 1996), no se presenta previamente y en forma explícita una analogía sino que se la promueve mediante el interjuego de la organización de la

consigna, la meta a alcanzar, el tipo de recursos presentes, el contexto de la clase y la intervención docente.

Las intervenciones de los docentes tienen un rol importante facilitando y "andamiando" de diversas maneras, el razonamiento de los alumnos pero tratando de no interferir, en principio, con las hipótesis u ocurrencias que ellos propongan espontáneamente.

El propósito educativo explícito para el que fue concebida esta secuencia de actividades fue el de promover y facilitar en los alumnos la apropiación de contenidos referidos las tecnologías hidráulicas en contexto de la Escuela técnica. Más precisamente, en el entorno de los Talleres que acompañan a la enseñanza de las ciencias.

El recurso didáctico metodológico apela a la promoción de *cambios cognitivos* movilizados por conflictos de ese carácter. Se pretende posibilitar, así, la construcción de representaciones analógico- funcionales a partir de la experimentación sobre tecnologías hidráulicas concretas.

Tanto la forma en que se diseñaron las actividades como la secuencia de resolución propuesta tienden a.

1 promover el uso sucesivo y la reformulación de *analogías intradominio*, dentro de una misma clase de tecnologías desde el punto de vista de la causalidad que suponen (En el caso de estas experiencias, la propia de la mecánica de fluidos)

2 Y, como propósito a mediano plazo, que los alumnos sean capaces de transferir los modelos analógico funcionales desarrollados en este contexto sobre otra clase de tecnologías que supongan diferentes referencias causales y que puedan demandar de mayores grados de abstracción. En el caso que presento, se trataría de promover *analogías interdominio* para vincular las tecnologías mecánico-hidráulicas con tecnologías análogas funcionalmente, pero de base causal de tipo electrónica. Se trataría de alcanzar transferencias analógicas interdominio de mediano y largo plazo.

El propósito de esta clase de diseños educacionales consiste en “negociar” las evidentes bondades del aprendizaje de inspiración constructivista con el complemento, necesario, del aprendizaje por instrucción, en su rol de proveedor de andamiajes y modelos a partir de los cuales los alumnos puedan llegar a construir sus conocimientos. Pero son los problemas planteados, y las condiciones propuestas para su resolución las que básicamente orientan el aprendizaje de los alumnos cumpliendo el docente un rol de asistencia y orientación, pero tratando de adecuarse a la marcha del proceso seguido por el grupo.

Esta combinación de características se aprecia en el uso de materiales previamente especificados, en calidad y cantidad, y que incluyen en la presencia de elementos distractores a medida que se avanza en el proceso de resolución.

La *dirección* (Maier 1930, citado en Mayer, 1983) también se establece mediante la selección de la clase y la secuencia de los problemas planteados.

Además, cosa que no queda registrada en el texto, suelen insertarse breves intervenciones docentes, mediante el uso del pizarrón u otros medios audiovisuales, y dirigidas hacia toda la clase, cada vez que se aprecia la necesidad de reflexionar sobre y, de sistematizar, los conocimientos alcanzados. Esto significa que el modelo de enseñanza propuesto trata de recoger la influencia del constructivismo promovido por Piaget pero sin llegar a asimilarse ni a la “enseñanza por descubrimiento”, donde el rol del docente está más desdibujado, ni, tampoco, al de los diseños más frecuentes en resolución de problemas por analogía donde se apela al uso de situaciones mucho más estructuradas.

“Sistemas de tecnologías hidráulicas” (Rodríguez de Fraga, 1985) fue propuesta a alumnos de 11 a 13 años. También a alumnos de otras edades e, inclusive, a docentes, y a profesores de Escuelas técnicas y de Carreras de ingeniería. Puede ser brevemente

descrita en función de los contenidos disciplinares que se pretenden enseñar, de los supuestos sobre la forma en que los alumnos pueden llegar a apropiarse de conocimientos técnicos y de las estrategias didácticas que se ponen en juego.

Desde el punto de vista disciplinar el propósito consiste en promover en los alumnos el conocimiento de los sistemas de tecnologías hidráulicas a partir de dominar las combinatorias de los elementos mínimos que las constituyen. En lugar de recurrir, como es lo más usual, a la enseñanza previa de las leyes físicas que, supuestamente, les darían fundamento, cosa que aquí se deja para los años siguientes. Pero, a diferencia de la Enseñanza técnica tradicional, se trata de hacerlo en el contexto de situaciones de resolución de problemas donde cada elemento cumpla cierto papel en relación:

- con la acción (la cual, como demostró Piaget, puede asignarles diferentes significados),
- con las propiedades de los fluidos (aire y agua en este caso).
- y con las metas a lograr, en lugar de estudiarlo o de analizarlo aisladamente.

Así, una misma expresión fenomenológica como, por ej., “chupar” y expulsar agua de cierta manera mediante una jeringa, puede ser resignificada por el agente de varias formas capaces de conducirlo por trayectorias de razonamientos y de resolución diferentes. Así, por ejemplo, ante lo que considera un caudal de agua de intensidad débil que surge de una jeringa por él activada, puede atribuirle variadas significaciones tanto a la acción como a cada elemento que conforma el sistema.

- Centrándose en la jeringa, podría afirmar que el émbolo está duro, flojo o que el orificio es demasiado pequeño, o que está obstruido.
- Centrándose en su acción, podría pensar que está haciendo poca fuerza o que está empujando en una dirección incorrecta.
- O, situándose en el líquido, pensar que es muy espeso.
- O atender al entorno, y pensar que el frío contrae la jeringa o espesa el líquido.

La unidad de enseñanza se compone de una secuencia de problemas a resolver. Cada problema, luego de resuelto, deja como producto un *artefacto* de mayor complejidad que cada uno de los elementos de partida y que el dispositivo creado para resolver el problema planteado anteriormente. Pero, sobre todo, también promueve la recuperación de un *procedimiento de uso* del artefacto cuyo “*programa de acción*”, o sea la representación mental de dicho procedimiento, parcialmente inconsciente, será reemplazado y redescrito, si es necesario, ante cada nueva ocasión de uso.

Así, a medida que se suceden las situaciones problemáticas, los alumnos no solo tratan de explorar más en detalle las propiedades de los elementos del equipo sino que construyen dispositivos de complejidad creciente tanto en lo referido a su estructura como a los procedimientos de uso. Aunque éstos últimos, finalmente, tienden a simplificarse al resolver las últimas pruebas para simular así el proceso de tecnificación.

La dimensión sistémica del planteo se aprecia, además, en el acento puesto, sobre todo, en la dimensión teleonómica funcional orientada a metas, que va dejando paso gradualmente a la dimensión causal, que explora las legalidades del objeto. La dimensión causal es la que establece la diferencia al interior de análogas estructuras funcionales.

Dentro de las nociones teóricas que sostienen al área de Educación tecnológica, en sustitución de la más tradicional y reduccionista noción de “objeto técnico”, se propone el trabajo con las unidades elementales de la acción técnica a las que denomino *técnicas o tecnologías*. De esta forma, por ejemplo, una jeringa (“artefacto” que opera como bomba) no puede concebirse dissociada de los “procedimientos” de uso ni de los “conocimientos” que organizan su uso eficaz. O, para decirlo en los términos de Mounoud, “La significación del instrumento (que aquí denomino *artefacto*) es relativa:

- 1) a la situación en que obra (situación asimilada por el sujeto a un esquema comportamental)
 - 2) a las acciones a las que se asocia.
 - 3) A las acciones que desempeña (por consiguiente, a las que se asimila).”
- (Mounoud, 1970, p. 8 de la Trad. Cast)

De la misma forma, tanto los artefactos como los procedimientos de uso, y los conocimientos llevados a cabo pueden des-localizarse de una técnica y re localizarse en otra (lo que describe y en parte explica el cambio técnico gradual). Lo que no es posible es concebir unidades de acción técnica eficaces que prescindan de esos tres elementos y de las estrategias generales que pautan su empleo. De allí que en las situaciones de aula el juego de materiales opere mediando la acción de los alumnos que organizan sus estrategias de resolución a partir de la influencia del mismo. Valorizo así los enfoques sobre la acción mediada de la escuela Vigotskyana (Wertsch, 1998).

Se han propuesto diversos modelos de cambio conceptual como los denominados fríos, calientes y situados los que a su vez aceptan nuevas subdivisiones (Rodríguez Moneo 1999). Más allá de la referencia específica a dichos modelos en estas experiencias, lo que escapa a los propósitos de este trabajo, es importante precisar que en varios de ellos coexisten el uso de analogías, el recurso al conflicto y la metacognición, Estos tres aspectos también están presentes en las experiencias que presento.

Una de las razones de la apelación a la promoción de conflictos como recurso para la enseñanza descansa en el interés despertado en contextos de aprendizaje de las ciencias ya que están formados, en gran medida, por estudios sobre el cambio conceptual. La otra fuente, que precede históricamente a la anterior, la constituyen los trabajos de Piaget que llevan implícita la idea de conflicto dentro de su teoría de la equilibración (Piaget, 1975). En el caso de la enseñanza de la tecnología, ya sea por influencia de las

concepciones que la imaginan como ciencia aplicada, como proceso empírico y azaroso de resolución de problemas o como aprendizaje de rutinas, su estudio tiene un peso mucho menor en la bibliografía. Pozo Muncio (1996) se refiere al aprendizaje de procedimientos (que en nuestro ejemplo deben ser previamente construidos o inferidos por los alumnos pero siempre en relación con cierto artefacto, con ciertas metas y con cierto uso) diferenciando el entrenamiento técnico del aprendizaje de estrategias como uso deliberado de procedimientos, como sería este caso. Anderson, (1983⁶, citado por Pozo Muncio, 1996), diferencia el conocimiento declarativo del procedimental y la dificultad de verbalizar este último cuando fue automatizado. Analizaré más adelante cómo se les hace necesaria la verbalización de los procedimientos espontáneos a los alumnos como mecanismo para reencontrar la analogía perdida a partir de los procedimientos automatizados. Dicha cuestión es abordada tanto por Piaget (1974a) como por las investigaciones recientes en metacognición (Mateos, 2001).

Descripción y análisis de la secuencia de actividades

A los fines de esta tesis privilegié el protocolo referido a un grupo de alumnos de 7º grado. Por tratarse de una selección dentro de una división completa de alumnos, estos protocolos destacan estados y adelantos del grupo pero, lógicamente, no recogen la totalidad de los diálogos. Sin embargo, la contrastación de lo recogido en el conjunto de los grupos y en las numerosas repeticiones de esta clase de actividades confirma que, más allá de un conjunto de variantes en las estrategias, procedimientos y razonamientos empleados por los alumnos, parece existir un modo bastante uniforme de enfrentar y resolver los problemas.

Actividad 1: Elevación de líquidos

⁶ Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, Mass. Harvard University Press.

Situación: Cada grupo, formado por tres a cuatro alumnos, se encuentra frente a una mesa elevada ante la cual pueden permanecer de pie o sentados utilizando sillas adaptadas a la altura de la mesa.

Frente a ellos se encuentra una caja con un conjunto de elementos, algunos de ellos simples distractores. El número de éstos puede variar y, sobre todo, la presencia de los distractores (¡a los que, sin embargo, varias veces los alumnos lograron conferirle alguna función eficaz!) (Figura 1, Anexo)

Consigna: “Empleando algunos, o todos, de estos elementos deberán construir una *tecnología* integrada por un “artefacto” y una “forma de uso” (procedimiento) que permita pasar el agua del recipiente que está lleno y a menor altura (A), al recipiente vacío que está a mayor altura (B). Como si se tratara de llenar un tanque de agua que está en la azotea impulsando el agua desde un nivel inferior.” (Figura 2, Anexo)

Sujetos intervinientes. Alumnos de 6º grado, de 11 a 12 años.

Proceso de resolución /enseñanza.

En los primeros tanteos del grupo, y de no mediar una indicación en sentido contrario, los alumnos suelen dejar de lado a las dos o tres jeringas presentes y tratan de elevar el agua “chupando” a través de las mangueritas, reteniendo el agua en la boca y expulsándola en el segundo recipiente. Al indicarles que se trata de lograr la mayor “tecnificación posible”, pasan a construir un artefacto utilizando una jeringa, una unión en T y dos mangueritas. (Fig 3, Anexo)

Esta configuración, resuelta rápidamente por el grupo, fue puesta en actividad mediante un procedimiento formado por movimientos alternados, integrado por dos movimientos complementarios (empujar y “chupar” o “entrar” y “sacar” el émbolo de la jeringa)

realizados a la misma velocidad. Pero la aplicación de esta tecnología no tuvo éxito. El agua no era, ni siquiera, desplazada desde el recipiente lleno a la jeringa.

La “tecnología” construida constaba de (1) un *artefacto* (jeringa + uniones + mangueritas) que poseía una estructura simétrica y (2) de un procedimiento también simétrico creado a partir de un “programa de acción” de características análogas. Estos “programas de acción” eran, en rigor, análogos a los que recurren los niños pequeños cuando dibujan casitas de formas simétricas con una puerta al centro y dos ventanas (Wolff, 1946) y, también, en sus primeros pasos en el empleo del lenguaje *LOGO*)⁷.

Solo ante el fracaso de dicha *tecnología*, y al conflicto generado por la contradicción entre los resultados esperados y los realmente producidos, los alumnos comienzan a explorar con más cuidado la situación. En ese nuevo contexto se verificó este diálogo con dos de los grupos (que también se repitió con algunos de grupos restantes):

Alumnos. ¡Bombeamos y no pasa nada! ¡El agua no circula!

Docente: A ver, repitan la experiencia mientras me van contando qué pasa (Lo que yo trataba de comprender era, en realidad, cómo se representaban el fenómeno y promover una redescrición del mismo).

A: Empezamos chupando con la jeringa, así...(hacen retroceder al émbolo de la jeringa)

Docente: ¿Ustedes chupaban?

Alumnos: No. Nosotros tiramos para abajo ¡ésto! (Obsérvese que diferenciaban perfectamente sus expresiones espontáneas de lo que, realmente, estaban haciendo)

Docente: El émbolo...

A: El émbolo...pero la jeringa que se tendría que llenar con el agua, sigue vacía.

D: ¿Están seguros de que sigue vacía?

A: Bueno, vacía no, ¡tiene aire!. (Se expresa y gesticula como diciendo que esa no era la finalidad y que por lo tanto mi pregunta resulta banal)

Docente: Quieren decir que la jeringa ¿Se llenó de aire!?

Alumnos: (Se quedan pensando un momento, están intrigados y discuten entre ellos)

A: Che: ¡Si es aire entró por el otro lado!

A: A ver... apreté la goma que va al vaso vacío para que no pueda entrar aire y volví a “chupar” (sic)

Al modificar el procedimiento logran, finalmente, resolver el problema.

⁷ Aunque el tema escapa al trabajo se podría especular con que esta continua búsqueda de simetrías en la mayoría de las primeras fases de resolución podría remitir a funcionamientos encapsulados que tienden a organizar así la información perceptiva, en el sentido de Fodor. Piaget, por su parte, los consideraba como fases previas a las regulaciones.

El nuevo procedimiento consistió en aspirar el agua con la jeringa, llenándola, mientras se cerraba el paso al aire procedente de la rama que conectaba con el vaso vacío (B). (Ambas tareas la realizaban dos alumnos, ya que la consigna en todas estas actividades exigía que cada alumno solo podía realizar una operación. El propósito de esta restricción era facilitar la toma de conciencia, por parte del grupo, de cada una de las operaciones y, sobre todo, de su coordinación).

En un segundo momento, un tercer alumno, cerraba el paso del agua en la rama que unía la jeringa con el vaso lleno (A) mientras que el que accionaba la jeringa impulsaba, en un segundo momento, el agua hacia el vaso vacío (B).

La frustrada expectativa sobre la primera tecnología propuesta se debió, entre otros factores, a la dificultad por incluir dentro del contexto de la situación a los elementos no visibles del sistema (el aire). La instrucción recurre entonces a promover la toma de conciencia de la entrada del aire a la jeringa, ¡cosa que, por otra parte, todos conocían!

Rápidamente, los alumnos proponen una analogía entre el comportamiento de ambos fluidos (líquidos y gases) y, por ende, de los procedimientos respectivos para resolver el problema. Y, a partir de lo que fue comprendido en relación con el aire, se establece la analogía con respecto al agua.

A lo largo de las actividades se aprecia cómo los sujetos, a diferencia de lo que parece ocurrir en la enseñanzas de las ciencias, no parecen recuperar procedimientos y estructuras técnicas en forma aislada sino que ambas aparecen asociadas bajo la forma de una tecnología a la que se asimila, además, una situación paradigmática y una meta a nivel de la memoria de largo plazo (MLP).

Al respecto es frecuente que en esas circunstancias los alumnos afirmen cosas tales como: *me hace acordar a*: “cuando inflo la bicicleta” o, en profesores mayores: “a

cuando bombeaba la estufa de querosén”. Solo posteriormente a la recuperación de esa analogía compleja de base, se hace un filtrado para recuperar sólo la analogía de procedimientos o de estructuras, no siempre correctas estas últimas o, más frecuentemente, invisibilizadas dentro del artefacto recuperado, del que solo se recuerda su apariencia externa.

Justamente al recuperar el procedimiento de bombeo y asociarlo a las jeringas que están en el juego se prepara el error. Ocurre que, en el caso del bombeo con inflador, la actividad consiste en desplazar aire de la atmósfera hacia el interior del neumático, pero quedando todo eso fuera del campo de conciencia la se suele concebir al inflador mismo como generando la corriente de aire. De esto puede inferirse que:

“una analogía en la medida en que genera un mapeo de correspondencias entre el dominio menos conocido (análogo target) y otro dominio más familiar, mejor definido y organizado –análogo base - (y, agregaría yo, también más simple y, por esa razón, con factores intervinientes fuera del campo de la percepción) constituye un estímulo para generar inferencias e hipótesis en el campo que se está estudiando (o resolviendo) (Adrover y Duarte, 1996, p. 5 de la ficha).

Respecto a los errores resultantes del uso instruccional (dirigido o sugerido) de analogías, y como podrá apreciarse en los próximos ejemplos, el problema no parece residir tanto en que surjan analogías erróneas sino en el rol que lleguen a desempeñar en el proceso de creación técnica. Adrover y Duarte (1996) valorizan la apreciación cualitativa de las analogías reconociendo las inferencias incorrectas que promueven ideas contradictorias con lo anteriormente transmitido y las “inferencias incorrectas que no contradicen la información aportada durante la explicación del tópico”. En este caso, en reemplazo de la explicación del tópico, existe un problema a resolver en el contexto de una determinación previa del espacio de búsqueda (los elementos del juego) y *el éxito* es, entonces, el filtro que separa lo correcto de lo incorrecto y ya no lo verdadero de lo falso. En esta intrincada dialéctica entre esos cuatro términos se impone la mención a Pierre Mounoud:

“Piaget escribe que ‘cuando la verdad coincide con la apariencia, el contacto superficial con el objeto (la experiencia inmediata empírica) es suficiente para conducir a lo verdadero’. Nos parece que la realidad no coincide con la apariencia sino cuando los criterios de verdad se superponen a los criterios de éxito, es decir, cuando una estructura está perfeccionada. Nos sentiríamos inclinados a adoptar otra formulación de Piaget según la cual ‘el criterio de adaptación es el éxito cuando se trata de supervivencia o comprensión’” (Mounoud, 1970, pag. 125 de la Trad. Cast).

Lo anterior sirve para despistar el problema de la enseñanza de la tecnología de la existente en la enseñanza de las ciencias donde generalmente se trata de que los alumnos comprendan un conjunto sistemático de abstracciones que, generalmente, suelen estar más allá de su comprensión y, entonces, el uso de analogías puede extravíarlos ya que raramente llegan a poseer medios a su alcance para corroborar las hipótesis y saber cuál es verdadera y cuál falsa. En cambio, en la enseñanza básica de la tecnología la recurrencia a analogías espontáneas es uno de los mecanismos fundamentales en el proceso de invención técnica y la comprobación de su eficacia, y ya no de su carácter “verdadero”o “falso”, está más próxima a las posibilidades de los alumnos sobre todo si median las intervenciones, a posteriori, del docente.

Cabe hacer, finalmente, algunas precisiones respecto a la importancia de las simetrías, aunque esta cuestión se entenderá mejor al comentar las últimas actividades. La recurrencia a estructuras simétricas se presenta tanto en los artefactos que construyen, como en los procedimientos que aplican, como el bombeo rítmico de la jeringa y las acciones de oclusión y apertura que llevan a cabo, mediante apretones de sus dedos, sobre las mangueritas. Estas simetrías constituyen *ideas alternativas* que están muy presentes en las actividades tecnológicas. En tanto tales, remiten a lo que Piaget (1936/1977) denominara “ritmos”, y a los que caracterizó como el primer nivel del proceso que conduce a los equilibrios reversibles. Los ritmos expresan una modalidad de compensar los + y los – pero de una forma estereotipada y rígida. Darán lugar, progresivamente a las “regulaciones” y, finalmente, a los agrupamientos, en lo que a los niveles concretos se refiere. En el contexto de estos trabajos la recurrencia a *simetrías*

espaciales y temporales caracteriza, casi siempre, a las primeras tentativas para resolver problemas en ET. Entendidas como fases recurrentes en función de la complejidad o novedad que presenta el problema a resolver, y no como etapas genéticas, la apelación a simetrías puede llegar a entenderse como una búsqueda de analogías con formas y movimientos elementales que, alguna vez, posibilitaron la resolución de situaciones. De allí que, en muchos casos, los alumnos (niños o adultos) lleguen a verbalizar las formas o procedimientos recuperados aunque no sean conscientes de ellos, en otros casos.

Actividad 2: Desplazamiento de un móvil dentro de un circuito hidráulico cerrado.

Situación: La misma que en la actividad anterior. Se incorpora un nuevo elemento al equipo consistente en un tubo flexible, o manguera, lleno de agua y con sus extremos obturados por tapones de goma. Dentro del tubo lleno de agua, y en uno de los extremos, se encuentra una esfera de telgopor o material semejante dentro del agua. (Figura 4, Anexo)

Consigna: Empleando algunos o todos estos elementos deberán lograr que la esfera que está dentro del tubo, en un extremo, se desplace hasta el otro extremo. Una condición que deberá cumplir el artefacto es que siempre deberá estar ocupado por agua y nunca por aire.

Sujetos intervinientes. Alumnos de 6° grado de 11 a 12 años.

Proceso de resolución.

A diferencia de la actividad anterior, que demandó de análogos base fuera del campo escolar, a partir de ésta actividad, se confía que los análogos tomados de las actividades anteriores ocuparán también su lugar, o se espera que lo hagan, aunque sin excluir a las referencias presentes en la MLP.

Esta segunda actividad fue concebida para permitir hacer explícitas dentro de la situación (ya que actuar lo hacen de todos modos, siempre) a varios factores ajenos, en principio a la acción de los sujetos.

1 Uno de ellos es la presión atmosférica, que si bien en el caso anterior “empujaba” al aire dentro del espacio creado al desplazar el émbolo de la jeringa, no necesitaba ser “descubierta” por los alumnos para resolver el problema ya que hasta los adultos imaginan que tanto el aire como el agua entran a una jeringa porque ésta “los chupa” y no porque una presión externa los propulse, como en realidad ocurre.

2 El otro factor es la incompresibilidad del agua, más intuitivo que el primero.

La presencia combinada de ambos factores dentro de esta actividad hará imposible el reemplazo de la tecnología construida en la actividad anterior. Se confía que el conflicto, resultante de la perturbación introducida ex profeso, promoverá la analogía con el artefacto y/o el procedimiento anterior y su posterior modificación dará lugar a la construcción de tecnologías más complejas y a la construcción de nuevos conocimientos técnico-procedimentales.

De una forma análoga a la realizada en la actividad anterior, los alumnos unen los extremos del tubo (luego de retirar los tapones que acompañan al tubo originalmente para evitar que se derrame el agua) a dos mangueras que se unen, a través de un conector en T, a la jeringa. (Figura 5, Anexo).

Creado el artefacto rápidamente, por analogía con el anterior, intentan aplicar, también, el procedimiento ya dominado pero se encuentran con un obstáculo que contradice sus expectativas. Por una parte, la incompresibilidad del agua impide desplazar el pistón hacia adelante y empujar el agua, y con ella, a la bolita. Y, por otra, la presión atmosférica, impide desplazar el émbolo hacia atrás (impide “chupar”) aunque los

alumnos no puedan conceptualizar correctamente estos fenómenos, sobre todo, el segundo.

Síntesis de los diálogos con tres de los grupos.

Docente: ¿Qué problema encuentran?

Alumnos: ¡¡No se puede hacer lo que usted pide!!

D: ¿Por qué?

A: Porque el agua no tiene a dónde ir aunque nosotros hagamos presión.

D: ¿Y tiene que tener a dónde ir para que la bolita se mueva?

A: ¡Claro! Porque para mover la bolita hay que mover el agua. No tenemos manera de moverla sola. ¡Aunque si fuera de hierro podríamos moverla con un imán! Y para que esta agua que está acá (señala el sector del tubo donde está la bolita) se mueva, se tiene que mover el agua que está acá (señala el sector de tubo que sucede al anterior) y así todo (quiere decir, sucesivamente) pero esta última (señalan el sector final del tubo rematado en el tapón) no se puede mover porque se terminó el tubo ¿Entiende ahora?

D: Sí, entiendo. Pero si para ustedes todo el problema es la falta de un lugar donde vaya el agua, ¿por qué no lo inventan?

A: Se miran y me miran. Usted dijo que todo debería tener agua y nada debería tener aire

D: ¿Y necesariamente los lugares a donde irá el agua deberán tener aire?

Luego les explico, mediante diversos argumentos, que los técnicos solucionan problemas justamente, inventando cosas que hasta un momento antes no se les había ocurrido imaginar a nadie.

A1: (Hablando como para sí) Eso quiere decir que el agua tendrá que entrar a un nuevo lugar en el momento en que ese lugar esté vacío pero no tenga aire.

A2: O que se haga el lugar cuando el agua llega y desaparezca cuando el agua se va....

A3: ¡¡¿De qué estás hablando, che!!? (Gesticulando o tomando la expresión del compañero como carente de sentido)

D: ¿Quieren otra ayudita? Generen con las manos lo que están tratando de decir: algo que aparezca cuando algo llega y que desaparezca cuando eso se vaya. Imiten con sus gestos lo que acaban de tratar de decir (Intento promover, así, una analogía que exige de una redescrición de sus expresiones orales originales en acción motora)

A: Se miran entre sí y rápidamente ensayan lo siguiente: uno de los alumnos, que coloca las palmas de sus manos apoyadas entre sí, las separa y une alternativamente (empleando el mismo procedimiento propuesto para la primera actividad) mientras otro alumno con sus manos juntas, simula que se dirigen para entrar dentro de las del primer compañero.

D: Eso que están simulando con sus manos ¿está en el juego?

A: (Al unísono y con entusiasmo por el descubrimiento): ¡¡Es otra jeringa!!

D: Por qué?

D: Porque al estar cerrada tiene un lugar vacío pero sin aire. O no tiene lugar ninguno! (Considérese, como analogía histórica, cuando los anatomistas renacentistas afirmaban que el esófago, que no posee un espacio abierto en contrario de lo que se cree, posee un espacio virtual)

D: ¡Adelante, entonces!

Al incluir una segunda jeringa en el artefacto primitivo, repetir el procedimiento de bombeo alternativo y de apretar alternativamente las mangueras se alcanza el objetivo.

(Figura 6, Anexo).

Procedimiento detallado (Ciclo de dos tiempos):

Primer tiempo: Se inicia el ciclo con un alumno operando la jeringa 1 llena de agua e inyectándola en el tubo, mientras otro alumno bloquea la manguera en “a” y un tercero recibe el agua en exceso aspirándola con la jeringa 2 y llenando a ésta.

Segundo tiempo. Un cuarto alumno oprime el tubo en “b”, el encargado de la jeringa 2 empuja el émbolo y la vacía mientras el alumno que opera la jeringa 1 aspira el agua que llega. A continuación se repite el primer tiempo.

En esta actividad tanto el uso de una analogía intradominio como el conflicto cognitivo sucesivo se imponen rápidamente. Nuevamente son los factores que están fuera de la percepción y de la teorización de los alumnos (La presión atmosférica y la incompresibilidad del agua) los que frustran la analogía elegida⁸. Cabe acotar, que la resolución del problema fue posible aún sin llegar a discutir sobre la presión atmosférica, aunque sí sobre la incompresibilidad) Como veremos más adelante de nada sirve que con anterioridad, en otro contexto y circunstancias, hayan estudiado el tema de la presión atmosférica ;;; incluso con ejemplos análogos, pero que en el nuevo contexto no se recuperan!!! (Al contrario, varios alumnos a medida que resuelven esta actividad comienzan a recuperar representaciones escolares donde dos piezas huecas no pueden ser separadas ni mediante la tracción con caballos debido a la presión atmosférica (semiesferas de Magdeburgo y otros dispositivos que estudia la Física) lo que significa: ;;que fue a partir de las representaciones exitosas logradas al finalizar la actividad, que lograron recuperar de la MLP a los análogos que podrían haber colaborado a resolver el problema, pero que no fueron mapeados como tales!! O, dicho de otra forma, lo que recuperaron no fue la noción de presión atmosférica sino una representación icónica análoga a la que acababan de crear.

Todo esto parecería demostrar la importancia que asumen las metas y las condiciones contextuales en la resolución de problemas que involucren analogías. Gick y Holyoak (1980, 1983) demostraron experimentalmente que se producen fracasos en la recuperación del análogo cuando los sujetos no poseen claves contextuales o indicaciones explícitas sobre su utilidad. A diferencia de Gentner, que prioriza la extrapolación estructural

⁸ Recuérdese, al respecto, la afirmación que hacía Köhler (1931) en sus experiencias con monos respecto al papel determinante que parecía tener el hecho de que los estímulos se encontraran dentro o fuera del campo perceptivo de los sujetos de la prueba. En ese sentido, aquellos posibles recursos que estuvieran fuera de ese campo, no eran incluidos en la posible solución del problema.

guiada por la sistematicidad, Gick, Holyoak y otros fundamentan su teoría del razonamiento inductivo enfatizando las metas del sujeto.

En el diálogo precedente se puede asistir a una situación muy interesante respecto a la fase de recuperación de análogos que se repitió varias veces en esta clase de situaciones. Por una parte, el comportamiento cuasi automático de los alumnos cuando creen estar haciendo algo ya dominado y lo interrumpen bruscamente ante la falta de éxito. Y, entonces, salvo que domine un sentimiento de fracaso, se obligan a pensar en los términos más rigurosos del que son capaces. Una de esas modalidades del rigor en sujetos preformales (si es que existe algo que pueda merecer la denominación de pensamiento formal en la mayor parte de los adolescentes) consiste en recurrir a descripciones verbales desprovistas de hipótesis⁹ que aplican a ciertas variables espacio temporales que aíslan del sistema, con cierta precisión de lenguaje, tanto sobre su propio comportamiento como del comportamiento del sistema bajo su –aparente – control. Es ostensible, en estos casos, cómo las conductas metacognitivas y las referidas al conocimiento del medio sólo parecieran tener la posibilidad de existencia en interacción, configurando y haciendo cada vez más explícitas y objetivas las relaciones que se juegan en la acción mediada.

Es mediante esas estrategias discursivas de carácter funcional y descriptivo que vuelven a representarse el sistema que ellos mismos imaginaron y construyeron para superar el bloqueo (ahora, es la referencia a Karmiloff-Smith la que se impone). Se comprueba, muchas veces, que surge así la necesidad de decir “que el agua entre al nuevo lugar en el momento en que ese lugar está vacío o sin aire” o que “se haga lugar cuando el agua llega y desaparezca cuando el agua se va”. Expresiones, éstas, que suelen asombrarlos a

⁹ La tendencia menos rigurosa de los adolescentes es enunciar variadas hipótesis pero sin la intención correlativa de refutarlas. Se verifica sobre todo en contextos de enseñanzas de las ciencias. De esta forma, la fase del “método científico” menos transitada por los alumnos, y que realmente no parece interesarles demasiado, es la verificación. Este hecho también explica también, por qué los alumnos pueden emplear analogías erróneas sin que medien intentos de corregirlas en la Enseñanza de ciencias.

ellos mismos o a sus compañeros, cuando las enuncian. Lo interesante del caso es que ese “nuevo lugar” en la peculiar jerga que usaron ¡¡ no es ni más menos que una de las jeringas que siempre tuvieron delante de los ojos, junto a unos pocos elementos más!!.

¿Por qué los alumnos no parecen conectar ambas clases de representaciones sobre el mismo objeto? ¿Por qué no recuperan el análogo base reciente de la actividad 1, ni encuentran análogos base en la MLP que permita resolver el problema? Llegué a pensar que esa nueva representación de la jeringa difícilmente se haya asociado alguna vez en la vida de los alumnos a las jeringas reales. El formato alternativo más común y residente podría ser “entra/sale” o “chupa/ empuja” pero no el formato lingüístico más sofisticado que ellos construyeron (recordar la exigencia de simplicidad que debe cumplir el análogo base). ¿Qué pasaría si la instrucción actuara promoviendo un análogo nuevo en un formato más accesible para la MLP de los alumnos? En eso, precisamente, consistió la solicitud de la instrucción para que “representen ese pensamiento mediante gestos” y, recién entonces, y a la manera del “insight”, cayeron en la cuenta de que “ese lugar tan extraño”, creado por su rigurosa descripción lingüística, era simplemente una jeringa como la que tenían delante de los ojos (de un modo análogo a la de aquel personaje novelesco que se asombraba de hablar en prosa).

Actividad 3: Diseño, construcción y análisis de una fuente de agua que debe producir un chorro de caudal y altura constante.

Situación: Semejante a la de las actividades anteriores pero con mayor cantidad de elementos. Se incorpora al juego de materiales una pieza muy simple cuya función es conformar el chorro de agua. Consistente, simplemente, en un “pico” que posee un orificio pequeño y que puede roscarse sobre otros elementos del juego.

Consigna: Deberán construir una fuente de agua que arroje un chorro de altura constante, de más o menos 10 cm. de altura, durante el mayor tiempo posible. La fuente tomará el agua de una palangana. Si la requieren, dispondrán de otra palangana para volcar el agua. (De esta manera se trata de no sugerir que la misma palangana con agua puede servir para ambas funciones).

Sujetos intervinientes. Alumnos de 6° grado de 11 a 12 años

Proceso de resolución.

La exigencia de mantener la constancia del caudal sobreagrega, a las cuestiones ya presentadas y dominadas, tanto el problema de imaginar nuevas configuraciones para organizar los elementos del juego como el de proponer nuevos procedimientos. De una forma análoga a cómo, históricamente, las necesidades de controlar tecnologías surgen siempre a posteriori de la creación de las tecnologías a las que deben controlar.

El formato más usual que proponen los alumnos, en primer término, sigue respetando las simetrías y consiste en una variante de la estructura anterior pero con el punto de emisión del agua situado entre ambas jeringas (Figura 7, Anexo)

Otra modalidad frecuente, y más ingeniosa, que “escapa” un poco a la lógica que siguen estas actividades, consiste en bombear el agua hacia un recipiente elevado de cierta capacidad (que, a veces, era incluido dentro del juego), conectado a su vez mediante una manguerita descendente al “pico” de donde sale el chorro. De esta manera, y sobre todo, si el frasco es de boca ancha es posible garantizar un chorro muy constante.¹⁰

¹⁰ Al aumentar el diámetro del frasco, aumenta también la capacidad del mismo por cada unidad de su altura, de esa manera, una pequeña variación en el bombeo de retorno del líquido al frasco no afecta, prácticamente, a la altura del líquido la que, a su vez, determina y controla la presión que moviliza al chorro.

En adelante describiré el seguimiento de la primera clase de solución que fue la propuesta en varios de los grupos.

Resuelta la estructura del artefacto, el grupo procede a bombear alternativamente ambas jeringas bajo la hipótesis, que verbalizan, de que de esa forma lograrán el objetivo propuesto.

Sin embargo, contrariando la hipótesis de partida, si bien logran producir un chorro intenso su caudal es algo fluctuante. Dedicar un tiempo a coordinar mejor sus movimientos destinados al bombeo y a apretar cada una de las 4 mangueras adyacentes a las jeringas, generalizando los procedimientos por ellos ideados en las actividades anteriores. La actividad del grupo llegó a coordinar mejor los bombeos sobre las dos jeringas y las cuatro secuencias simultáneas de apretar y soltar las mangueras. Se puede apreciar así el intento por resolver el nuevo problema apelando a las mismas clases de simetrías presentes en las actividades anteriores pero en un contexto de mayor complejidad estructural y procedimental.

El nuevo problema facilita la generación de analogías intradominio a partir de la resolución exitosa de los problemas anteriores. En este caso el obstáculo y el consiguiente conflicto aparecen más tardíamente ya que la tecnología que suele proponer la mayoría de los sujetos funciona como fuente de agua aunque no todos “perciben”, debido a la rápida velocidad con que bombean en su afán de alcanzar la meta, que el chorro se detiene cada vez que las jeringas llegan a sus límites superiores e inferiores. Vale acá una doble acotación. No parecen ser conscientes de que las jeringas posean un límite superior y otro inferior. Esto en referencia al artefacto. Pero, además, tampoco son conscientes de que su propia acción se detiene un instante tanto al subir como al bajar aunque si se los preguntáramos dirían, obviamente, que sí se detienen.

Cuando los sujetos de esta prueba fueron docentes (de los tres niveles de enseñanza), su comportamiento fue semejante y, al igual que cuando se trató de los alumnos, exploraron varias soluciones para mejorar la propuesta inicial. Me interesa destacar dos de ellas:

1 La incorporación de una tercera jeringa, accionada por los mismos procedimientos simétricos que en el caso anterior (Por el mismo “programa de acción”).

2 La modificación del programa de bombeo (de simétrico a asimétrico). Los movimientos impresos a las jeringas (hasta ese momento, de igual velocidad y de sentido contrario) pasan a ser movimientos rápidos para aspirar el agua del depósito y más lentos para expulsarla por el pico. De esta forma, mientras una de las jeringas expulsa el agua gradualmente y en forma constante la otra se carga rápidamente y espera a que la otra esté por llegar al final de su recorrido para comenzar a descargarse. De este modo no existe un punto en que ambas jeringas se detengan haciendo que, en ese momento, la presión que sostiene al chorro, cese.

En el primer caso, la incorporación de la tercera jeringa no modifica el procedimiento de control de cada una de ellas, pero sí los momentos en que cada jeringa debe pasar por el mismo punto de funcionamiento dentro de ese ciclo. Cada una de ellas es accionada un tiempo después que la otra de modo que cuando cada una debe dejar de operar, para ser llenada, las otras dos con diferentes estados de descarga, siguen aportando presión para sostener el chorro de agua. Para decirlo en términos matemáticos, la misma posición de cada procedimiento estaba desfasada de la siguiente en 120 grados. De esta forma, se modifica la coordinación entre los procedimientos pero no los procedimientos mismos, los que siguen siendo análogos a los anteriores.

En el segundo montaje se procede por analogía respecto a la estructura anterior (permanecen las 2 jeringas originales conectadas de forma semejante) pero se complejiza, apreciablemente, el procedimiento de control de cada una de ellas y de coordinación entre ambas pero siempre, a partir del procedimiento anterior tomado como modelo.

Conclusiones sobre las “actividades con sistemas hidráulicos.”

Después de resolver el conjunto de problemas propuestos, de forma no muy diferente a como lo hacen los niños, algunos profesores de Enseñanza técnica y de carreras de ingeniería, tomaron conciencia de que el sistema integrado por tres procedimientos desfasados entre sí a 120 grados era fuertemente análogo a lo que solían enseñar sobre los sistemas eléctricos trifásicos en el nivel secundario técnico o en el universitario. ¡A pesar de eso, reconocían que no se apoyaron en esa noción para resolver el problema hidráulico!. Tampoco habían pensado, antes de esta experiencia, en enseñarlo a sus alumnos de esa manera, la que les parecía más motivadora y accesible para los alumnos¹¹. ¡Caso interesante!: El análogo base residente en MLP (El sistema eléctrico trifásico que se estudia para explicar el funcionamiento de motores eléctricos) de los profesores resultó más complejo y de argumentos más abstractos que el target y sólo comenzó a recuperarse a medida que avanzaban en la resolución aplicando estrategias mucho menos formales, análogas a las usadas por los niños.

¹¹ Debe considerarse que rara vez los profesores de Física y de Tecnología tradicionales enseñan previamente sistemas hidráulicos pensando que estos aprendizajes operarán, llegado su momento, como análogos base de los aprendizajes eléctricos (hasta donde la analogía lo permita). En general solo recurren al símil hidráulico en el contexto de la misma clase donde presentan los conocimientos eléctricos. Lo cual insinuaría que, en el fondo, sólo toman esos símiles como recurso didácticos de corto alcance. Algunos investigadores (Adrover y Duarte 1996) hipotetizan que el rol de las analogías más refinadas se apreciaría, sobre todo, en el largo plazo. Algunas de estas experiencias apuntarían en el mismo sentido. Las modalidades tradicionales no parecieran concebir la idea de una intervencionalidad analógica extendida entre los distintos campos de su disciplina (analogías interdominios).

Esto significa que los docentes no recuperaron primero la tecnología completa junto a su contexto, como sí hicieron los niños en las actividades anteriores (probablemente porque muchos de ellos tampoco las conocieron “en contexto” sino en el sistema educativo formal) sino que parecían recuperar primero (por reconstrucción) el esquema implícito¹² y de allí “bajaban” a recuperar la fuente de la analogía (los sistemas eléctricos).

Por otra parte, la vinculación entre tecnologías hidráulicas y eléctricas e, inclusive entre hidráulicas y electrónicas, como también se propusieron, corresponden a la puesta en juego de analogías funcionales interdominio semejantes, en todo sentido, a las que siempre jugaron un papel fundamental en la historia de las tecnologías y, también, de las ciencias.

En el caso de las analogías propuestas con respecto a sistemas electrónicos, los docentes relacionaron, pero luego de resolver el problema, a la fuente de agua con la del circuito electrónico conocido como “circuito de rectificación de doble onda” que es el empleado en las fuentes de alimentación. En el mismo, una corriente alternada es transformada en corriente continua mediante la acción de una pareja de diodos rectificadores que trabajan en contrafase (análogamente a los primeros procedimientos propuestos por los alumnos para controlar el par de jeringas en el problema de la fuente). La estructura funcional del circuito de la fuente electrónica, como también sus propósitos (transformar en regular y continuo un flujo que, en su origen, es variable) son análogos a los de la fuente de agua. En un caso se trata de flujos hidráulicos y en el otro, de flujos eléctricos. En un caso de válvulas hidráulicas, en el otro de válvulas electrónicas (los

¹²Me refiero al esquema implícito S, en la terminología de Robertson (2001) que liga al problema reconocido con la solución esperada.

diodos). Pero dicha analogía parece haber surgido *luego* de dos pasos en la *redescripción* de la tecnología original exitosa.

En las actividades presentadas se proponen dos vías paralelas como estrategias de enseñanza.

1 La promoción de cambios cognitivos a corto plazo (microgénesis) que ponen espontáneamente en juego analogías intradominio.

2 Y un trabajo a largo plazo, a partir del establecimiento explícito de analogías interdominios (Adrover, Duarte, 1996) y de construcción de nociones técnico funcionales surgidas del trabajo de esos mecanismos de pensamiento.

Las analogías intradominio en tecnología son básicamente espontáneas en los alumnos (y en todo sujeto) pero además son favorecidas por el contexto creado con el propósito de que los alumnos se vayan apropiando de “módulos” de conocimiento asociados a módulos de tecnologías de modo de dar lugar a transferencias a partir de un modelo de pensamiento técnico combinatorio y funcional en lugar de la enseñanza tradicional de los contenidos tecnológicos que se limitaba a formular los principios teóricos de la Física junto la instrucción de las cadenas gestuales propias de los procedimientos de conformación de materiales.

También las experiencias realizadas a partir de las mismas situaciones problemáticas que expuse, pero con docentes de carreras de ingeniería y de Escuelas Técnicas, parecieron confirmar la poca accesibilidad a los conocimientos necesarios cuando abordaban los problemas ignorando esta lógica funcional.

En más de un sentido mi expectativa era que esos módulos, progresivos en complejidad estructural – funcional y los procedimientos asociados, cumplieran el papel de inclusores u organizadores previos (Ausubel, 1973).

Las actividades presentadas surgieron, originariamente, como respuesta a la falta de transferencia de los conocimientos científicos a la enseñanza tecnológica en el contexto de la enseñanza técnica de nivel medio. En este sentido las modalidades propuestas coinciden con la crítica que hacen algunos teóricos hacia los encapsulamientos de aquellos conocimientos abstractos (y yo agregaría especialmente los de orden causal) privados de contexto, “compartimentalizando” el conocimiento y bloqueando la posibilidad de transferencia interdominios (Solomon, 1983, citado por Adrover y Duarte, 1996).

Un tema recurrente en el campo de los estudios sobre analogías y sobre el cambio conceptual en general, lo constituye la preocupación por los errores a los que podría conducir una instrucción basada en su empleo. Es interesante porque señala, en parte, la creencia de que el conocimiento podría ser posible sin incursionar en el error. Como si la tarea del docente consistiera en proteger a los alumnos de esas “malas compañías”. En realidad lo que cabría discutir son los márgenes de la enseñanza magistral en niños y adolescentes si no se tiene en cuenta la importancia que suponen las metas, las búsquedas, el valor de los contextos, factores todos que contribuyen a generar *significado* en el trabajo de producción de conocimientos. Además cabría poner en cuestión si la enseñanza tradicional y abstracta de las ciencias es, realmente, el primer paso para comprender al mundo artificial en que vivimos si no considera en sus prácticas a la construcción humana de ese mundo. Así algunos autores (Ceacero y González Labra, 1998), prosiguiendo las ideas de Glyn, afirman que cuando la

utilización de una analogía no cumple con algunos de los pasos mencionados y se deja que el sujeto los genere por sí mismos es cuando se introduce la posibilidad de que se den errores conceptuales:

“la codificación y categorización que acompaña a la analogía cuando se presenta en el aula fomenta que la comprensión de la analogía se centre en la información relacional esencial omitiendo los atributos específicos de los objetos” (íbid. p.459).

Esta afirmación quizás descuide la importancia cognitivo significacional para los sujetos del trabajo de filtrar o seleccionar la información a partir de rasgos superficiales inclusive “lejanos e inverosímiles”, como sostenía Leroi-Gourhan (1945 & 1973). Esa puede ser la ventaja educacional de las propuestas mixtas como la expuesta.

Una concepción que parece respaldar los resultados recogidos, como lo cité anteriormente, es la de Holyoak y colaboradores que los llevan a valorizar el papel del objetivo en el control de la trayectoria de aprendizaje como limitador de inferencias posibles. Entre la alternativa de imponer un análogo a la de la promover la recuperación espontánea por parte de los alumnos, la evidencia empírica en contextos escolares el trabajo de varios investigadores parecería sugerir la importancia de proveer una *dirección* (Maier 1930, citado por Mayer 1983). Esta dirección resulta de la recuperación de experiencias pasadas en calidad de fuentes y de apoyos externos en igual sentido. Maier, estimulaba y orientaba a los sujetos mediante el aporte de sugerencias variadas, incluso sutiles. Algunos sujetos resolvían los problemas sin ellas (un 39%) y otros las necesitaron (el 38%).

Más allá de estas observaciones es muy probable que los resultados obtenidos en las experiencias sobre razonamiento por analogía varíen de acuerdo al campo de conocimientos y de prácticas en estudio. Y, sobre todo, en relación a los sujetos y a los contextos donde se llevan a cabo las experiencias. Y, fundamentalmente, si los propósitos se orientan hacia la experimentación o hacia la instrucción.

Las experiencias expuestas también parecerían ajustarse, en algunos aspectos importantes, a la teoría de la extrapolación estructural de Gentner a pesar de sus diferencias. Es interesante recuperar algunos conceptos de esta autora por la forma en que se dedicó al problema de la extrapolación para referirlos a la experiencia comentada. Gentner se refiere a una extrapolación de la estructura sintáctica entre los dominios fuente y target enfatizando en la permanencia de un conjunto de relaciones con independencia de los soportes reales. Esas relaciones (funcionales) podrían asemejarse a la transferencia mencionada de las estructuras funcionales hidráulicas a las electromecánicas citadas (me refiero a las transferencias interdominio). Así en la tabla I (Gentner, 1983) el pasaje sugerido desde el emparejamiento aparente hasta la aplicación de una estructura abstracta con la mediación de similitudes literales y analogías no parece diferir demasiado respecto a lo que ocurre en las experiencias relatadas. Aunque es pertinente trazar algunas precisiones sobre la comparación del átomo con el sistema solar. La propuesta de admitir un sistema de fuerza central como estructura abstracta común a ambos en lugar de detenerse el pensamiento en "el átomo es como nuestro sistema solar" señala, además, la organización de la estructura en torno a un *modelo físico causal* (tomado en última instancia de la mecánica newtoniana).

Otro aspecto interesante de analizar se refiere al papel de los caracteres superficiales de los objetos en la construcción de una analogía. Como señalé en una de las actividades, ni siquiera teniendo los alumnos al objeto meta (la jeringa) delante de sus ojos pudieron vincularlo a la solución al problema. Excepto cuando pudieron "traducir" o "redescribir" la representación que habían construido como solución al plano concreto.

El papel de esos esquemas lingüísticos- funcionales a los que, *después*, habrá que vincular o asociar con cierta clase de conocimientos físico – causales parecen referir a la experiencia de Duncker 1945 (citado por Mayer 1983 y Robertson 2001). Sintéticamente: la analogía de dispersar los rayos, a partir del análogo propuesto del castillo, está enunciada a nivel funcional, pero para desembocar o retraducir ese conocimiento en una tecnología útil es necesario volver a explorar la MLP o la bibliografía, para encontrar el soporte respectivo para esa estructura funcional que podría ser, por ejemplo, un sistema de lentes (esquema causal). Pero, cabría preguntarse, si algún sujeto de la experiencia no podría haber recuperado, analógicamente, la infantil imagen escolar de una lupa orientada hacia el sol, que solo quema el punto donde se enfoca sin afectar la zona intermedia. En este caso el componente causal vendría prácticamente “soportado” por el funcional. En concordancia con esto, Duncker sostenía que la resolución de un problema avanza por estadios yendo de las soluciones más generales a las más específicas reformulando (¿redescribiendo?) permanentemente el problema original. Meyer reafirma el concepto y lo ejemplifica sobre el problema de Duncker (e incluyéndolo a Polya dentro del enfoque), agregando “que se pasa de *soluciones generales a funcionales* y, finalmente a *específicas*. Posiblemente esas soluciones específicas se puedan corresponder con las que aquí denomino “causales”.

Holyoak, Koh (1987) y otros sostienen, desde la perspectiva de los esquemas de razonamiento pragmático que la recuperación es función de la activación continua y acumulada de conceptos vinculados al modelo fuente los que se corresponden con algunos de los conceptos del modelo meta. Se postula así que el estado inicial es resultado de los objetivos y que, solo a posteriori, se irán elaborando los conceptos restantes. Lo cual pareciera acorde con las experiencias comentadas.

CONCLUSIONES GENERALES

Un modelo alternativo al del racionalismo técnico: La Técnica, como un proceso socio y psicogenético de construcción de conocimientos.

El modelo del racionalismo técnico, que discutí en este trabajo, es el producto de una concepción histórico- epistemológica que encontró en el positivismo a su respaldo más sólido y perdurable. Dicho modelo, además, ha sido transpuesto al campo educativo de una forma lineal y acrítica y, sobre todo, perdiendo de vista las formas concretas a las que apelan los sujetos para resolver problemas técnicos. De todos modos, y a pesar de las evidencias empíricas en contrario como las que señalé en este trabajo, el racionalismo técnico aún continúa sirviendo de referencia a las enseñanzas tecnológicas y a las formaciones profesionales en general.

Análogamente, la concepción didáctica que traté de fundamentar tampoco se encuentra aislada del campo histórico – epistemológico. Aún cuando estos aportes sean, comparativamente a los que sustentan al racionalismo técnico, mucho más recientes y, por ende, menos difundidos en el medio educativo.

Desde que Piaget creara el Centro de Epistemología Genética en Ginebra y propusiera la audaz analogía entre los mecanismos (funcionales) de la inteligencia infantil, los del comportamiento vivo en general y los de la construcción científica, la mayor parte de la psicología de la inteligencia y cognitiva en general no perdió nunca de vista la investigación de las relaciones entre el conocimiento y la verdad.

Las teorías del cambio conceptual, aunque polemizaron en varias cuestiones con las concepciones de Ginebra, reforzaron el interés por comprender las transformaciones que se operaban entre las llamadas “ideas alternativas” de los sujetos a las concepciones legitimadas por la ciencia.

A pesar de esta sostenida direccionalidad de las investigaciones cognitivas surge, en el contexto de la IA, la necesidad de revalorizar psicológica, filosófica e instrumentalmente al conjunto de estrategias y de cogniciones implicadas en la creación técnica, particularmente dentro del proceso denominado “Diseño” por Herbert Simon (1973-1978b).

Surgen así, entre otras, las investigaciones sobre el papel de las representaciones del conocimiento en los contextos de resolución de problemas poco o mal estructurados (Newell y Simon, 1976). Y, junto con ellas los primeros desarrollos informáticos sobre la resolución de problemas por analogía.

En esos contextos comienzan a revalorizarse, junto al conocimiento causal, ligado hasta entonces al razonamiento científico, los razonamientos de tipo funcional orientados a metas (teleonomía) (Sussman and Brown, 1974; De Kleer, 1979).

La creación de una ciencia de base lógico matemática, la Cibernética, ya no centrada sobre mecanismos causales sino en los de carácter “esencialmente funcional y conductista” (Ashby, 1956, p 11 de la Trad. Cast.), ligada al estudio del control y de la eficiencia de la acción, prestó sustento teórico a estas nuevas búsquedas (Wiener, 1948/1961; Simondon, 1958; Couffignal, 1969; Simon, (1973-1978); Forbus, 1993).

Los efectos de estos verdaderos cambios de paradigma reinfluyeron sobre Ginebra promoviendo la diferenciación de una nueva rama psicológica, a partir del antiguo tronco epistémico. En el origen de esos cambios, un piagetiano tempranamente disidente, Pierre Mounoud, vendría a sostener que

“las comparaciones entre el robot y el ser humano han tomado el lugar de las comparaciones entre el mono y el niño” (Mounoud, 1970, p. 6 de la Trad. Cast.).

Recordando así que si antaño fueron los psicólogos experimentalistas los primeros en interesarse en el razonamiento técnico de los animales hoy quien deseara proponer objetivos análogos debía mirar hacia la IA.

Unos años después, Bärbel Inhelder proponía, junto a Guy Cellérier (Inhelder, Cellérier, 1992; Cellérier, 1992) algo así como un “manifiesto” donde iniciaban lo que llamaron el “Constructivismo psicológico” que, apoyado en Simon, Sussman, De Kleer y en la IA en general, por una parte, y en la epistemología genética, por otra, pretendía aportar a la construcción de una psicología de la innovación (del “Diseño”). Nada podría ser más explícito en su propósito de crear una Psicología de la tecnología que esa propuesta fundadora. El conjunto de trabajos y de conocimientos generados por el nuevo paradigma tuvo resonancias hacia y desde los nuevos territorios de la ergonomía (Weill-Fassina, Rabardel, Dubois, 1993).

Por otra parte, Anette Karmiloff-Smith (1992), que además había prologado la obra citada de Inhelder y Cellérier, realizó un aporte fundamental al resituar la hipótesis de la abstracción reflexionante piagetiana. Sus investigaciones sobre los procesos de redescrición representacional recuperan lo mejor de la genial idea piagetiana sobre la abstracción reflexionante y que, como traté de mostrar, se presentan de forma sistemática en la creación técnica.

Una Psicología de la Técnica, entonces, puede constituirse aludiendo a la coexistencia de procedimientos a la vez eficaces e inconscientes, que progresivamente se objetivan en la medida en que se describen, externalizan y delegan. Estos fundamentos, tan disímiles de los propuestos por el racionalismo técnico, articulan con un conjunto de planteos epistemológicos que han reconsiderado a la Técnica como un proceso ni lineal, ni azaroso, ni aplicado, sino funcional y recursivo. Y donde lo viejo no origina lo nuevo por simple progresión evolutiva, lo que desimplicaría de su construcción al resto del

campo social con la ciencia incluida, como bien lo señalan diversos investigadores del reciente campo de los *Estudios sociales de la tecnología* (Latour y Lemonnier, 1994; Bijker, 1995; Pinch, 1996).

Al contrario, esos procesos creativos operan por resignificación de lo previo en función de metas y mediante saltos de soporte (como ejemplifiqué en el pasaje de las fuentes hidráulicas a las electrónicas). Así se concilian el cambio y la conservación y se refresca aquella vieja máxima de la Biología adoptada por Piaget (1967), referida a la continuidad funcional asociada a la discontinuidad estructural. Algo que, por otra parte, y como traté de demostrar, es legítimamente generalizable a la Técnica.

Piaget sostenía, en un orden análogo vinculado a la continuidad, que la toma de conciencia de un esquema motor lo transforma en concepto (Piaget, 1974). Y esto parecería abrir la posibilidad de considerar a las cogniciones implicadas en esas objetivaciones como *conocimientos* que, también, deberían dar lugar a una psicología del cambio conceptual en tecnología. Y esto parece creer también el “management”, actualmente preocupado por el valor del “conocimiento”. Así, el mundo de la empresa promueve los procesos de toma de conciencia de los operarios industriales que han desarrollado competencias técnicas valiosas aún sin saberlo. Para luego ser apropiadas por el poder empresario de modo de llegar a controlarlas de forma objetiva, al tiempo que se prescinde de aquellos. (Bernoux y otros, 1984; Ruffier, 1996).

En este contexto, pensar la tecnología acudiendo al razonamiento analógico, parece ser para la Psicología y para la Enseñanza de la tecnología, una tarea que exige conectar las fuentes orgánicas de la analogía y sus precursores míticos, a los que me refería en la Primera parte, con sus expresiones progresivamente más abstractas que, como lo señalara Gentner, constituyen una trayectoria donde la continuidad, a medida que avanza, habilita la apertura a nuevas estructuras.

Las teorías y supuestos acerca del cambio técnico tendieron a concebirlo tradicionalmente, como un proceso fuertemente discontinuo. Esto pareciera ser independiente del hecho de que se lo conciba determinado por el azar, como proponía Ortega respecto a la primera etapas de la técnica humana (Ortega y Gasset, 1939), por los descubrimientos científicos, por los fenómenos atados al capricho genial de los inventores o, también, si se lo imaginaba como un simple factor cuantitativo que procediendo de vaya a saber dónde aparecía siempre incorporado a la “función de producción” industrial propuesta por la economía neoclásica (Rosenberg, 1976).

Este conjunto de supuestos comenzó a ser puesto en crisis a partir de una variedad de trabajos e investigaciones que opusieron a esas ideas la afirmación de que el cambio técnico, más allá del indudable papel jugado en él por las ciencias, no era de carácter discontinuo sino incremental (Rosenberg, 1976; Tomasello, 1999), y apoyado sustancialmente en procesos de variación, combinación, permutación y deslocalización de los procesos y tecnologías (Carlson, 2000) ya existentes.

Inclusive, numerosos autores en vista de la progresividad del cambio tecnológico propusieron asimilarlo a procesos evolutivos, en algunos casos análogos a los biológicos (Basalla, 1988; Ziman, 2000). Algunos de ellos, asociaron la progresividad al hecho de que las tecnologías, como lo señalé más arriba, solo existían, se transformaban y se difundían como sistemas integrados de acciones, conocimientos y artefactos. Recuperaban, así, la herencia de los antropólogos franceses como Mauss (1934) y Leroi-Gourhan. E, inclusive, postulaban ideas semejantes pero acudiendo a fuentes diferentes, (Fleck, 2000). En tanto que algunos tienden a subrayar el carácter recursivo de esas prácticas (Constant, 2000). Y, otros, acentúan la forma en que las memorias técnico sociales, en principio “incorporadas” a los cuerpos (embodiment) y sujetas al

comportamiento, se expanden, liberan y delegan en soportes culturales. Al tiempo que retienen los patrones funcionales de configuración técnica y vuelven a proyectarlos sobre nuevos soportes. (Leroi-Gourhan, 1964b7)

Se habilita así la hipótesis de una discontinuidad estructural y causal de los fenómenos técnicos pero conviviendo en contextos de continuidad funcional de las tecnologías, procesos y “programas de acción”.

De esa forma, la comprensión del cambio tecnológico a partir del intento de extrapolar a la tecnología el modelo heredado del cambio científico, que proponía saltos discontinuos cualitativos desde el no saber, o el saber erróneo, al saber científico pareciera quedar, severamente, cuestionada.

NOTAS

¹ Thagard, 2005; Holyoak and Thagard, 1995.

En el apartado “Aplicabilidad práctica” del capítulo sobre “Analogías” Thagard (2005) se extiende sobre la mención del papel de la analogía como fuente de inspiración en la creación técnica. Cita el caso de De Mestral, que inventó el velcro inspirándose en los abrojos que se prendían al pelaje de su perro y a Graham Bell, inventor del teléfono, que tomó como referencia al oído humano (era profesor de sordos).

ii Un ejemplo magnífico sobre esta cuestión es el análisis que hace Kuhn (1970, Cap. VI: La anomalía y la emergencia de los descubrimientos científicos”) para tratar de establecer (o más bien para demostrar que eso es imposible) quién y cuándo descubrió “el oxígeno”. Kuhn sostiene, y luego amplía el ejemplo con el del descubrimiento de los rayos x, que el surgimiento de lo nuevo suele hacerse en el contexto de viejos supuestos y que solo cuando éstos se modifican por influencia de lo nuevo, éste pasa a ser completamente reconocido como tal. Luego de describir las diversas experiencias y las conclusiones que propusieron un conjunto de investigadores a lo largo de varios años (Scheele, Priestley, Lavoisier) Kuhn termina diciendo – resumen-: “Aunque sea indudablemente correcta la frase ‘El oxígeno fue descubierto’, induce a error, debido a que sugiere que el descubrir algo es un acto único y simple (...) Pero...cualquier intento para ponerle fecha al descubrimiento debe ser, de manera inevitable, arbitrario ya que el descubrimiento de un tipo nuevo de fenómeno es necesariamente un suceso complejo, que involucra el reconocimiento, tanto de *que* algo existe como de *qué* es “ (íbid pag. 97, cursivas del autor) y termina diciendo, uniendo lo anterior a las experiencias de Roentgen: “Solo cuando el experimento y la teoría de tanteo se articulan de tal modo que coincidan, surge el descubrimiento y la teoría se convierte en paradigma” (íbid, pag. 106).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, P. (2003).
Razonamiento analógico y modelado en las ciencias. En D. A. Duarte y E. A. Rabossi.
Psicología cognitiva y filosofía de la mente. Buenos Aires: Alianza.
- ADROVER, J. F. Y DUARTE, A. (1996)
El uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. En *Revista del Instituto de Investigaciones psicológicas de la Universidad de Buenos Aires*, 1, 39-63. Ficha de la Cátedra de “Razonamientos por analogía”, FLACSO-UAM.
- ARCAUTE, G. (2001-2004).
El filósofo César Chesneau Du Marsais. En *Saltana, Revista de Literatura y traducción* N°1 Vol 1 “2001-2004. En <http://www.saltana.org/>
- ARISTÓTELES (2006).
Poética. Buenos Aires: Colihue.
- ARISTÓTELES (2004).
Ética Eudemia. Buenos Aires. Losada.
- ARNHEIM, R. (1969).
El pensamiento visual. Buenos Aires: EUDEBA.
- ASHBY, W. R. (1956)
Introducción a la cibernética. Buenos Aires: Nueva Visión.
- BAIN, A. (1895).
Les sens et l'intelligence. Paris: Félix Alcan.
- BASALLA, G. (1988).
La evolución de la tecnología. Barcelona: Crítica.
- BERNOUX, P.; MAGAUD, J.; RAVEYRE, M.-F. ; RUFFIER, J.; SAGLIO, J.; VILLEGAS, G. (1984).
Qui connaît les machines?. Les connaissances que les salariés ont des machines qu'ils utilisent ou pourraient utiliser. Groupe Lyonnais de Sociologie Industrielle. Université Lyon II.
- BERTALANFFY, L. VON (1968).
Teoría general de los sistemas. Madrid: FCF.
- BIJKER, W. E. (1995).
Of bicycles, bakelites and bulbs. MIT Press.
- BOURDIEU, P. (1980).
El sentido práctico. Madrid: Taurus.
- BRUNER, J. Y OTROS (1966).
Studies in cognitive growth. New York: John Wiley & Sons.

- BRUNER J. S. (1966).
Una asignatura sobre el hombre. En J. S. Bruner *Desarrollo cognitivo y educación*.
Madrid: Morata.
- BUNGE, M.(1969/1983).
La investigación científica. Barcelona: Ariel. En particular los Cap. 4 (Problema) y 15
(La inferencia científica)
- CARLSON, W. B. (2000).
Invention and evolution: the case of Edison's sketches of the telephone. En J. Ziman
(Ed.). *Technological innovation as an evolutionary process*. Cambridge: CUP.
- CEACERO CUBILLO, J. Y GONZÁLEZ LABRA, M. J. (1998)
El razonamiento analógico como procesos de aprendizaje. En M.J. González Labra.
Introducción a la Psicología del pensamiento. Madrid: Trotta.
- CELLÉRIER, G. (1980).
Construcción de una teoría. Un intento prescriptivo. En J. Piaget, L. Apostel y otros.
Construcción y validación de las teorías científicas. Contribución a la epistemología
genética. Barcelona: Paidós.
- CELLÉRIER, G. (1992).
Le constructivisme génétique aujourd'hui. En B. Inhelder y G. Cellérier G. *Le
cheminement des découvertes de l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- CLARKE, D. L. 1(968/1978).
Arqueología analítica. Barcelona: Bellaterra.
- CONSTANT, E. (2000).
Recursive practice and the evolution of technological knowledge. En J. Ziman
Technological innovation as an evolutionary process. Cambridge University Press.
- COUFFIGNAL, I. (1969).
La cibernética. Barcelona: A. Redondo.
- DE KLEER, J. (1979)
Causal and teleological reasoning in circuit recognition. Technical Report 529. MIT
En: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/6930>
- DE SAUSSURE, F. (1945).
Curso de lingüística general. Buenos Aires: Losada.
- DU MARSAIS, M. (1730).
Des tropes .Paris: J.B. Brocas.
- DUIT, R. and TREAGUST, D.F. (2003).
Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning.
En *International Journal of Science education*, 2003, Vol. 25, N° 6, 671-688.
- DUIT, R. (2006)

Enfoques del cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias. En W. Schnotz; S. Vosniadou y M. Carretero. *Cambio conceptual y educación*. Buenos Aires: Aique.

ELÍADE, M. (1991).
Cosmología y alquimia babilónicas. Barcelona: Paidós.

FALKENHAINER, B., FORBUS, K.D., GENTNER, D. (1986).
The structure – mapping engine. En *Proceedings of the Fifth National Conference on Artificial Intelligence*.

FERRATER MORA, J. (1994).
Diccionario de filosofía. Barcelona: Ariel.

FEYNMAN, R.P. (1963).
Física, Vol.1 México: Addison, Wesley, Longman.

FLECK, J., (2000).
Artefact <--> activity: the coevolution of artefacts, knowledge and organization in technological innovation. En J. Ziman. *Technological innovation as an evolutionary process*. Cambridge: Cambridge University Press.

FORBUS, K. D. (1993)
Qualitative reasoning about function: A progress report. En:
http://www.qrg.northwestern.edu/papers/Files/QRG_Dist_Files/QRG_1993/Forbus_etal_1993_Qualitative_Reasoning_about_Function_PrgRpt-v2.pdf.

FRAZER, J. G. (1922).
La rama dorada. México: FCE.

FRENCH, R. (2002).
The computational modeling of analogy-making. En *Trends in cognitive sciences*, 6(5), 200-205. En www.ulg.ac.be/cogsci/rfrench.html

GARDNER, H. (1985).
Frames of minds. USA: Basic Books.

GARDNER, H. (1974).
Metaphors and modalities: How children projects polar adjectives onto diverse domains. En *Child Development*, Vol 45, N°1 (Marzo, 1974, pp 84 -91).

GEERTZ, C. (1973).
La interpretación de las culturas. Barcelona: Gedisa.

GEHLEN, A. (1986).
Antropología filosófica. Barcelona: Paidós.

GENTNER, D. (1977a).
Children's performance on a spatial analogy task. En *Child Development*, 1977, 48, 1034-1039.

GENTNER, D. (1977b).

If a tree had a knee, where would it be? Children's performance on simple spatial metaphors. En *Papers and reports on child language development*, 1977, 13, 157-164.

GENTNER, D. (1983).

Structure-Mapping: A theoretical framework for analogy. En *Cognitive science*, 7, 155-170.

GENTNER, D. AND GENTNER, D.R. (1983).

Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity. En D. Gentner y A. L. Stevens. *Mental models*. (P. 99 a 129). New Jersey. Lawrence Erlbaum

GENTNER, D. (1989).

The mechanisms of analogical learning. En S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 199-241). London: Cambridge University Press.

GENTNER, D. (2002).

Analogical reasoning, Psychology of. Encyclopedia of Cognitive Science. London: Nature Publishing Group.

GENTNER, D. y HOLYOAK, K. J. (1997).

Reasoning and learning by analogy. Introduction. *American Psychologist*, 52, 32-34.

GENTNER, D. Y MARKMAN, A. B. (1997).

Structure mapping in analogy and similarity. En *American Psychologist*, Vol 52, Nº 1, pag. 45 -56.

GICK, M. L. Y HOLYOAK, K. J. (1980).

Analogical problem solving. En *Cognitive Psychology* 12, 306 - 355.

GICK, M. L. Y HOLYOAK, K. J. (1983).

Schema induction and analogical transfer. En *Cognitive Psychology*, 15, 1 -38.

GONZÁLEZ LABRA, M. J. (1997).

Aprendizaje por analogía. Madrid: Trotta.

HAMILTON, SIR W.(1874).

Lectures on metaphysics and logic. Edimburgh and London : William Blackwood and Sons. (Especialmente el T. IV). En: <http://gallica.bnf.fr/>

HESSE, M. (1966).

Models in analogies in science. Notre Dame, IN: University of Notre Dame Press. Citado por D. Gentner (1989). The mechanism of analogical learning. En S. Vosniadou y A. Ortony. *Similarity and analogical reasoning*. Cambridge University Press.

HESSE, M. (1988).

Theories, family resemblances and analogy. En D. H. Helman (Ed). *Analogical reasoning*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers

HOFSTADTER, D. R.(1982).

Gödel, Escher, Bach. Un eterno y grácil bucle. Barcelona: CONACYT- Tusquets.

- HOFSTADTER, D. R. (1984).
The Copycat Project: An experiment in non determinism and creative analogies.
Massachusetts: MIT
- HOFSTADTER, D. (1995).
A Review of Mental leaps: Analogy in creative thought. *American Association for Artificial Intelligence*. Fall 1995, 75-80. En
<http://courses.media.mit.edu/2002fall/mas962/MAS962/hofstadter.pdf>
- HOFSTADTER, D.R.(2001).
Analogy as the core the cognition. En D. Gentner, K.J. Holyoak and B. N. Kokinov (eds.). *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science*, Cambridge MA: The MIT Press/Bradford Book, 2001, pp. 499-538.
- HOLLAND, HOLYOAK, NISBETT & THAGARD (1986).
Induction: Processes of inference, learning and discovery. Cambridge: MIT.
- HOLYOAK, K.J. Y KOH, K. (1987).
Surface and structural similarity in analogical transfer. En *Memory & cognition*, 15 (4), 332-340.
- HOLYOAK, K. AND THAGARD, P. (1995).
Mental Leaps. Analogy in creative thought. MIT.
- HOLYOAK, K.J. (2004).
Analogy. En K. J. Holyoak and R. G Morrison (Eds.). *The Cambridge handbook of thinking and reasoning*. Cambridge University Press.
- INHELDER, B. Y PIAGET, J. (1955)
De la lógica del niño a la lógica del adoelscente. Buenos Aires: Paidós.
- INHELDER, B. – CELLÉRIER, G. (1992).
Le cheminement des découvertes de l'enfant. Neuchâtel -Paris: Delachaux et Niestlé.
- KAPP, E. (1877).
Líneas fundamentales de una filosofía de la técnica (Fragmentos). En J. A. López Cerezo, J. L. Luján y E. M. García Palacios (Eds.). *Filosofía de la tecnología*. Madrid: OEI.
- KARMILOFF-SMITH, A. (1992).
Más allá de la modularidad. Madrid: Alianza.
- KLIMOVSKY, G. (Ed.) 2005.
Los enigmas del descubrimiento científico. Buenos Aires: Alianza
- KOKINOV, B. (1996)
Analogy-making: psychological data and computational models. In: Kokinov, B. (ed.) *Perspectives on Cognitive Science*, vol. 2, NBU Press.
En <http://www.nbu.bg/cogs/courses/cog501.html>

- KÖHLER, W. (1931).
L'intelligence des singes supérieurs. Paris: Felix Alcan.
- KUHN, T. S. (1970)
La estructura de las revoluciones científicas. México: FCE.
- LAKOFF, G. Y JOHNSON, M. (1980).
Metáforas de la vida cotidiana. Madrid: Cátedra.
- LAMAS, S. G. (2004).
Discusiones sobre la utilización del razonamiento analógico en la epistemología evolucionista. In R. A. Martins, L. A. C. P. Martins, C. C. Silva, J.M.H. Ferreira (Eds.). *Filosofía e história da ciência no Cone Sul*. 3º Encontro. Campinas. AFHIC pp 446-452
- LATOURET, B. et LEMONNIER, P. (1994).
De la préhistoire aux missiles balistiques. Paris : La Découverte.
- LAUDAN, R. (1984).
The nature of technological knowledge. Are models of scientific change relevant?.
Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- LEROI –GOURHAN, A. (1945 & 1973)
El medio y la técnica (Evolución y Técnica II). Madrid: Taurus.
- LEROI –GOURHAN, A. (1964b.).
Le geste et la parole. T. II: La mémoire et les rythmes. Paris : Albin Michel.
- LEVI -STRAUSS, C. (1962).
El pensamiento salvaje. México: FCE.
- MC CULLOCH, W.S. Y PITTS, W.H.(1965).
Un cálculo lógico de las ideas immanentes en la actividad nerviosa. En M.A. Boden.
Filosofía de la Inteligencia artificial. México: FCE.
- MACH, E. (1905).
Conocimiento y error. Buenos Aires: Espasa – Calpe.
- MATEOS, M. (2001).
Metacognición y educación. Buenos Aires: Aique.
- MAUSS, M. (1934).
Las técnicas del cuerpo. En J. Crary y S. Kwinter (eds.). *Incorporaciones*. Madrid: Cátedra.
- MAYER, R.E. (1983).
Pensamiento, resolución de problemas y cognición. Barcelona: Paidós.
- MICHELET, A. (1972).
Los útiles de la infancia. Barcelona: Herder.

- MILL, J. S. (1866).
Système de logique déductive et inductive. Paris : Librairie Philosophique de Ladrance.
- MINERVINO, R. (1998).
Transferencia en solución de problemas por analogía: Modelos computacionales vs. procesos humanos. Tesis Doctoral no publicada. Universidad de Salamanca.
- MINERVINO, R. (2003).
Discusión (Sobre la ponencia de Abrantes, 2003). En D. A. Duarte y E. A. Rabossi.
Psicología cognitiva y filosofía de la mente. Buenos Aires: Alianza.
- MINERVINO, R., ADROVER, J. F. (2003).
La teoría sintáctica y la teoría semántico-pragmática sobre el pensamiento por analogía: ¿constituyen verdaderamente enfoques alternativos? En D. A. Duarte y E. A. Rabossi.
Psicología cognitiva y filosofía de la mente. Buenos Aires: Alianza.
- MINSKY, M. (1986).
La sociedad de la mente. Buenos Aires: Galápagos.
- MOUNOUD, P. (1970).
La estructuración del instrumento en el niño. Buenos Aires: Glem.
- NAGEL, E. (1961).
La estructura de la ciencia. Barcelona: Paidós. (En particular Cap. VI, 1, El papel de la analogía.)
- NEWELL, A. Y SIMON, H. (1976).
La ciencia de la computación como investigación empírica: símbolos y búsqueda. En M. Boden (1990). *Filosofía de la Inteligencia Artificial*. México: FCE.
- ORTEGA Y GASSET, J. (1939).
Meditación de la técnica. Madrid: Revista de Occidente.
- PIAGET, J. (1923/1968).
El lenguaje y el pensamiento en el niño. Estudio sobre la lógica del niño (I). Buenos Aires: Guadalupe.
- PIAGET, J. (1924/1967).
El juicio y el razonamiento en el niño. Estudio sobre la lógica del niño (II). Buenos Aires: Guadalupe.
- PIAGET, J. (1936/ 1977).
El nacimiento de la inteligencia en el niño. México: Grijalbo.
- PIAGET, J. (1946).
The child's conception of movement and speed. New York: Ballantine Books.
- PIAGET, J. (1947).
Psicología de la inteligencia. Buenos Aires: Psique.

- PIAGET, J. (1967).
Biología y conocimiento. Madrid: Siglo XXI.
- PIAGET, J. (1974).
La toma de conciencia. Madrid: Morata.
- PIAGET, J. (1975)
La equilibración de las estructuras cognitivas. Problema central del desarrollo. Madrid: SXXI.
- PIAGET, J. (1977).
La formación de los correlatos (Con Montagero, J. y Billeter, J.B.). En J. Piaget, *La abstracción reflexionante*. Buenos Aires: Huemul.
- PIAGET, J. Y OTROS. (1980).
Investigaciones sobre las correspondencias. Madrid: Alianza.
- PINCH, T. (1996).
The social construction of technology: a review. En R.Fox. *Technological change*. Amsterdam : Harwood Academic Publishers.
- POLYA, G. (1945/1957).
Cómo plantear y resolver problemas. México: Trillas.
- POZO MUNICIO, J. I. (1996).
Aprendices y maestros. Madrid: Alianza.
- RAPHAEL, B. (1976).
El computador pensante. Madrid: Cátedra.
- RIBOT, TH. (1881).
La Psychologie anglaise contemporaine. Paris: Librairie Germer Bailliére
- ROBERTSON, S. I. (2001).
Problem solving, Psychology Press (Ficha de la Cátedra de Razonamiento por analogía de F. Adrover y R.Minervino).
- RODRÍGUEZ DE FRAGA, A.(1985)
Sistemas hidráulicos. En A. Rodríguez de Fraga. *Educación tecnológica se ofrece espacio en el aula se busca*. Buenos Aires: Aique.
- RODRÍGUEZ MONEO, M. (1999).
Conocimiento previo y cambio conceptual. Buenos Aires: Aique.
- ROSENBERG, N. (1976).
Problemas del economista en la conceptualización de innovación tecnológica. En N. Rosenberg. *Tecnología y economía*. Barcelona: Gustavo Gili.
- RUFFIER, J.(1996).
La eficiencia productiva: cómo funcionan las fábricas. Montevideo: CINTERFOR – OIT.

- RUMELHART, D.E. y ABRAHAMSON, A. .A. (1973).
A model for analogical reasoning. *Cognitive Psychologie*, 5, 1-28.
- RUSELL, S.Y NORVIG, P. (2003).
Inteligencia artificial: Un enfoque moderno. Madrid: Pearson
- SCHÖN, D. A. (1983).
El profesional reflexivo. Cómo piensan los profesionales cuando actúan. Barcelona: Paidós.
- SIMON, H.(1973-1978)
Las ciencias de lo artificial. Barcelona: ATE.
- SIMON, H. (1973-1978b)
La ciencia del diseño. En H. Simon. Las ciencias de lo artificial. Barcelona: ATE.
- SIMON, H. Y NEWELL, A. (1964).
Procesos de la información en el computador y en el hombre. En H. Aiken, Ch. Babbage, J. von Neumann y otros. *Perspectivas de la revolución de los computadores*. Madrid: Alianza.
- SIMONDON, G. (1958)
Du mode d'existence des objets techniques. Paris: Aubier-Montaigne.
- SLOMAN, A. (1971).
Interactions between philosophy and Artificial Intelligence. The role of intuition and non-logical reasoning in intelligence. In *Proceedings 2nd IJCAI* (1971). En <http://www.cs.bham.ac.uk/research/projects/cogaff/sloman-analogical-1971.pdf>
- SLOMAN, A. (1978).
The computer revolution in philosophy: Philosophy science and models of mind. Great Britain: The Harvester Press Limited. En <http://www.cs.bham.ac.uk/research/projects/cogaff/crp/>
- SOLOMON, J. (1983).
Learning about energy: how pupil think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5 (1), p. 49-59.
- SPEARMAN, Ch. (1927).
Las habilidades del hombre. Su naturaleza y medición. Buenos Aires: Paidós.
- SUSSMAN, G. J. AND BROWN, A. L. (1974).
Localization of failures in radiocircuits. A study in causal and teleological reasoning. Memo N° 319. Massachusetts: MIT.
- THAGARD, P. (2005).
La mente. Buenos Aires: Katz editores.
- THAGARD, P., HOLYOAK, K.J.; NELSON G.; GOCHFELD, D. (1990).
Analog retrieval by constraint satisfaction. En *Artificial Intelligence* 46 (1990) 259-310.

- TOMASELLO, M. (1999)
Los orígenes culturales de la cognición humana. Buenos Aires: Amorrortu.
- TURING, A.M. (1950).
Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59, 433-460.
En: <http://www.loebner.net/Prizef/TuringArticle.html>
- TURNEY, P. D. (2005)
Similarity of semantic relations. *Computational linguistics*, V1, N°1.
- TVERSKY, A. (1977).
Features of Similarity. En: <http://originresearch.com/documents/tversky1.doc>
- VICO, G. (1744).
Ciencia nueva. Madrid: Ediciones Orbis.
- VOSNIADOU, S. (1999).
Conceptual change research: State of the art and future directions. En W. Schnotz, S. Vosniadou and M. Carretero. *New perspectives on conceptual change*. Oxford: Pergamon.
- WALLON (1945/1963).
Los orígenes del pensamiento en el niño. (T 2 , Capítulo II: La comparación)
- WEILL-FASSINA, A., RABARDEL, P., DUBOIS, D. (1993).
Représentations pour l'action. Toulouse. Octares.
- WERTSCH, J. V. (1998).
La mente en acción. Buenos Aires: Aique.
- WIENER, N. (1948/1961).
Cibernética o El control y comunicación en animales y máquinas. Barcelona: Tusquets.
- WOLFF, W. (1946).
La personalidad del niño en edad preescolar. Buenos Aires. EUDEBA.
- WOLFF, P. Y GENTNER, D. (2000).
Evidence for role - neutral initial processing of metaphors. *Journal of experimental psychology, learning, memory and cognition*. Vol 26, N° 2, pag. 529- 541.
- WOODWORTH, R. S. Y SCHLOSBERG, H. (1962).
Psicología experimental. Buenos Aires: EUDEBA.
- ZIMAN, J. (2000).
Technological innovation as an evolutionary process. Cambridge: CUP.

ANEXO

