

PSICOLOGÍA COGNITIVA, REPRESENTACIONES MENTALES E INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS¹

(Cognitive Psychology, Mental Representations and Science Teaching)

Maria Rita Otero [rotero@exa.unicen.edu.ar]

Departamento de Formación Docente

Facultad de Ciencias Exactas.

Universidad Nacional del Centro

(7000) Tandil, Buenos Aires, Argentina

Resumen

El trabajo se propone contribuir a la fundamentación teórica en investigación en enseñanza de las ciencias. Se analizan algunas teorías cognitivas relacionadas al enfoque computacional y las representaciones mentales que proponen para explicar los procesos cognitivos. Se discuten vinculaciones entre Psicología Cognitiva y constructivismo y se realizan implicaciones para la investigación.

Palabras-claves: constructivismo, representaciones mentales.

Abstract

The aim of this paper is to contribute to the theoretical foundation in science teaching research. Some cognitive theories related to the computational approach and the mental representations they propose to explain the cognitive processes are analyzed. Links between cognitive psychology and constructivism are discussed and implications for research are carried out.

Keywords : constructivism, mental representations.

Introducción

La búsqueda de un marco teórico amplio para describir los procesos cognitivos vinculados al aprendizaje de las ciencias, es algo que ha ocupado desde siempre a nuestra comunidad de investigadores. Recientemente, luego de más de una década de investigaciones en torno al cambio conceptual, que no consiguieron los resultados esperados, han cobrado fuerza creciente referenciales teóricos más próximos al subparadigma computacional en Psicología Cognitiva, como por ejemplo la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird.

Este trabajo analiza las relaciones que algunos referenciales constructivistas, que han orientado las investigaciones en nuestro campo, tendrían con las teorías que centran el estudio de la cognición en la construcción de representaciones mentales proposicionales y analógicas, dentro del ámbito cognitivo más computacional. Se ejemplifica esta relación considerando la Teoría de la Redescipción Representacional de Annette Karmiloff-Smith (1994), quien adopta un enfoque genético para el estudio de la cognición.

Inicialmente, se consideran las características que algunos autores como Gardner (1987) y Riviére (1987) atribuyen al enfoque cognitivo en sentido amplio. Intentamos mostrar la convergencia y las diferencias de ciertos marcos que admiten la etiqueta de cognitivos a aunque usualmente se presuponen muy distantes. Se trata de un análisis en sentido amplio y se asume el carácter de categoría natural, de bordes imprecisos, del término Psicología Cognitiva.

¹ Trabajo invitado.

Fundamentalmente se enfoca el análisis en las representaciones de carácter analógico: Modelos Mentales e Imágenes que están orientando actualmente algunas investigaciones en Enseñanza de las Ciencias (Greca I. y Moreira M. A., 1996 a; Greca I. y Moreira M. A., 1996 b; Otero M. R. y Banks Leite L., 1998 b; Otero M. R. y Moreira M. A., 1999). La razón de este énfasis es sugerir la relevancia y potencialidad de estos constructos para realizar investigaciones en este campo.

1. Cognitivismo y constructivismo: diferenciaciones y reconciliaciones

En esta sección se discuten algunas relaciones entre el enfoque cognitivo y el enfoque constructivista. Si aceptamos que la condición esencial al constructivismo en un sentido amplio, es la consideración de la actividad del sujeto en la adquisición de conocimiento, entonces deberemos conceder que todo el enfoque cognitivo es constructivista. Es decir toda posición teórica que establezca que no conocemos el mundo directamente sino que lo representamos por medio de símbolos, esquemas, operaciones, modelos mentales, imágenes, proposiciones, conceptos, estará centrando el análisis en alguna clase de actividad organizadora del sujeto y diferenciándose de la tesis empirista.

Esta función organizativa establece cierta cuestión estructural en el funcionamiento cognitivo, que resulta regulado por estructuras operatorias, guiones, esquemas, modelos mentales, procesos psicológicos superiores, redescrición representacional, planes, marcos, etc. La idea de almacenamiento de información, consubstancial al paradigma cognitivo, supone cierta organización de la estructura cognitiva, que está claramente en contra de una visión meramente acumulativa. Cuando se analiza la procedencia de esta función organizativa y según los orígenes que se admitan, empiezan a plantearse diferenciaciones. La organización podría ser *a priori*, como la del sujeto kantiano, podría ser innatamente establecida como las formas asociadas al lenguaje del sujeto fodoriano, podría ser construida en interacción dialéctica entre el sujeto y el objeto, como en el caso de la epistemología genética y de la escuela socio-histórica, podría ser adquirida como en el caso ausubeliano, o funcional como en la propuesta de Johnson-Laird.

En todos los casos es el sujeto quien elabora las representaciones y las entidades mentales y son estas representaciones las que determinan las formas de actividad subjetiva, es decir que la conducta está regulada y regida por ellas y no por el ambiente externo. En general, se admite que todo el paradigma cognitivo se caracteriza por otorgar cierta preponderancia al sujeto en el acto del conocimiento y se inserta en la tradición racionalista. Lo que varía considerablemente, desde las posiciones más cercanas al procesamiento de la información de base asociacionista, hasta posiciones más constructivistas es el concepto de **actividad**. Una cosa es procesar información y otra muy diferente construir significados, las informaciones se miden en términos de probabilidad matemática, los significados necesitan de una mente que los interprete. Los significados se constituyen a partir de intentos de transformar la realidad, las informaciones simplemente la reproducen.

Para algunos autores como Cellier (1979) y Castorina (1989), sólo la tradición piagetiana es genuinamente constructivista y por tanto hay diferencias entre las posturas de base cognitiva y la psicogenética. La diferencia reside en la relación dialéctica sujeto – objeto y en lo que se pretende explicar. Mientras en un caso se explica la microgénesis de las conductas, es decir como las representaciones mentales dan cuenta de la actuación o la controlan, en la Epistemología Genética se explica la macrogénesis, es decir como se construye conocimiento, a partir de la coordinación de las acciones. Es difícil distinguir con claridad dónde termina una tradición y comienza la otra. En general hay bastante acuerdo en que el enfoque cognitivo se interesa por el estudio de las

representaciones mentales (Gardner, 1987) y que a grandes rasgos tiene las siguientes características:

1. enraizamiento en los problemas filosóficos clásicos,
2. tendencia a mantener relaciones interdisciplinarias,
3. establecimiento del nivel de análisis en las representaciones mentales,
4. poca importancia a la influencia del afecto, el contexto, la cultura, y la historia en el conocimiento humano,
5. influencia en mayor o menor grado de la metáfora del ordenador.

Exceptuando la última, casi todas pueden ser compartidas en sentido amplio por los intentos europeos de estudiar la cognición como los de Vigotsky, la Gestalt, Bartlett y Piaget. Como señala Carretero (1997: 65) la llamada “revolución cognitiva” no ocurrió en Europa sino en el ámbito anglosajón, porque los investigadores del continente no necesitaban ser convencidos de la necesidad de estudiar los procesos superiores o de tomar en cuenta las formas de organización interna del sujeto, porque ya lo hacían desde hacía tiempo.

Con respecto a las representaciones, proliferan una variedad de constructos que responden a diferentes abordajes teóricos de mayor o menor envergadura. Según Riviére (1987) la Psicología Cognitiva refiere sus explicaciones a **constructos de naturaleza mental** que tienen un nivel de **discurso propio**, en el que podrían incluirse, las **operaciones y estructuras** de las que nos hablan los miembros de la Escuela de Ginebra, las **representaciones proposicionales** de Physylyn, las **imágenes mentales** de Kosslyn o Shepard, los **esquemas** de Rumelhart, los **scripts** de Chunk y Abelson, los **sistemas de producción** de Anderson, los **modelos mentales** de Johnson-Laird, las **representaciones de nivel implícito y explícito** de Karmiloff-Smith, las **representaciones icónicas y simbólicas** de Bruner, los **subsumidores** de Ausubel y los **signos e instrumentos** de Vigotsky.

La referencia a un **discurso propio**, significa que las explicaciones de la conducta se plantean en un nivel diferenciable de los planos de conciencia, de las relaciones externas entre medio y conducta y de los procesos neurofisiológicos y socioculturales, que sitúa la explicación del comportamiento cuando el sujeto recuerda, reconoce, razona, comprende, en el plano de las estructuras y representaciones mentales que tienen cierto grado de autonomía funcional. La autonomía funcional de la que habla Riviére se refiere a que en la conducta se dan generalidades y regularidades que van más allá de las formas de asociación, de las relaciones de probabilidad entre conducta-medio, o del nivel neurofisiológico.

Lo referido hasta ahora como ámbito de la psicología cognitiva, establece la necesidad de un organismo que pone de su parte alguna estructura organizativa, que agrega algo que no está en la energía Física de los estímulos del medio y que complementa las funciones “bottom-up” con procesos “top-down”, que no serían explicables sin las estructuras de representación del propio organismo. Las entidades mentales son formas de organización interna, que serían irreconocibles si no hubiese algún tipo de proceso “top down” en el sujeto. Cada subparadigma dentro de la Psicología Cognitiva, establecerá sus propias formas de organización y creará sus propios compromisos.

Existe cierta necesidad de que tales formas se organicen a partir de una cierta sintaxis, gramática o lógica, importándose estos términos de otras ciencias y constituyendo lo que de Vega ha dado en llamar el metapostulado logicista en Psicología Cognitiva que establece que *“las representaciones y/o procesos mentales humanos son isomorfos con respecto al los sistemas formales lógico-matemáticos (vg. Lógica de proposiciones moderna y lógica de predicados de primer orden)”* (de Vega, 1981:3). En esta línea ha existido cierta concepción racionalista del sujeto cognitivo,

postulada tanto desde la escuela de Ginebra como desde los enfoques más próximos al procesamiento de la información y los proponentes de las teorías de reglas de inferencia.

Actualmente, esto también está cambiando a partir de la formulación de teorías denominadas no-racionalistas como la teoría de los Modelos Mentales para el Razonamiento de Johnson-Laird, que establecen que razonamos de modo analógico y no lógico. El abandono del ideal logicista del sujeto cognitivo no implica renunciar al objetivo de describir sus formas de organización. Esto último tampoco supone un compromiso con una concepción racionalista, aunque es innegable la influencia que esta ha tenido en el paradigma dominante (Riviere, 1987).

Contrariando el ideal logicista, Johnson-Laird plantea la necesidad de llevar en cuenta el carácter fuertemente analógico de nuestros pensamientos, postulando que el sistema cognitivo puede tener un desempeño lógico sin utilizar ninguna regla lógica en el proceso de inferencia. Este abordaje establece también a diferencia del piagetiano, la relevancia de los aspectos figurativos o analógicos por sobre los lógicos. Johnson-Laird (1996:92) postula y fundamenta empíricamente la existencia de un *"pequeño número finito de diferentes clases de representación, que incluye representaciones proposicionales, imágenes y modelos mentales"*. En la sección siguiente nos vamos a centrar en el constructo imagen y en las diferentes maneras en que ha sido abordado en la Psicología Cognitiva.

2. Las imágenes

Si bien muchas personas relatan la experiencia de tener imágenes mentales, fundamentalmente de tipo visual, ha costado mucho que las imágenes alcancen el rango de constructo científico. Actualmente hay bastante consenso en Psicología Cognitiva acerca de que las imágenes son representaciones analógicas con una similitud estructural con aquello que representan y no meras experiencias subjetivas, cuyo sustrato corresponde a un código abstracto e inaccesible a la conciencia.

Las imágenes no son sólo un tipo de código destinado a favorecer el recuerdo, sino que parecen desempeñar un papel central en el pensamiento creativo. Las imágenes permitieron a Galileo y Einstein, realizar "experimentos mentales" que les proporcionaron los fundamentos conceptuales para sus teorías físicas (Holton, 1972; Shepard, 1978). La elaboración matemática de la teoría de la relatividad de Einstein fue posterior al proceso de comprensión visual, el mismo asegura: "mi capacidad, mi destreza particular, reside en visualizar los efectos, consecuencias y posibilidades..." (Holton, 1972:110). El carácter dinámico y flexible de las imágenes las hace un instrumento idóneo para generar "modelos espaciales" que puedan dar lugar a auténticos descubrimientos.

Durante bastante tiempo las imágenes fueron desestimadas como objeto de estudio. En el siglo XIX, Galton solicitó a un grupo de científicos y universitarios que formaran una imagen de su mesa de desayuno y la describiesen, como la mayoría de los sujetos fracasaban en la tarea concluyó que las imágenes eran una mera invención de los poetas. Un escepticismo similar lo encontramos en Watson, que considera a las imágenes como supersticiones de "nuestro fondo salvaje". En 1948, en plena vigencia del conductismo, Tolman publicó el artículo "Mapas cognitivos en ratas y hombres" enfrentándose a las interpretaciones conexionistas del aprendizaje de laberintos. En su lugar propone un tipo analógico de representación denominado mapa cognitivo, que guía la conducta del organismo en su medio. Sus resultados se adelantan dos décadas a las investigaciones sobre mapas cognitivos de Kosslyn y otros.

El inicio de una etapa de investigación sistemática en torno a la imagen tiene lugar cuando Paivio publica en 1971 su obra "Imagery and verbal processes". Paivio sostiene la existencia de dos

formatos representacionales: el sistema verbal y la imaginación. Ambos sistemas están estrechamente interconectados y actúan conjuntamente pero tienen propiedades estructurales y funcionales diferentes. La hipótesis dual de Paivio establece las propiedades diferenciales entre las imágenes y el sistema verbal, que permitirían justificar la dualidad de constructos.

En la descripción de Kosslyn (1996:5) una representación proposicional es una "sentencia mental" que especifica el significado de una oración; puede contener una relación que suele llamarse predicado y estar compuesta de una o más entidades llamadas argumentos. Los elementos básicos de una representación proposicional son símbolos, pero no se trata de una oración en el lenguaje natural. La notación y terminología que utiliza permiten inferir que Kosslyn adopta la lógica de predicados para las representaciones proposicionales.

En términos generales, las representaciones proposicionales son consideradas como entidades **explícitas, discretas, abstractas y semánticas** (de Vega, 1984:263) que representan el contenido ideacional de la mente en una forma que no es específica de ningún lenguaje. Su carácter abstracto reside en que no se trata de representaciones análogas como un dibujo o una imagen, el carácter **semántico significa que representan conceptos y relaciones entre ellos**. Las representaciones proposicionales son amodales, es decir no están ligadas a ninguna modalidad sensorial específica, mientras las representaciones analógicas sí lo están. Por ejemplo las imágenes pueden ser visuales, auditivas o táctiles. Son discretas porque se componen de elementos discretos, mientras las imágenes son continuas. Las proposiciones poseen una determinada estructura sintáctica, que se fija a partir de reglas, sin embargo esta estructura es arbitraria, podría ser cualquier otra en la medida en que no se requiere un paralelo con la realidad.

Las imágenes son un formato representacional o una clase de estructura de datos de nuestro sistema cognitivo, decir que el formato de imágenes es analógico implica que la imagen de un objeto tendrá que parecerse en forma, tamaño y orientación a aquello que se está representando. Las investigaciones de Kosslyn, basadas en la idea anterior, estudian los procesos que se dan en la memoria activa (MCP), que es una memoria operativa en la que se seleccionan, organizan y ejecutan heurísticas de resolución de problemas y toma de decisiones. La generación, recuperación exploración, interpretación y las transformaciones dinámicas de imágenes se resuelven en MCP. Las personas elaboran imágenes mentales (Shepard, 1978; Kosslyn, 1986, 1996) pudiendo someterlas a una transformación mental, estructural y funcional. **Este carácter transformador de las imágenes es extraordinario y a diferencia de la percepción visual no depende del ambiente, es claramente constructivo.**

Hay un debate psicológico en torno a las representaciones mentales, protagonizado por imagistas versus proposicionalistas. El primer grupo con defensores como A. Paivio, R. Shepard y S. Kosslyn (apud. Johnson Laird, 1983:147), sustenta que las imágenes son representaciones tipo escena y que son bastante diferentes de las representaciones proposicionales. El segundo grupo integrado por Baylor, Z. Pylyshyn y Palmer (apud. Johnson-Laird, 1983:147), argumenta que las imágenes son epifenómenos y que existe una única forma básica de representación mental: la proposicional. Esta discusión tiene antecedentes filosóficos y epistemológicos antiguos desde los empiristas Locke, Hume y Berkeley, hasta los más recientes filósofos del lenguaje como Wittgenstein.

Para Kosslyn (1986) los argumentos contra la imagen se originan en una concepción equivocada de la metáfora de la figura. A partir de la analogía entre la visión y el imaginamiento, se infiere que las imágenes se perciben como figuras y se almacenan en la memoria, como si fueran una fotografía instantánea que se guarda en un álbum de fotos. Luego, experimentar una imagen consistiría en recuperar y examinar una de estas fotografías mentales. Por el contrario, **las imágenes** pre-organizan los objetos y sus propiedades, cuando se recupera parte de una imagen, no es una

parte aleatoria, no es como romper un rincón de una foto en la cabeza. Más **bien las imágenes parecen organizarse en partes de significado**, que se recordarán en términos de relaciones espaciales a través de ellas.

En la contienda proposicionalistas-imagistas, las proposiciones se consideran apropiadas para representar el conocimiento, porque lo que conocemos del mundo es un conjunto de hechos o afirmaciones que tendrán un valor de verdad. Por el contrario, al considerar a las imágenes como "figuras mentales", y asociándolas al argumento de Wittgenstein, (no hay nada intrínseco en un dibujo de un hombre subiendo una colina que prevenga a uno de interpretarlo como una figura de un hombre deslizándose colina abajo, caminando hacia atrás) se concluye su insuficiencia para representar conocimiento sobre el mundo. En realidad, la mera posesión de representaciones formales o analógicas no constituye conocimiento, porque en ambos casos se requiere de una **mente que las interprete**. Lo importante es que las imágenes **pueden contener información desde la que el conocimiento puede ser derivado**.

Las imágenes visuales se parecen a la experiencia real de ver algo, en el caso de imágenes mentales, estas representaciones se **recuperan o se forman** en la memoria y no de la estimulación sensorial inmediata. En este sentido, suele hablarse de "los ojos de la mente" como un procesador que interpreta las representaciones casi-pictoriales, (es decir aquellas que subyacen a nuestra experiencia perceptual) en términos de categorías conceptuales.

Cuando este proceso interpretativo se aplica a recordar información perceptual en lugar de información que viene de los sentidos, entonces lo que se experimenta es una imagen en lugar de un percepto. **La percepción** es un proceso de reducción de información en el cual un conjunto caótico de sensaciones son reducidas a una forma más simple y organizada, **este proceso reorganizativo** genera nuestras percepciones estructurándolas en unidades correspondientes a objetos y a propiedades de los objetos. Estas grandes unidades pueden ser almacenadas y más tarde ensambladas como imágenes, que se experimentan como entidades casi pictoriales.

Según Kosslyn, (1986:32) las imágenes:

- 1) No contienen relaciones distintivas identificables, las relaciones sólo emergen del conglomerado de componentes que se están representando.
- 2) No contienen argumentos primitivos discretos, los componentes de una imagen no son entidades discretas que se relacionan unas con otras de maneras precisas. Una imagen de una caja, puede descomponerse en caras, bordes, etc., pero estos no son argumentos elementales de ella.
- 3) No parecen tener una sintaxis. Cualquier sintaxis que establezca que una figura está "bien formada", dependerá de alguna clase de interacción con componentes semánticos, una imagen es una "imagen de". Es posible crear figuras no condicionadas por las leyes que regulan la naturaleza de los objetos de mundo, como las figuras imposibles de Escher. **El significado de una imagen se asigna por procesos que trabajan por encima de la representación y no son inherentes a la representación en sí.**
- 4) Las imágenes no son abstractas en el sentido en que lo son las proposiciones. Una imagen de un dibujo será diferente si proviene de una descripción hablada o desde otra imagen.

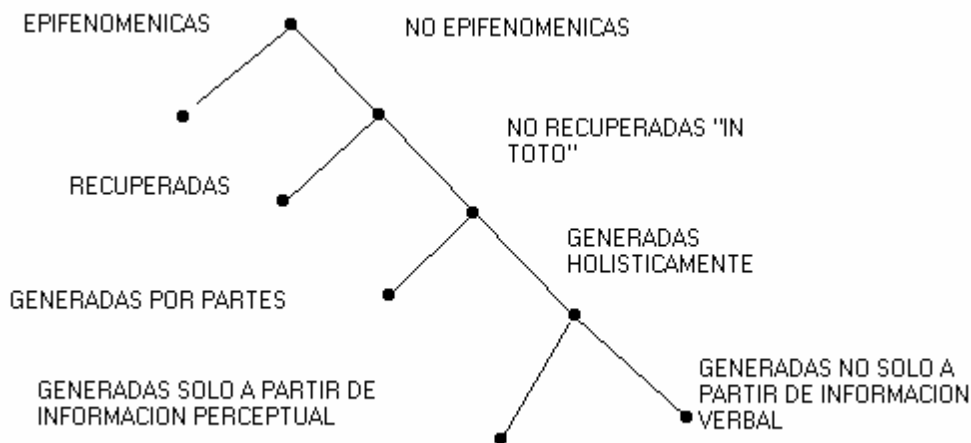
Las **imágenes visuales**, son especiales ya que parecen "pintar" información y tienen las siguientes propiedades:

- 1) Ocurren en un medio espacial, posiblemente similar al espacio de coordenadas Euclídeo. Esto no significa que literalmente exista una pantalla en la cabeza sino que el modo de acceso a la información parece preservar las dimensiones del espacio físico. Un ejemplo de esto es un arreglo bidimensional simple almacenado en la memoria de una computadora, no hay una

matriz física en el banco de memoria, pero por la manera en que las celdas son recuperadas se podría hablar de relaciones entre celdas, como adyacencia, distancia u otras propiedades geométricas.

- 2) Las imágenes son patrones formados por alteración del estado local de las regiones en el medio espacial interno. El patrón es un mapa topográfico del objeto representado tal que: a) cada porción local (conjunto de puntos contiguos) de la imagen corresponde a una porción local del objeto como se vería desde un punto de vista particular, y b) el intervalo de relaciones entre las porciones de la imagen representa implícitamente el intervalo de distancias entre las correspondientes partes del objeto representado.
- 3) Las imágenes no solo dibujan información sobre el espacio extendido sino también sobre la apariencia de las propiedades superficiales de los objetos, como textura y color.

Lo más relevante de las afirmaciones realizadas, es que además de establecer propiedades de la representación en sí, establecen que existe un proceso interpretativo para "ver" las propiedades. El siguiente diagrama sintetiza los resultados empíricos obtenidos por Kosslyn y luego simulados en su modelo computacional.



El primer nodo **afirma que las imágenes no son epifenómenos**, existe evidencia empírica acerca de que: 1) la imagen es cuasipictórica porque reproduce gráficamente aquello que representa, 2) si la imagen representa un objeto, el tamaño y la orientación del mismo deben representarse en ella y además deben afectar el procesamiento de la información, 3) si la imagen reproduce la extensión espacial, entonces debería preservar las distancias métricas entre las partes de los objetos y esto debería afectar el tiempo de procesamiento 4) si las imágenes tienen extensión espacial, entonces deberían poseer también límites espaciales y “desbordarse” en el procesamiento.

El segundo nodo del árbol indica que las imágenes se almacenan y se recuperan secuencialmente en la memoria. Esto no implica que las partes no se almacenen como unidades o totalidades de significado, según lo establece el tercer nodo. La explicación acerca de cómo se construyen imágenes a partir de unidades significativas almacenadas en la memoria de largo plazo, es un aspecto que la teoría debe aún explicar.

El último nodo se relaciona con el origen de las imágenes, la cuestión abordada es si las imágenes se construyen sólo a partir de la integración de unidades perceptuales o si la construcción de una imagen refleja una interacción entre información descriptiva y perceptiva. La teoría del procesamiento de imágenes debe poder explicar como se efectúa esa interacción, es decir cómo construir una imagen a partir de la información almacenada en la memoria y cómo utilizarla en tareas cognitivas.

3. Imágenes y desarrollo cognitivo

El trabajo de Kosslyn muestra cierto interés por el desarrollo cognitivo:

"Una caracterización rica del procesamiento adulto, podría revelar coyunturas en las que el desarrollo tendría lugar y ayudar a formular interesantes hipótesis del desarrollo. desarrollaré estas ideas dentro del contexto de un hecho particular, que llamo "hipótesis del desarrollo representacional". De acuerdo con esta hipótesis, los niños pequeños dependen predominantemente de imágenes cuando acceden a la información almacenada en la memoria, mientras que la gente mayor tiende a utilizar más proposiciones abstractas o representaciones verbales."(Kosslyn, 1986:407).

La hipótesis del desarrollo representacional involucra tres aspectos:

- 1) El tipo de representación interna que se usa predominantemente, cambia con la edad.
- 2) Las formas ontogenéticas tardías de representación son más poderosas que las formas tempranas.
- 3) Las formas tempranas de representación no desaparecen, son complementadas por las tardías, pero estas últimas tienden a eclipsar a las anteriores.

Estas son afirmaciones acerca del cambio en el formato representacional con la edad, **no cambios en los contenidos de las representaciones**. El formato determina la manera en que la información se representa y el tipo de código utilizado, para Kosslyn cualquier información puede representarse en una variedad de formatos que pueden ser más o menos eficientes. El análisis concierne sólo a un caso posible de desarrollo representacional: la supuesta transición desde un modo representacional predominantemente basado en imágenes a una creciente dependencia con representaciones proposicionales / verbales.

Varios teóricos han afirmado que los niños pequeños basan sus representaciones en imágenes, mientras la gente adulta, usualmente piensa sobre la base de representaciones más abstractas de una u otra clase (por ejemplo Bruner, Olver y Greenfield, 1966; Church, 1961; Kosslyn and Bower, 1974; Piaget e Inhelder, 1971). Las dos formulaciones más importantes de la Hipótesis del Desarrollo Representacional, fueron adelantadas por Bruner, Olver y Greenfield (1966) y por Piaget e Inhelder (1971).

Bruner, Olver y Greenfield (1966) afirman que los niños comienzan con representaciones en acto, que se emplean para representar acciones o un objeto. Este sería el único formato hasta el fin del primer año de vida. Un segundo estadio en la representación emerge cuando un niño comienza a ser capaz de representar el mundo por la vía imaginaria, que es relativamente independiente de la acción. Esta representación icónica es similar a **"un dibujo en la cabeza"**. Esta forma de representación, domina el pensamiento del niño hasta la edad de 7 años o más. La representación icónica se considera como el origen de la inflexibilidad del pensamiento del niño, las imágenes son concebidas como **estáticas y relativamente integrales**, el niño no puede relacionar las partes independientemente con el todo, a causa de estas propiedades. Más aun el pensamiento abstracto no puede tener lugar si **únicamente** estas clases de representaciones están disponibles. El lenguaje es usado en el razonamiento abstracto sólo después que el estadio simbólico es alcanzado. En este estadio, el niño adquiere un "sistema simbólico" caracterizado por: categorialidad, jerarquía precisión, causación y modificación.

Según Bruner y sus colegas, el desarrollo de estas nuevas clases de representaciones es una consecuencia de la desequilibración y del intento de resolver conflictos entre sistemas de

representación. Si bien Bruner usualmente se refiere a la representación **icónica** como si fuera una pintura interna (y la usa como un constructo explicativo basado solamente en esta metáfora), hace notar al pasar que las representaciones icónicas son parcialmente simbólicas y no es claro cómo los símbolos son representados internamente, su descripción de los mecanismos responsables de la representación es débil. Para Bruner (1966) *"Suele haber un conflicto entre apariencia y realidad, una deviene icónica y la otra simbólica"*, para resolver este conflicto el niño debe desarrollar una nueva forma de representación: la simbólica, como complemento de la icónica.

Piaget e Inhelder afirman que los niños pequeños en el período sensoriomotor, representan objetos en términos de las acciones que pueden ser realizadas sobre ellos. Las imágenes no son usadas como representaciones internas hasta que los niños rondan el año y medio de edad. Antes del advenimiento de imágenes, **el pensamiento del niño es como si fuera "presentacional"**, sólo opera con objetos presentes. Después que la representación (imágenes, imitación, juego) se hace posible, en el período preoperatorio, el niño es considerado como **representacional**, capaz de pensar las cosas en su ausencia. Para Piaget e Inhelder las imágenes son "imitaciones interiorizadas" y no derivan de la percepción, por el contrario son el resultado de la interiorización de la lógica de las acciones.

Alrededor de los 18 meses el niño puede realizar una imitación diferida, esto sugiere a Piaget que el niño ha progresado en el pensamiento y puede imaginar e imitar cosas y acciones. Más aún, **en contraste con la concepción de Bruner, Piaget e Inhelder enfatizan que la imagen misma cambia con la edad y que la manera en que las imágenes representan información cambia en el curso del desarrollo.** Después de los siete u ocho años de edad, las denominadas operaciones concretas son utilizadas conjuntamente con la imaginación, **las imágenes se vuelven anticipatorias, capaces de ser transformadas según las expectativas, antes de esta edad las imágenes eran meramente reproductivas y estáticas.**

Según Kosslyn (1986) las imágenes serían **necesariamente usadas cuando una persona es interrogada acerca de un objeto concreto y nunca tuvo la información necesaria para responder, almacenada explícitamente en un archivo proposicional del objeto, ni puede deducirla a partir de otro archivo proposicional.** Mas aún si el procesamiento proposicional es relativamente lento, se usarán imágenes porque el procesamiento de una imagen deja fuera de competencia al procesamiento proposicional. **Si pocos hechos se codifican explícitamente, o si la deducción es difícil, las imágenes serán usadas crecientemente.** Entonces, posiblemente el aprendizaje reflejado en el incremento del desarrollo proposicional y la maduración (que provee más capacidad de procesamiento y mayor facilidad para la deducción) podrían conducir al uso reducido de las imágenes.

Según Kosslyn, a medida que se incrementa el uso de un hecho particular, se vuelve más probable que el hecho esté codificado en un archivo proposicional apropiado. Es decir, una forma del desarrollo de la memoria, consiste en recodificar información en una forma proposicional cuando se accede a esa información repetidamente. Esta idea de recodificación conduce a esperar que los hechos a los que se accede frecuentemente, serán representados en un formato explícito y no requerirán imágenes.

La afirmación básica de la hipótesis del desarrollo representacional, se refiere a si el pensamiento del niño depende o no, del uso de imágenes. Si el sujeto tiene pocas representaciones en otros formatos no hay mucha elección acerca de cual clase usa. Pero aún si otras clases de representaciones están disponibles para usar, el niño podría tender a utilizar imágenes de cualquier modo. Para Kosslyn, la hipótesis del desarrollo representacional no afirma que los niños siempre usan imágenes, sería sorprendente que no memorizaran ocasionalmente entradas lingüísticas

(especialmente cuando se les describe algo). Su *afirmación es que los niños pequeños basan predominantemente sobre imágenes* el acceso al uso de información en la memoria.

Según Kosslyn la formulación tradicional de la hipótesis del desarrollo representacional se potencia en la idea de que sólo hay dos formas de representar información internamente: imágenes y palabras. Esto posibilita la ocurrencia de cambios en la representación formal con la edad, si sólo hubiera una clase de representación, únicamente el contenido y la organización de las proposiciones en la memoria podría modificarse con el desarrollo. Algunos trabajos muestran (Conrad, 1971; Flavell, 1970) que por encima de los siete años, los niños emplean espontáneamente la mediación verbal cuando se les pide recordar algún conjunto de estímulos, mientras los más pequeños no verbalizan espontáneamente. Esto ha sugerido que los pequeños codifican en la memoria imágenes de los estímulos, sobre la base de que la memoria tendría dos formatos: lingüístico y de imágenes, si uno no se usa, entonces el otro está implicado por defecto. El hecho de que la codificación verbal de información pueda no usarse espontáneamente en los niños pequeños, no permite concluir que se usan imágenes.

El supuesto implícito de que una imagen es estática como una foto, se presenta de modo circular, cuando se asume una conducta como indicador del uso de imágenes y en virtud de la naturaleza estática de la conducta, se infiere el carácter estático de la imagen. Para Kosslyn no hay razón para suponer que la imagen tenga propiedades estáticas en ninguna edad. Es una cuestión empírica si las imágenes son estáticas, dinámicas, en flujo, existentes, inexistentes o lo que sean, a diferentes edades. Esta objeción puede hacerse a Piaget e Inhelder, ellos afirman que las imágenes son estáticas hasta que el niño tiene las operaciones concretas, es decir las competencias operatorias para transformar sus imágenes. Las dificultades del pensamiento de los niños pequeños para efectuar transformaciones, se atribuyen a su dependencia con los aspectos figurativos (imaginación, imitación, juego), destinados a **representar** la realidad, mientras no se dispone de las operaciones que permiten **transformarla**.

Kosslyn investigó la afirmación de que los niños pequeños recuperan información de la memoria usando imágenes más que los adultos, explotando la idea de que el tamaño de una imagen afecta el tiempo para ver una propiedad. Cuando pide a la gente que decida si un objeto tiene alguna propiedad, encuentra que la información es recuperada de representaciones abstractas, mas rápidamente que desde imágenes. Al parecer esto se relaciona con el hecho de que las representaciones proposicionales están organizadas en listas de más fácil acceso y las imágenes no se recuperan directamente sino que para ser generadas tienen que ser previamente inspeccionadas. Si los niños dependen predominantemente de imágenes para representar información en memoria, y a la vez desarrollan representaciones abstractas con la edad, sería esperable que si no se les pide que usen una manera particular de recuperar información, utilicen la estrategia más eficiente de acceso que tengan disponible, incluso recuperar información almacenada en un formato proposicional. Los niños más pequeños, en contraste, pueden no tener demasiado de su conocimiento representado proposicionalmente, y depender fundamentalmente del acceso a imágenes.

Los resultados experimentales de Kosslyn (1986) muestran que el tiempo para ver una propiedad decrece con la edad cuando no se solicita usar imágenes. Esto se explica postulando que el número de entradas en las listas proposicionales, crece con la edad y cada entrada se busca mas fácilmente que lo que se demora en generar e inspeccionar una imagen. Además que los niños pequeños dependan más de imágenes que los adultos, es esperable si ellos tienen menos entradas en sus listas proposicionales y están menos acostumbrados a resolver deducciones que los adultos.

La teoría predice que se tienda a usar imágenes en algunas situaciones pero no en otras, la probabilidad de que las imágenes se usen en una tarea dada depende parcialmente de la propia familiaridad con un area de contenido y de como uno ha usado la información en el pasado (tal como hablar acerca de eso). Las diferencias encontradas entre chicos y adultos, no implican que los

chicos usen imágenes mas que los adultos en todos los contextos. Kosslyn considera probable que factores como el afecto asociado con una particular información, influyeran en la manera en la cual la información se recupera. Por ejemplo un adulto podría usar imágenes cuando piensa en una atractiva persona del sexo opuesto- aunque haya adecuada codificación proposicional del procesamiento de información que pudiera evitar su uso. En contraste, un niño, podría no estar muy inclinado a usar imágenes en tales contextos, y a usarlas cuando piensa en juguetes, tortas de chocolate, o cumpleaños. En síntesis sus hallazgos establecen que:

- 1) Cuando se les pide para usar imágenes, los chicos y los adultos requieren cantidades similares de tiempo para ver las propiedades, mientras cuando se les deja usar sus propias estrategias, los adultos son mucho más rápidos que los chicos en verificar propiedades.
- 2) Aún cuando los niños pequeños no sean explícitamente instruidos para usar imágenes, el tamaño de la propiedad tiene algunos efectos en el tiempo que ellos requieren para verificarla.
- 3) Los niños pequeños requieren mas tiempo que los adultos para ver propiedades pequeñas de imágenes en comparación al tiempo que requieren para ver las mayores.
- 4) El tiempo requerido para verificar propiedades decreció con la edad cuando los sujetos reportaron usar imágenes espontáneamente.

Los resultados anteriores se explican sobre la base de las siguientes hipótesis corroboradas en el modelo de simulación de Kosslyn:

- 1) La información en imágenes es espontáneamente descripta e integrada en una lista proposicional si el sujeto tiene creciente ocasión de usar la información.
- 2) Cuando las imágenes se usan dependen no sólo de las propiedades formales del sistema sino del afecto asociado con una parte de la información.
- 3) Los adultos pueden imaginar sólo tanto material como se necesite para resolver alguna tarea, mientras los chicos son mucho menos eficientes.
- 4) Los niños pequeños necesitan mas tiempo que los adultos para focalizar información en una imagen o son incapaces de reconocer imágenes tan efectivamente como los adultos.

3.1 Implicancias para la Investigación

Las aportaciones de Kosslyn (1986, 1996) sostienen el carácter de la imagen como representación mental independiente, funcional y estructuralmente distinguible de las proposiciones. Si bien las imágenes no son aptas para representar relaciones abstractas directamente, dado su carácter estrictamente analógico, juegan un papel muy importante en la cognición.

Como las investigaciones muestran, la mente puede generar imágenes voluntariamente y este aspecto debería ser explotado a la hora de aprender. Fundamentalmente son de interés las imágenes visuales, que pueden ser modificadas y transformadas a partir de un proceso interpretativo especial. Si bien estas posibilidades existen, la experiencia diaria y las investigaciones indican que la gente evoluciona más hacia el uso de proposiciones que de imágenes, posiblemente porque las primeras son de más fácil acceso cuando existen. En clases de Física, resulta particularmente difícil que los alumnos trabajen o resuelvan problemas con imágenes. En general los profesores se quejan del uso abusivo que los sujetos hacen de las fórmulas, con muy poca alusión a representaciones asociadas a la visualización del fenómeno físico en cuestión.

A nuestro juicio las imágenes pueden ser muy importantes en los procesos de comprensión y en la resolución de problemas porque a partir de ellas es posible derivar conocimiento. El proceso de derivar afirmaciones de conocimiento a partir de una imagen y la evaluación de la su verdad o falsedad, requieren procesos extras que por lo menos deberán involucrar representaciones proposicionales, Kosslyn no avanza en este sentido. Como veremos en la sección cuatro, dedicada a la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird, los modelos mentales son una respuesta al problema de cómo representamos y evaluamos conocimiento sobre el mundo.

Las imágenes parecen desempeñar un papel muy relevante en la comprensión, el aprendizaje, la memoria, la resolución de problemas, las destrezas motrices y el pensamiento creativo. Las imágenes pueden representar relaciones físicas o conceptuales entre eventos, lo que permite a los sujetos tomar decisiones sobre esas relaciones sin realizar un exhaustivo análisis lógico de la situación planteada. Más aún, las imágenes mentales pueden proporcionar nuevas ideas o intuiciones sobre cómo razonar y resolver problemas y su ocurrencia no puede explicarse recurriendo sólo a métodos analíticos de pensamiento.

Suele decirse que “*Una imagen vale más que mil palabras*” a lo que se debería agregar, siempre que se posea el conocimiento necesario para interpretarla. Es decir, no alcanza con las imágenes y esto ha sido claramente visto por Piaget, Bruner y Johnson-Laird, quienes postularon formas complementarias de representación. Lo que no se sigue de la insuficiencia de la imagen, es que sea un epifenómeno o que tenga un papel inferior a las proposiciones en la cognición.

El hecho de que cuando no se poseen representaciones proposicionales, se recurra a las imágenes para generar luego representaciones de tipo proposicional, está implicando que esta vía figurativa o icónica podría resultar muy útil en la adquisición de conceptos. Posiblemente no cualquier imagen resulta adecuada y podríamos hipotetizar que las “mejores” serían aquellas que se corresponden con visualizaciones de un modelo mental, asociado al concepto o evento que se pretende representar. Con relación a esto último, hay alguna evidencia aportada por Johnson-Laird (1996:120) que ha resultado inspiradora para nuestro proyecto de investigación acerca de la relación entre aprendizaje e imágenes en Física.

Como sostuvimos en la primera sección, la Psicología Cognitiva es heredera de las preocupaciones de Piaget y Vigotsky por los procesos complejos. Sin embargo, excepto casos aislados como el de Kosslyn, las preocupaciones por el desarrollo y por la génesis de los procesos cognitivos no han tenido aún el protagonismo que merecen. A continuación reseñamos una teoría representacional que vincula supuestos del paradigma computacional y una visión cercana a la Epistemología Genética.

4. Un modelo innatista, modularista y constructivista del desarrollo: La teoría de la Redescrición Representacional

Esta parte del trabajo analiza brevemente el intento de compatibilizar un enfoque innatista y modularista con el constructivismo piagetiano: La Teoría de la Redescrición Representacional de Anette Karmiloff-Smith (1994).

4.1 Fodor, el sujeto innatista y la modularidad de la mente

Según Fodor, la mente está compuesta de módulos o sistemas de entrada de datos genéticamente especificados de funcionamiento independiente y dedicados a propósitos específicos. Cada módulo funcionalmente distinto, tiene procesos con dedicación exclusiva y posee su propia entrada de datos. Según Fodor, la información procedente del ambiente externo pasa primero por un

sistema de transductores sensoriales, los cuales transforman los datos poniéndolos en el formato que puede procesar cada sistema especializado de entrada.

Para Fodor, el sistema de creencias humanas forma parte del procesamiento central y no es encapsulado, por lo tanto es lento, no obligatorio, puede ser consciente y está influido por metas cognitivas globales. El procesador central recibe la información en un formato representacional común que es denominado "lenguaje de la mente", por lo tanto el procesador **central es de propósitos generales**, en contra de las computaciones de dominio específico que realizan los módulos.

La posición innatista-modularista de Fodor contrasta radicalmente con las teorías del aprendizaje basadas en la idea de generalidad de dominios como la epistemología constructivista de Piaget. La teoría de Piaget sostiene que **ni el procesamiento de la información ni el desarrollo son de dominio específico sino general**. El desarrollo implica la construcción de cambios que afectan la estructura de la representación, generales para todos los dominios y que afectan al sistema cognitivo por igual. Esta es una consecuencia de la propia postura epistemológica de Piaget: cualquier cambio producido en el sistema cognitivo afectará a la estructura de conjunto como un todo y conducirá a una estructuración nueva y distinta del sujeto y del objeto.

La tesis innatista modularista presenta al niño pequeño como un ser preprogramado para entender los caóticos mensajes estimulares que le llegan del mundo exterior “ *A diferencia del bebé piagetiano o conductista, el bebé innatista comienza su carrera con importantes ventajas de salida; lo cual, por supuesto no quiere decir que nada cambie durante la infancia o después de ella: el niño tiene mucho que aprender...*”. (Karmiloff-Smith, 1994:25). Para la postura innatista modularista, el aprendizaje está guiado por principios innatamente establecidos y específicos para cada dominio, que determinan sobre qué entidades tiene lugar el aprendizaje posterior. (Gelman, 1990; Spelke, 1991).

4.2 La epistemología genética

Lo esencial de la Epistemología Genética es la relación dialéctica sujeto-objeto, relación indisoluble en el proceso de conocimiento. El sujeto actúa sobre el objeto y lo transforma al mismo tiempo que se estructura a sí mismo. El objeto no es "el objeto" sino que deviene objeto para un sujeto que tiene el marco asimilador necesario para configurarlo como tal. Se trata de una postura **interaccionista**, en la que ni el objeto ni el sujeto prevalecen.

A diferencia de las posturas empiristas, Piaget otorga un papel activo al sujeto cognoscente, el conocimiento no es una copia del mundo, por el contrario al igual que en la tradición racionalista la información sobre los objetos, proporcionada por los sentidos es interpretada y está condicionada por los marcos conceptuales que intervienen en la asimilación. Los esquemas no son producto de una acumulación de información (visión empirista) ni son innatos (visión racionalista-innatista), sino son construidos por el sujeto como resultado de su interacción y de la puesta en juego de los mecanismos del funcionamiento cognitivo: asimilación-acomodación-equilibración. La visión constructivista de Piaget es de algún modo una superación del reduccionismo empirista con prevalencia del objeto y del reduccionismo innatista que enfatiza las estructuras preformadas del sujeto.

El sujeto cognitivo de Piaget es muy diferente al de Fodor y al que sostiene el paradigma chomskyano o computacional. Mientras como consecuencia de la metáfora del ordenador, el sujeto computacional es de arquitectura fija (hardware) y funciones cognitivas variables, el sujeto piagetiano es de funciones fijas, como organizar y conocer, mientras su arquitectura (estructuras) es variable (Riviere, 1987:78). Si bien a simple vista esta parece una acotación intrascendente, sus

raíces son profundas. El sujeto de Piaget procede de su concepción organicista, se basa en un modelo de organismo biológico que crea permanentemente nuevas y más adaptadas y equilibradas formas de vida. El sujeto computacional es como es desde el principio, a menos que se establezcan algunas formas de desarrollo que lo lleven a alguna transformación de su propia arquitectura representacional: hacia eso se dirige la Teoría de la Redescrición Representacional.

4.3 Innatismo, constructivismo y redescrición representacional

Según Karmiloff-Smith (1994), existen suficientes estudios empíricos que permiten afirmar que en la arquitectura funcional del cerebro hay bastante más de lo que Piaget pensaba. De todos modos, centrándose únicamente en las posiciones innatistas de Fodor y Chomsky, queda muy poco espacio para la intervención de procesos ricos de construcción epigenética. Si bien para Fodor y Chomsky la postura innatista excluye el constructivismo, según Karmiloff-Smith, respetando ciertos principios, las dos posiciones podrían no ser incompatibles:

“En primer lugar, a las ideas piagetianas hay que añadirles algunas predisposiciones innatas impregnadas de conocimiento, que den al proceso epigenético un margen de ventaja inicial en cada dominio...

La segunda condición para el matrimonio del constructivismo y el innatismo es que la base inicial con que parte el niño debe implicar especificaciones menos detalladas de lo que suponen algunos innatistas y un proceso de modularización más progresivo (en contraposición a los módulos preestablecidos)...” (Karmiloff-Smith, 1994: 28).

La idea es adherir al constructivismo piagetiano prescindiendo del enfoque de la generalidad de dominios y orientándose hacia una postura que de más peso a la especificidad de dominio, “*el fuerte anti-innatismo de Piaget y su defensa de estadios generales del desarrollo han dejado de ser un marco viable para entender el desarrollo.*” (Karmiloff-Smith, 1992: 29).

Para Karmiloff-Smith, el desarrollo implica **tres fases recurrentes:**

Fase I El niño se centra primariamente en información proveniente del medio externo, este aprendizaje inicial se rige por los datos. Cualquiera sea el microdominio involucrado el niño se centra en los datos externos para crear adiciones representacionales, que no alteran las representaciones existentes ni se ponen en contacto con ellas. Cuando las representaciones nuevas se vuelven estables, entonces se añaden a las restantes conservando su especificidad, sin que esto signifique aún un cambio representacional. Esta fase concluye con la posibilidad de ejecutar en forma correcta las conductas de cualquier microdominio en el que se haya alcanzado este nivel. Tal maestría conductual no significa que las representaciones del niño sean como las del adulto, la misma conducta puede generarse en distintas edades con representaciones muy diferentes.

Fase II: El niño ya no se centra en los datos del ambiente, las representaciones internas se convierten en el centro del cambio, es posible entonces que en esta fase se produzca un descenso en las conductas correctas dando lugar a una curva de desarrollo similar a una parábola, pero tal deterioro es **sólo conductual no representacional**.

Fase III: las representaciones internas se concilian con los datos externos, alcanzándose un equilibrio entre la búsqueda de control interno y externo.

El modelo de Redescrición Representacional (**RR**), defiende la existencia de por lo menos cuatro niveles en los que el conocimiento puede representarse y rerrepresentarse internamente:

Implícito (I); Explícito 1; (E1); Explícito 2, (E2) y Explícito 3 (E3). Estos niveles no constituyen estadios que dependen de la edad, sino partes de un mecanismo **cíclico general** que se da durante todo el desarrollo y en los diferentes microdominios.

Cada nivel representacional **tiene distintos formatos**. En el **nivel I**, las representaciones se encuentran en forma de procedimientos de análisis y respuesta a estímulos del ambiente externo, la información se codifica de forma procedimental, las codificaciones procedimentales están secuencialmente especificadas, las representaciones nuevas se almacenan de forma independiente, las representaciones del nivel I “están entre paréntesis” por lo que aún no pueden formarse vínculos ínter o intra dominios. Las representaciones de este nivel no se encuentran disponibles para el resto de los operadores del sistema cognitivo. **Si hay dos procedimientos que contienen información idéntica, el sistema global no se entera, los procedimientos están a disposición como un todo, no así sus partes**. En este nivel los vínculos representacionales potenciales y la información que contienen permanecen implícitos, es gracias a esto que se pueden procesar entradas específicas de modo preferente y responder rápida y eficazmente al entorno.

El modelo RR postula un proceso posterior de redescrición representacional que implica los niveles E1, E2, y E3. **Las representaciones de nivel E1** son el resultado de la redescrición de representaciones del nivel I en un formato nuevo comprimido, ahora las redescriciones están abiertas a potenciales vínculos representacionales intra e ínter dominios. Sin embargo, el carácter reducido de estas representaciones hace que pierdan muchos detalles informativos, la representación redescrita es por tanto más sencilla y por lo tanto más flexible y de propósito menos específico por lo que se puede trasponer a otras metas. En este nivel las redescriciones son **más conceptuales que perceptivas y permiten la generación de términos nuevos**, sin embargo las impenetrables representaciones del nivel I continúan intactas en la mente del niño, quien siempre puede recurrir a ellas para cualquier proceso que requiera automaticidad y velocidad.

Las representaciones construidas se emplean para fines que requieren conocimientos más explícitos. *“A medida que las representaciones van describiéndose en el formato E1 somos testigos de cómo empieza a formarse un sistema cognitivo flexible sobre el cual podrán construirse posteriormente las incipientes teorías del niño. Por consiguiente las representaciones de nivel E1 superan las restricciones impuestas en el nivel I, en el cual se utilizan exclusivamente representaciones de tipo procedimental en respuesta a estímulos externos”*. (Karmiloff-Smith, 1994:41). En este nivel el conocimiento se encuentra explícitamente representado aunque no pueda expresarse verbalmente ni se pueda acceder a él conscientemente, ya que según el modelo **RR** la posibilidad de acceso se da cuando se ha superado el nivel E1, la hipótesis es que en el nivel E2 las representaciones se hacen accesibles a la conciencia pero aún no pueden expresarse verbalmente, ya que esto será posible sólo en el nivel E3.

En el nivel E3 el conocimiento se recodifica mediante un código común a todos los sistemas, es posible que muchos conocimientos que se aprenden en forma lingüística se almacenen directamente en el nivel E3. Sin embargo sería posible que se almacenara conocimiento en un formato lingüístico sin que se establezcan vínculos entre este y otros conocimientos similares almacenados en otros códigos. *“Existen por consiguiente múltiples niveles en los que un mismo conocimiento puede representarse. La noción de codificación múltiple es importante: el desarrollo no parece regirse por un impulso hacia la economía. La mente puede resultar un almacén de conocimiento y procesos ciertamente redundante.”* (Karmiloff-Smith, 1994:43).

El proceso de redescrición representacional es en sí de dominio general, pero opera en diferentes momentos en cada dominio específico y está restringido por el nivel de explicitación y por los contenidos en cada microdominio. Lo que no ocurre es que cada nivel se alcance en una edad determinada de modo general, sino específicamente y en distintos momentos para cada

microdominio. En los cambios representacionales **dentro de cada fase** desempeña un papel muy importante la retroalimentación negativa, los fallos, las insuficiencias, la inadecuación, la incongruencia entre entradas y salidas, llegando progresivamente a la maestría conductual.

Entre una y otra fase, tiene que existir estabilidad para que se describan las representaciones por lo tanto **el proceso se basa en el éxito más que en el fracaso**, este es un punto de contraste fuerte con el modelo piagetiano de equilibración, sin embargo la autora sostiene que no se trata de la idea conductista del refuerzo externo, sino que se trata de una apropiación de los estados estables para extraer de ellos la información que contienen y emplearla con mayor flexibilidad para otros fines.

El estudio de Karmiloff-Smith e Inhelder (1974-1975), Karmiloff (1984) sobre la colocación de bloques en equilibrio, puede ejemplificar la idea de desarrollo representacional formulada. Se pedía a niños de edades entre los cuatro y nueve años que pusiesen en equilibrio una serie de bloques sobre un soporte estrecho, algunos bloques tenían el centro de gravedad en el centro geométrico, en otros se encontraba desplazado. Los niños de cuatro y cinco años resuelven la tarea con mucha facilidad, sólo toman el bloque y lo mueven por el soporte, sintiendo la dirección en que queda equilibrado y ajustando su conducta en función de eso. En cambio, los niños de seis o siete años, colocan todos los bloques en el centro y sólo consiguen equilibrar los bloques cuyo peso está uniformemente distribuido. Los sujetos de ocho o nueve años equilibran todos los bloques al igual que los más pequeños.

Los niños de 4 –5, están en la Fase I, sólo procesan la información proveniente del ambiente, cada nuevo bloque es un “caso nuevo”, la información no se relaciona, se almacena independientemente. Las representaciones de los niños son de nivel I, su esfuerzo se orientaba a lograr **maestría conductual**. Los niños de 6-7 años tienen una “teoría en acción”, representada en formato E1, no verbal y ya no se manejan con la información sensorial, la ignoran y emplean su teoría del centro geométrico, por lo tanto su desempeño conductual es peor que el de los niños de la Fase I. Recién hacia los 8-9 años se consigue poner en equilibrio los bloques con peso desigualmente repartido, igualando la conducta de los niños menores. **Lo central** según el modelo RR, es que las representaciones subyacentes son sustancialmente distintas a las de los niveles anteriores porque existen representaciones verbales explícitas, tipo E2/E3 tanto de la “teoría del centro geométrico” como de las relaciones más generales entre fuerza y distancia.

4.4 Conclusiones para la Investigación

Lo interesante en la propuesta teórica de Karmiloff-Smith, es la combinación entre una postura ciertamente cognitiva en el sentido mas fuerte y la Epistemología Genética. Por un lado, adopta la tesis modularista, innatista de Fodor para dar cuenta de la existencia de entradas cognitivas preestablecidas, que procesan encapsuladamente y organizan unívocamente el universo estimular en distintos dominios: el del lenguaje, el físico, el matemático, psicológico y gráfico. Pero además, distingue entre módulos pre-establecidos y proceso de modularización, que ocurriría como resultante del desarrollo. Con esto defiende la existencia de un desarrollo específico diferenciado para cada dominio y explica las regularidades observadas en el desarrollo de los niños: el número, el lenguaje, la sustancia, el espacio, la causalidad, la escritura (dominio gráfico).

Por otro lado, coloca a las representaciones mentales en el “centro” de su análisis y explica como el sistema cognitivo se desarrolla explotando internamente las informaciones que tiene almacenadas (innatas o adquiridas). Se trata de un proceso general, constructivo, que ocurre internamente en el sujeto y conduce al desarrollo progresivo y creciente de sus representaciones, es

decir lo esencial al sujeto es redescibir, re-representar. Esta sería su concepción genética, planteada a partir de un modelo de desarrollo representacional, que se produce desde adentro y no sólo a partir de las informaciones del ambiente. Este acento en el sujeto es también claramente cognitivo, en el sentido señalado por Gardner (1987) y Riviere (1987).

Si bien algunas formulaciones son imprecisas y no existe una versión computacional del modelo RR, se propone la vinculación con modelos conexionistas. No está claro si la redescipción opera en el ámbito de contenidos y también de formatos o si como lo sugiere la formulación del nivel E3, el máximo a alcanzar es un nivel de representación explícito que sea verbalmente expresable y por tanto de carácter proposicional, como único posible a disposición de todo el sistema cognitivo y del incesante proceso de redescipción.

Fiel a su raíz piagetiana, el aspecto figurativo del pensamiento parece restringido a las representaciones de nivel I, que regulan el procesamiento de las entradas sensoriales, y del nivel E1 que soporta las primeras representaciones cognitivamente penetrables por el sistema. Los niveles explícitos son proposicionales y es posible que se esté pensando en algún tipo de proceso semántico de inferencia característico de los modelos de redes. En cualquier caso, **lo que más interesa a nuestro análisis es que los datos del ambiente ingresan al sistema como informaciones y a partir del proceso RR, se convierten en significados que mudan y se organizan constantemente.**

Además, las representaciones implícitas en cada dominio, siempre están presentes en el sistema y disponibles al sujeto y se utilizarán en ausencia de otras mejores. Es decir que un sujeto podría poseer representaciones de alto nivel en un dominio y no en otro, como es frecuentemente observado. También es interesante la diferenciación que se establece entre desarrollo conductual y desarrollo representacional, el primero admite una representación en forma de parábola mientras el segundo es una exponencial creciente.

Por lo tanto no podemos conformarnos con las conductas de nuestros alumnos, es decir con el desempeño, debemos operar sobre las representaciones (significados) que construyen. Cuanto “mejores” sean las representaciones de un microdominio dado, cuanto más explícitas sean, mas posibilidades tiene el sistema de desarrollar otras que superen a las anteriores. Por otro lado la disponibilidad de las representaciones del nivel E3, abre la posibilidad de relaciones intra, inter y transdominios, que permitan la generalización del conocimiento a partir de activaciones apropiadas. Tal vez la instrucción podría favorecer esas activaciones a partir de los materiales con los que opera.

Si como postula el modelo RR, la fase de maestría conductual es previa al desarrollo de mejores representaciones, entonces los hábitos, ciertos aprendizajes mecánicos y la repetición juegan un papel importante en el aprendizaje escolar entendido como evolución representacional. En la fase uno, habría que propiciar la maestría conductual y la redescipción representacional. La clave estaría en cuáles son las informaciones relevantes y cuáles las mejores interacciones con el ambiente para orientar el proceso de redescipción. Quizás sea posible que “alimentemos” el sistema con inputs adecuados, con lo cual la organización, estructuración y características de la información que suministramos serían decisivas, para que la información se transforme en significados para el sujeto que la representa y la re-representa.

5. La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y su relevancia para la Investigación en Enseñanza de las Ciencias

A raíz de la insatisfacción con los resultados producidos en la Investigación en Enseñanza de las Ciencias, con lo que se ha dado en llamar el Paradigma del cambio Conceptual y también la década (1980-1990) de las concepciones alternativas; (Duit, 1994, Moreira, 1994) ha cobrado gran interés un referencial teórico denominado Modelos Mentales (de Kleer y Brown, 1983; Johnson-

Laird, P., 1983-1990; Franco, C. et. al, 1997; Greca, I.M. y Moreira, M.A. 1997a,1997b, Keneth Craik, 1943).

Este referencial es abordado desde la Psicología Cognitiva (Young, 1983; Waern, 1987; Rutherford y Wilson, 1992; Rogers, 1992; Johnson Laird, 1993; Sasse, 1992) y desde la propia investigación en Enseñanza de las Ciencias con criterios diferentes. Una revisión bibliográfica efectuada recientemente (Krapas Texeira et.al, 1997), muestra hasta que punto los términos modelo mental y modelización son polisémicos, dependiendo del contexto y del marco teórico desde el cual se los emplea.

Los estudios de cambio conceptual motivados por la detección y descripción de las concepciones alternativas (Black y Lucas, 1993, Driver, Guesne y Tiberghien, 1985, Ogborne y Freyberg, 1985) que sucedieron a lo que podría denominarse la década de Piaget; (1970-1980) tuvieron su origen con la insatisfacción del concepto piagetiano de estadio y se inscriben en la tensión forma-contenido, conocimiento general- conocimiento de dominio. Tales investigaciones, sugieren que el progreso en el conocimiento es de carácter conceptual, mientras que Piaget adhiere a un progreso estructural.

En la posición piagetiana, se concibe al razonamiento como basado en el empleo de un sistema proposicional cuyo soporte es la Lógica. En virtud de esto, cuando el sujeto ha llegado al estadio formal, debería ser capaz de razonar científicamente y detectar las contradicciones, independizándose del contenido. Sin embargo, existen numerosas evidencias empíricas desde la investigación psicológica (Carretero, 1985, Pozo et. Al, 1991) y desde la investigación en Enseñanza de las Ciencias que estarían mostrando lo contrario (Otero, 1997 a, 1994, 1993).

El corazón de la Teoría de los Modelos Mentales para el razonamiento de Johnson Laird (1983-1990), es que el proceso de inferencia no puede reducirse a la lógica ni al empleo de reglas formales que operan sobre las representaciones proposicionales. Según su Teoría, el razonamiento consistiría en la construcción y manipulación de Modelos Mentales de naturaleza analógica.

" Los proponentes de las representaciones proposicionales están limitados a suponer que el razonamiento consiste en la manipulación de tales representaciones usando reglas formales de inferencia. Una vez que admitimos la existencia de imágenes o modelos como representaciones, la otra posibilidad es evidente. El razonamiento podría consistir en la construcción de tales representaciones, la formulación de una conclusión basada en ellas y la búsqueda de otras tales representaciones sobre las premisas para testear la validez de la conclusión. Esta idea está en el corazón de la teoría de los modelos mentales para el razonamiento." (Johnson Laird, 1996:99).

Para Johnson-Laird no puede explicarse el razonamiento sin recurrir a un pequeño conjunto finito de representaciones mentales: **proposiciones, modelos mentales e imágenes**. Los modelos están en la base de nuestras inferencias, permitiéndonos interpretar y evaluar el discurso de los otros y nuestras propias proposiciones como verdaderas o falsas. El punto central del razonamiento, está en la construcción de un modelo de trabajo en la mente de quien aprende, dicho modelo puede contener también proposiciones e imágenes. Su teoría suele considerarse como un prototipo de teoría no racionalista, en el sentido de que establece una ruptura entre los sistemas de lógica formal y los de razonamiento (de Vega, 1984:453). Su posición recupera aspectos que parecerían tener un peso muy grande en nuestro modo de hacer inferencias permitiendo dar cuenta de los errores en el razonamiento y también del pensamiento racional.

Con relación al papel de la Lógica, su concepción es contrapuesta a la de Piaget, quien considera que los aspectos figurativos del pensamiento están subordinados a las competencias propias de pensamiento formal, es decir a las operaciones lógicas (Franco, Colinvaux et. al, 1997). **Sin embargo, ambos adoptan una posición estructuralista, ya sea con énfasis en la Lógica, en el caso de Piaget o en Modelos Mentales, de naturaleza analógica** como postula Johnson-Laird. La construcción de Modelos Mentales es un rasgo general y estructural del pensamiento, sin el cual no podríamos razonar ni interpretar el mundo. El razonamiento con base en Modelos Mentales no tiene un soporte únicamente lógico, sino analógico en virtud de que los modelos son análogos estructurales del mundo y de lo que representan (Johnson-Laird, 1996).

Como se ha intentado mostrar en este trabajo, las representaciones mentales constituyen la unidad de análisis de la Psicología Cognitiva y existen cuestiones abiertas al respecto. Según Johnson Laird, las respuestas a todas ellas implican la noción de **Modelo Mental**. Aparentemente lo que se pone en duda no es el poder de los modelos internos, lo problemático es la forma en que están representados internamente y como se usan en la cognición. La formulación moderna del concepto de Modelo Mental es ciertamente deudora de Keneth Craik (1943) y de Wittgenstein (1922). Para Keneth Craik las personas traducen sucesos externos en modelos internos y razonan a partir de ellos, retraduciendo nuevamente esas representaciones en acciones y evaluaciones de hechos externos. Johnson-Laird tomará esta idea estableciendo que:

"Entonces es posible argumentar que los modelos mentales desempeñan un papel central y unificador en la representación de objetos, estados de hechos, secuencias de eventos, de la manera en que el mundo es y en las acciones sociales y psicológicas de la vida diaria. Permiten a los individuos hacer inferencias, entender fenómenos, decidir las actitudes a ser tomadas, controlar su ejecución y principalmente experimentar eventos" (Johnson-Laird, 1983:397).

Los modelos mentales del mundo pueden ser contruidos como producto de la percepción, del discurso, de la interacción social y de la experiencia interna manifestada en la habilidad del sujeto para construir modelos a partir de sus componentes primitivos, o de modelos análogos que ya poseía. Por lo tanto, todo nuestro conocimiento del mundo dependería de nuestra capacidad de construir modelos mentales. Las restricciones para la construcción de esos modelos derivan de como concebimos la estructura del mundo, de las relaciones conceptuales que gobiernan la ontología de lo real y de la necesidad de mantener el sistema libre de contradicciones (Johnson-Laird, 1983:430).

Johnson-Laird construye su teoría postulando un modo analógico de razonar, en oposición a la utilización de proposiciones y reglas de inferencia. El constructo Modelo Mental, es consubstancial a este modo de razonamiento, al corroborar empíricamente las predicciones realizadas, Johnson-Laird, establece la existencia de Modelos Mentales como representaciones mentales diferenciadas estructural y funcionalmente de las proposiciones.

"Como en un diagrama las partes del modelo corresponden a las partes de lo que representa. Y como los diagramas, estos modelos simples son isomórficos o por lo menos homomórficos a lo que representan.

[...] La teoría de los modelos para la deducción postula que quienes razonan construyen un modelo o un conjunto de modelos, basados en el significado de las premisas o de la percepción del mundo y de cualquier conocimiento general relevante. Ellos formulan una conclusión describiendo una relación que no está explícitamente afirmada por ninguna premisa. Finalmente intentan chequear que no hay modelos alternativos que sean válidos para sus premisas pero que refutan su

conclusión. Si no hay ninguno, entonces su conclusión es válida" (Johnson-Laird, 1996:102).

Los modelos tienen una estructura analógica que corresponde a la estructura de la situación que representan. "... *un modelo mental representa individuos por "tokens" mentales, representa las propiedades de esos individuos por las propiedades de esos tokens y representa las relaciones entre los individuos por relaciones entre los tokens*" (Johnson -Laird, 1996: 102). Los modelos incluyen varios grados de estructura analógica, pudiendo ser completamente analógicos o parcialmente analógicos y parcialmente proposicionales. La propiedad esencial de los modelos es su no-arbitrariedad estructural porque **son determinados y concretos** en el sentido de que representan entidades específicas, no tienen una determinada estructura sintáctica, pero si poseen una estructura que desempeña un papel representacional directo, pues es análoga al correspondiente estado de cosas del mundo.

Si bien la estructura del modelo es general, la descripción es particular. En un estudio transversal acerca de los modelos ejecutados desde los 12 hasta los 18 años en la resolución de un problema complejo (Otero, 1998a), encontramos que los sujetos evalúan el modelo para un set dado de valores, parten siempre de un ejemplo particular que reúne las características del modelo, **es decir el pensamiento basado en modelos maneja lo general como si fuera particular.**

Las imágenes comparten los atributos del modelo pero **son apenas una visual y no poseen capacidades explicativas**, o como decíamos en la sección dos: no son ni verdaderas ni falsas, simplemente se corresponden con visualizaciones del modelo. Son producto de la percepción o de la imaginación y representan aspectos perceptibles de los objetos del mundo real. En un primer momento, las imágenes y los modelos parecían casi la misma cosa, recientemente Johnson-Laird **ha reafirmado** la hipótesis del triple código representacional. Los modelos, las imágenes y las representaciones proposicionales son representaciones mentales funcional y estructuralmente distinguibles entre sí.

"De acuerdo con la descripción inicial de 1983, las imágenes visuales eran un caso especial de modelos mentales, ahora parecen ser distintas clases de representación llamadas por distintas clases de procesos, si bien las imágenes funcionan como modelos y las dos clases de representaciones están acabadamente descritas porque tanto una como otra se describen con representaciones proposicionales. Esta hipótesis del triple código, suma los modelos mentales a las dos clases de representaciones postuladas por Paivio"(Johnson-Laird 1996:92).

Esta reafirmación se basa en evidencia empírica que muestra la diferencia entre modelos mentales e imágenes. Estas últimas representan los aspectos perceptibles de una situación desde el punto de vista de un observador y no pueden representar elementos abstractos, mientras los modelos contienen elementos abstractos que no pueden visualizarse y no corresponden a una única situación sino a una clase de situaciones. "...*el razonamiento es perfectamente posible sin tener que construir imágenes. Y esta conclusión es apenas sorprendente dado que muchos conceptos de la vida cotidiana trascienden lo que es perceptible por ejemplo: valores, justicia, verdad (ver Johnson-Laird 1976, para la imposibilidad de reducir todos los conceptos a predicados perceptibles)"* (Johnson-Laird 1996:114). Sin embargo, Johnson-Laird (1996:120-123) reporta también estudios que sugieren que las imágenes pueden aventajar a las proposiciones y hacer el razonamiento más eficiente. Sus resultados muestran que ciertas clases de diagramas pueden ayudar a los individuos a razonar, mejorando tanto la precisión como la velocidad en el razonamiento deductivo.

5.1 Conclusiones Finales

Las teorías que postulan una lógica de razonamiento, como muy bien explica Johnson-Laird (1996), tienen dificultades para dar cuenta de los razonamientos lógicamente errados o no lógicos, en el sentido de una lógica proposicional. **Una contribución fundamental a la investigación en Enseñanza de las Ciencias es precisamente que el razonamiento supone más que la lógica formal.**

Para Johnson-Laird el razonamiento consiste en la construcción y manipulación de modelos mentales, que son representaciones analógicas; sin perjuicio de que podamos resolver silogismos correctamente y describir lógicamente tal razonamiento como una deducción. “.. *un sistema de inferencias puede tener un desempeño enteramente lógico, aún sin emplear reglas de inferencia, esquemas de inferencia o cualquier otra especie de herramienta correspondiente al cálculo lógico.*” (Johnson Laird, 1983:131).

Es decir que la lógica del pensamiento, no es sino una forma aprendida, exterior a nuestro sistema innato de procesamiento, por tanto no existiría tal estructuración lógica del sujeto como plantea Piaget (Johnson-Laird, 1996), para quien una vez alcanzado el estadio formal se usa esta capacidad general del sistema cognitivo en forma más o menos independiente de cualquier contenido. Esto resuelve en parte las polémicas forma-contenido y pensamiento general - pensamiento de dominio, explicando el hallazgo de las concepciones alternativas que parecerían no tener lugar en la teoría de Piaget (Dibar Ure et. al, 1994) al cuestionar el carácter general del pensamiento formal así como su estructura de conjunto. La posibilidad de dar cuenta de la influencia del contenido en el razonamiento, reafirma el interés en la teoría de los modelos mentales.

La teoría de Johnson-Laird, que también postula una forma general de razonamiento, **permite dar cuenta de los modos de razonar sean o no científicos** y toma en cuenta el carácter semántico del pensamiento, porque se refiere a la interpretación de los significados del discurso, que es justamente lo que da origen a los modelos mentales. En esto su posición es contrapuesta a la de Piaget, para quien el pensamiento formal tiene un carácter proposicional y se apoya en un código o formato de representación distinto al del pensamiento concreto, que tiene un carácter más analógico (Pozo, 1997).

Tanto para Johnson-Laird como para Piaget, y para las posiciones que conceden al sujeto el papel de organizador, los procesos de pensamiento poseen una estructura determinada. Un aspecto central en una postura estructuralista es la construcción de totalidades interdependientes, no es posible cambiar una parte sin afectar el conjunto. Esta es una característica de los esquemas y de los modelos. En el caso de Piaget, la estructuración es lógica y parece provenir del sujeto que aplica o atribuye sus operaciones a los objetos. Para Johnson-Laird como los modelos son isomórficos a las situaciones que representan, son ellas las que tendrían este carácter estructurante, dejando para el sujeto la tarea de construir los modelos y manipularlos.

Otro aspecto muy importante es que se trata de **una teoría constructivista** en sentido amplio, no sólo por reconocer la actividad del sujeto en la construcción de Modelos Mentales, sino por otorgar un papel estructurante a la realidad que los modelos representan. Es decir que de algún modo lo real está presente en el modelo al establecer su carácter analógico. Esta característica devuelve al ámbito de las posiciones cognitivas al objeto que está siendo conocido, al mismo tiempo que como constructor de representaciones mentales internas le otorga un papel decisivo al sujeto.

Si bien está claro que Johnson-Laird no adopta una perspectiva epistemológica y genética como lo hace Piaget, enfatiza más que otras posturas cognitivas el papel del objeto. La formulación de una tipología que distingue, aunque de manera difusa entre modelos físicos y modelos conceptuales es un reconocimiento de dominios cognoscitivos de diferente naturaleza. Los modelos físicos corresponden directamente al mundo físico pero no permiten representar relaciones abstractas. Esto parece indicar que el conocimiento científico del mundo natural requeriría de la construcción de modelos físicos y de modelos conceptuales. En cualquier caso, la tipología no está exhaustivamente formulada y posiblemente sea objeto de revisiones. Por ejemplo hay un modelo físico que se denomina Imagen. Se lo define como una visión de la proyección de un modelo tridimensional. Si esto es así, a la luz de los recientes resultados sobre la imagen, que establecen su carácter bidimensional (2D), sería más imagen que modelo. El modelo no es visualizable por "los ojos de la mente" y esta otra de las razones para diferenciar modelos de imágenes y justificar su existencia como fenómeno mental.

Como lo establece el principio de innatismo (Johnson-Laird 1983:398), todos los primitivos conceptuales son innatos. Al igual que Karmiloff-Smith, Johnson-Laird adopta parcialmente la tesis innatista de Fodor. Sin embargo al igual que en el modelo de Redescrición Representacional la creación de novedades se explica por un proceso endógeno, de carácter general y estructural al funcionamiento cognitivo, que consiste en la construcción de modelos mentales, sin los cuales no se puede comprender la realidad. Si el sujeto comprende, entonces construye un modelo mental funcional a la situación como la está percibiendo, esto no significa que el modelo sea correcto o verdadero, el único requisito del modelo es de funcionalidad.

Los modelos permiten representar conocimiento sobre el mundo porque cualquier afirmación de conocimiento es decir cualquier proposición, es una descripción que será verdadera o falsa respecto del mundo en último término. Como no aprehendemos la realidad en forma directa sino que poseemos una representación interiorizada de ella, las representaciones proposicionales se evaluarán como verdaderas o falsas con relación a un modelo mental del mundo. Además los modelos permiten representar un número infinito de estados posibles de un suceso, porque se ejecutan recursivamente, este poder representacional se realiza con una gran economía para el sistema a partir de un número finito de elementos y de operaciones sobre esos elementos. Los modelos tienen la propiedad de representar la generalidad a partir de valores particulares que reúnen todas las relaciones de lo representado.

Para Johnson-Laird y en disidencia con Fodor, existe un número finito de clases de representaciones. Esta condición de un número finito y reducido de representaciones se deriva de su concepción de que la mente humana es finita. Además, como cada formato representacional supone un sistema diferenciado de procesamiento, una cantidad infinita de formas de procesamiento no resulta admisible.

Un punto muy difícil a resolver para investigar con este referencial teórico se refiere a las cuestiones metodológicas. Según Johnson-Laird, el principio de computabilidad es la garantía de que la teoría no sea vaga o imprecisa, puesto que los Modelos Mentales tienen que poder ser ejecutados en una secuencia de pasos por un ordenador. En este aspecto, vale anotar que actualmente no existen ordenadores que procesen en paralelo, como lo hace el sistema cognitivo y además, la existencia de un programa o proceso computacional de simulación, no es garantía de que de hecho la mente funcione de la misma manera. Esto no significa desconocer el enorme valor heurístico y metodológico de los procesos de simulación.

Para un Investigador en Enseñanza de las Ciencias que trabaje con este marco, es complejo cumplir estrictamente con el principio de computabilidad. Pretendemos investigar sobre la naturaleza de las representaciones internas vinculadas al conocimiento de una disciplina en particular, de las que sólo tenemos evidencia indirecta. Es claro que los planos explicativos en los que nos movemos son muy diferentes, una cosa es estudiar como razona un sujeto aislado en un silogismo con dos premisas disyuntivas y otra muy distinta como razona al resolver un problema de Física. Sin embargo, ambos planos de explicación son indispensables y permiten convergencias.

Recientemente hemos documentado la ejecución de modelos mentales computables en un estudio transversal que estudiaba la forma de resolución de un problema en toda la escolaridad secundaria y hemos utilizado el constructo Modelo Mental y la teoría para explicar nuestros datos (Otero, 1988b). Si bien nuestros resultados no son generalizables al modo de una ley, nos han permitido hipotetizar acerca de la posibilidad de suministrar a los alumnos ayudas para comprender y razonar. Por lo tanto, creemos que la teoría de los Modelos Mentales es un referencial muy prometedor, al que podríamos enriquecer con un abordaje genético o con investigaciones situadas en el aula.

Por otro lado, como hemos tratado de reflejar en el trabajo, es posible articular referenciales provenientes de la metáfora computacional con otros más próximos a visiones constructivistas interaccionistas como las de Piaget y Vigotsky. Este es un punto favorable a la posición de Johnson-Laird, que es constructivista, no racionalista, innatista en un sentido no fodoriano, toma en cuenta al sujeto y a las particularidades del objeto y admite hasta la influencia que las creencias del sujeto pueden tener en el razonamiento. Si bien no plantea cuestiones de naturaleza social ni afectiva, la consideración de estos aspectos no parece plantear ninguna incompatibilidad respecto de su teoría.

Actualmente, las consideraciones de Johnson-Laird (1996) parecerían estar explicando más acerca de lo que ocurre en la cabeza de nuestros alumnos que las de Piaget. De todos modos, si bien proporcionan una descripción detallada y contrastable de como razonamos, no explican cómo se evoluciona de un estado de conocimiento a otro en un área determinada. ¿Puede explicarse a partir de la Teoría de los Modelos Mentales para el razonamiento, que la cultura humana haya podido concebir la estructura deductiva de la Matemática o las leyes de la Lógica en sus distintas versiones? ; ¿Cómo se construyen modelos mentales acerca de cuando un razonamiento es o no lógico, es decir qué grado de conciencia tenemos de nuestro propio funcionamiento cognitivo?; ¿Cómo consiguen los científicos en general pensar lógicamente, aunque sólo sea en el contexto de su propia especialidad? ¿Cómo pueden explicarse los procesos de abstracción y generalización que son característicos del conocimiento científico?.

Para enseñar ciencias tenemos que conocer como se pasa de un nivel de conocimiento a otro, cuáles representaciones son indispensables en un dominio determinado, **cuánto depende del sujeto y cuánto puede hacerse desde afuera**. Mirando en perspectiva, es mucho lo que se ha avanzado hacia posiciones teóricas sólidamente formuladas que a la vez puedan dar cuenta de la complejidad del hecho cognoscitivo, del largo camino que media entre las "energías físicas del medio" y los significados científicos.

Bibliografía

AUSUBEL D., NOVAK J., HANESIAN H, (1983) Psicología Educativa: un punto de vista cognoscitivo. Ed. Trillas. Mexico.

BRUNER J. S. , OLVER R. O., GREENFIELD, P. M. (1966) *Studies in Cognitive Growth* New York: Wiley.

CARRETERO, M., (1985) *El desarrollo cognitivo en la adolescencia y la juventud: Las operaciones formales*. En M. Carretero; A. Marchesi y J. Palacios (Eds.) *Psicología Evolutiva 3. Adolescencia, madurez y senectud*. Madrid: Alianza Psicología.

CASTORINA, J. A. (1989) *Problemas en psicología Genética*. Buenos Aires, Miño y Dávila Ed.

CELLERIER, G. (1978) *El Pensamiento de Piaget*, Barcelona, Paidós.

COOPER, L. A. y Shepard, R. N. (1973): *Chronometric studies of the rotation of mental images*. En Chase , W. G. (Ed): *Visual Information Processing*. Academic Press.

CHURCH, J. *Language and the Discovery of Reality*. New York: Random House 1961.

DE KLEER y BROWN, (1983). *Assumptions and Ambiguities in Mechanistic Mental Models*. In Gentner, D. And Stevens, A. (Eds) *Mentals Models*. Hillsdale, New Jersey : Erlbaum. 155-190.

DE VEGA, M. (1984). *Introducción a la Psicología Cognitiva*. Alianza Editorial. Madrid.

Dibar URE, N.BAADE, C.ESCUADERO, A.FIGUEROA,, V.KATZ, S.KRAPAS, R.OTERO, R.POZZO, C.SPELTINI, B.TOLEDO Y G.UTGES. (1994) *Nociones alternativas, legalidad y causalidad: una discusión*,; Revista de Enseñanza de la Física. Vol. 7. Número 2. pág. 16-21.

DUIT, R. (1994). *The Constructivist view in Science Education - What it has to offer and what should not be expected from it*. Proceedings International Conference of Science and Mathematics Education for the XXI ST: Century Towards Innovatory Approaches. Concepcion. Chile.

EYSENK M. and KEANE, M. (1991). *Cognitive Psychology: a student 's handbook*. Hove, U. K., Lawrence Erlbaum. Associates Ltd. 557 p.

FAYERABEND, P. (1972) *Against Method*. London: Verso.

FODOR, J. A. (1983) *The Modularity of Mind*. MIT. Prez. Trad. castellana: la Modularidad de la Mente. Morata, 1986, Madrid.

FRANCO, C; COLINVAUX, D.; KRAPAS, S.; QUEIROZ, G. (1997) *A Teoria Piagetiana e os Modelos Mentales*, en *Percursos piagetianos*, Banks Leite (org), Editorial Cortez, pág.187, Brasil.

GARDNER, M. (1987) *La nueva Ciencia de la Mente: Historia de la Psicología Cognitiva*. Barcelona, Paidós.

GELMAN, R. (1990) *First principales organize attention to and learning about relevant data: Number and animate-inanimate distiction examples*. *Cognitive Science* , 14: 79-106.

GRECA, I.; MOREIRA M. A. (1996 a) *Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes y proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de Física General, estudiantes de posgrado y físicos profesionales*. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias, 1 (1): 95-108*.

- GRECA, I.; MOREIRA M. A. (1996 b) The kinds of mental representations- models, propositions and images- used by college physics students regarding the concept of electromagnetic field. *International Journal of Science Education*, 19 (6): 711-724, 1996 b.
- HOLTON, G. (1972) : *On trying to understand Scientific genius*. American Scholar, 41,95-110.
- HEBB, D. (1968) *Concerning Imagery*. Psychological Review. Vol. 75, Nro. 6,466-467.
- JOHNSON-LAIRD, P.(1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- JOHNSON-LAIRD, P. (1990) Mental Models. In Posner, M. (de.). *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge : MIT Press. 469-499.
- JOHNSON-LAIRD, P. (1990) *El ordenador y la mente*. Barcelona : Ed. Paidós.
- JOHNSON-LAIRD, P. (1996) *Images, Models, and Propositional Representations*, en: Models of Visuospatial Cognition, Manuel de Vega, Margaret Jean Intons Peterson, Philip Johnson-Laird, Michel Denis y Marc Marschark, Cap 3 pp 90-126, New York, Oxford, Oxford University Press.
- KARMILOFF-SMITH, A., INHELDER B. (1974/75) *If you wanta to get ahead, get a theory*. Cognition, 3:195-212.
- KARMILOFF-SMITH, A. (1984) *Children ´s problem solving*. En A. Lamb, A. L. Brown, y B. Rogoff (eds.). *Advances in Developmental Psychologie*, 53: 113-126.
- KARMILOFF-SMITH, A. (1994) *Mas allá de la Modularidad*. Madrid: Alianza
- KLIMOVSKY, G. (1995) *Las desventuras del conocimiento Científico*. A-Z editora. Buenos Aires, Argentina.
- KOSSLYN, S. (1986). *Image and Mind*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- KOSSLYN, S. (1996). *Image and Brain*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- KUHN, T. (1962) *The structure of Scientific Revolutions*. Chicago tr. esp. (1970)“*La estructura de las Revoluciones científicas*”. México: Fondo de Cultura Económica.
- OTERO, M.R. (1997 a) *Las competencias operatorias y la conceptualización de un fenómeno físico: un problema de variables relevantes*. Publicado en la *Revista Mexicana de Física*, Vol. 43(8): pp 400-. UNAM. México, DF.
- OTERO, M. R; (1997b) *Imágenes mentales y explicaciones de los alumnos*. Publicado en Memorias del Ier Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências pág. 400-410, realizado en, San Pablo, Brasil.
- OTERO, M. R.; PAPINI, M. C. ELICHIRIBEHETY, I. (1998 a) *Las representaciones mentales y la resolución de un problema: un estudio exploratorio*. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol3/n1/7indice.htm>. Revista Investigacoes em Ensino de Ciências. Instituto de Física, Universidad Federal de Rio Grande do Sur, Porto Alegre.

- OTERO, M. R y BANKS LEITE L. (1998 b) *Buscando Modelos Mentales*, Disertación de Maestría, Fac. Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro, Noviembre.
- OTERO, M. R y MOREIRA M. A. (1999) *Representaciones Mentales y Significados en el Aprendizaje de la Física*. Proyecto de Tesis de Doctorado, Presentado oralmente en Julio del corriente, en el marco el Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias de la Universidad de Burgos, España.
- PAIVIO, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. Holt, Rinehart and Winston, Inc. New York.
- PIAGET, J. y INHELDER, B.(1955), orig. francés, Castellano (1976) *De la Lógica del Niño a la Lógica del Adolescente*. Ed. Pionera.
- PIAGET, J. y GARCÍA, R. (1982) *Psicogénesis e Historia de las Ciencias*. Editorial siglo XXI, México.
- PIAGET, J. y INHELDER, B.(1971),. *Mental Imagery in the Child*. New York: Basic Books.
- POZO J.I. (1989) *Teorías Cognitivas del Aprendizaje*. Ed. Morata, Madrid.
- POZO J.I. (1997) *La Psicología Cognitiva y la Educación Científica*.
<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/N2/Pozo.htm>
- RIVIERE, A. (1987) *El sujeto de la Psicología Cognitiva*. Editorial Alianza: Madrid.
- ROGERS, Y. (1992), *Introduction*, en Rogers, Rutherford y Bibby, *Models in the mind*, Academic Press,
- RUTHERFORD y WILSON, (1992) *Searching for The mental Model in Human Machine Systems*, en Rogers, Rutherford y Bibby, *Models in the mind*, Academic Press.
- SASSE, M. A. (1992) *User's Models of Computer Systems* en Rogers, Rutherford y Bibby, *Models in the mind*, Academic Press.
- SHEPARD, R. (1978) *The mental Image*. *American Psychologist*. 33, 125-137.
- SPELKE, E. S. (1991) *Physical Knowledge in infancy: reflections on Piaget's Theory*. En S. Carey y R. Gelman (eds.) *Epigenesis of the Mind: Essays in Biology and Knowledge*. Erlbaum.
- VYGOTSKY, L. I. (1988) *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores* Aprendizaje, Visor. Madrid.
- VYGOTSKY, L. (1993) *Obras escogidas I y II*. Aprendizaje, Visor. Madrid.
- VYGOTSKY, L. (1988) *El desarrollo de los Procesos Psicológicos Superiores*. Crítica Grijalbo. México.
- WAERN, Y. (1987) *Mentals Models in learning computerized tasks*. En Frese, M., Ulrich, E. Y Dzida, W. (comps), *Psychological Issues of Human Computer Interaction in The Workplace*, Amsterdam, Elsevier.
- WITTGENSTEIN, L. (1922) *Tractatus Logico-philosophicus*, Ed. Alianza Madrid, 1973, 1ra. Ed.

YOUNG, R. M. (1983) *Surrogates and mappings: two kids conceptual models for interactive devices*. En Getner, D. Y Stevens, A. L. (comps.), *mentals models*, Hillsdale, NJ, LEA.