

Capítulo I

Inteligencia Natural

I.1. Concepto General de la Acción

Los seres vivos actuamos en el mundo. La acción se realiza por un agente y se traduce en un cambio. Actuar es una noción básica y no se refiere a una noción más primitiva. Las acciones se oponen a los eventos naturales, como las hojas que se lleva el viento o los árboles que se queman cuando les cae un rayo. Mientras que las acciones son conductas, cuyo estudio corresponde a la biología y a la psicología, los eventos son fenómenos de la naturaleza, y su estudio es objeto de las ciencias generales, como la física y la química. La acción se orienta en el plano individual a preservar la vida y en el colectivo a preservar la especie. Desde esta perspectiva, la vida y la acción humana se sitúan en una continuidad ecológica y evolutiva. Cada individuo confronta un espacio local –contenido en el espacio global– con un grado específico de variabilidad y complejidad ante el cual tiene que actuar continuamente. Asimismo, está dotado de un conjunto particular de tipos de acciones cuyas instancias –o su realización– articulan su interacción con el entorno. Por medio de éstas se alimenta y se libra de sus depredadores. Las acciones a su vez se pueden realizar de forma aislada para lograr objetivos concretos, posiblemente simples, o se pueden coordinar en diferentes grados para conseguir objetivos complejos. Mientras más amplio sea el abanico de acciones y mejor su coordinación, el individuo y la especie estarán mejor dotados para sobrevivir en entornos

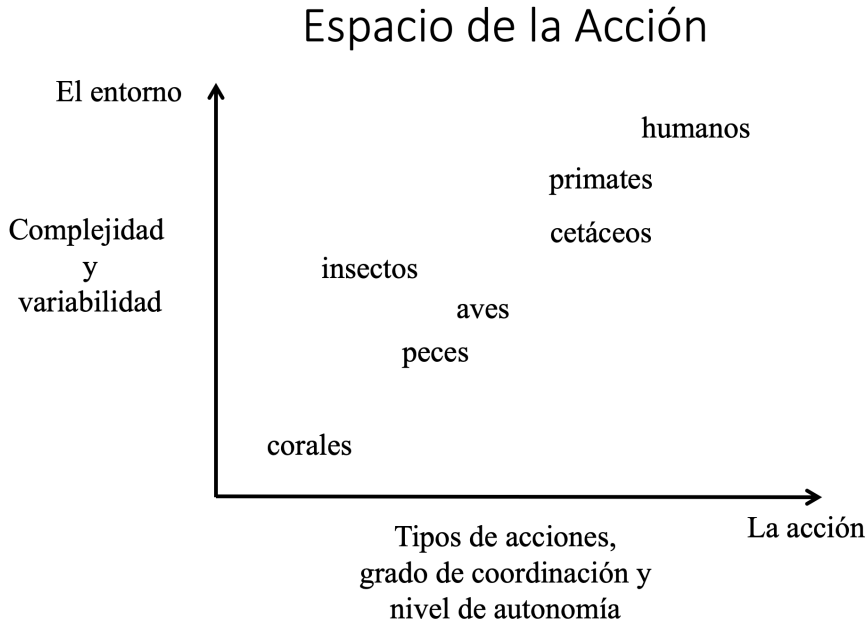


Figura 1.1: El espacio de la Acción

más complejos y variables. La acción se puede dar de forma automática o reactiva, como respuesta a los estímulos del mundo o a los mensajes que se reciben de otros agentes, o puede ser proactiva, causada por las intenciones del propio individuo, que le confieren su autonomía, y en última instancia lo hacen un ser libre.

La variedad de los tipos de acciones, su grado de coordinación y el nivel de autonomía del individuo son dimensiones diferentes, pero para efectos de la presente exposición se abstraen en una sola a la que designamos aquí *la dimensión de la acción*. La complejidad y variabilidad del entorno son asimismo nociones diferentes pero se abstraen aquí en la *la dimensión del entorno*; ambas tomadas en conjunto dan lugar al *espacio de la acción*. Todo individuo y especie en el mundo biológico tiene un lugar en este espacio, como se ilustra con algunos ejemplos en la Figura 1.1. Aunque las máquinas y los robots son creaciones humanas, se pueden también ubicar en el espacio de la acción y desde la presente perspectiva hay una continuidad entre la inteligencia natural y la artificial, salvo las limitaciones de la máquina en relación a la comprensión y la conciencia, como se discute en el capítulo ??.

La visión de la inteligencia como una propiedad de los individuos que depende de la variedad y coordinación de la acción está en la base de la teoría del desarrollo mental desarrollada por Jean Piaget [12]. Piaget sostiene que de manera completamente general, toda acción, es decir, todo movimiento, todo pensamiento y todo sentimiento, es la respuesta a una necesidad (Piaget, 1970, pp. 15). La necesidad puede surgir del entorno exterior o ser interna al organismo; en ambos casos, se atiende por la acción motora, como detenerse si se va a chocar contra un objeto o evadir un obstáculo; por un pensamiento, como diagnosticar la causa de un hecho observado; o por un sentimiento, como alegrarse por un recuerdo de un hecho feliz guardado en la memoria.

Toda necesidad es la manifestación de un desequilibrio del organismo –o el sistema– y la acción tiende a recuperar el equilibrio. El desequilibrio puede ser con el entorno externo pero los organismos se afectan también por sus propias percepciones, pensamientos y emociones. La acción tiende a restablecer el equilibrio de manera inmediata y, al mismo tiempo, a lograr un equilibrio más estable. Éste es un proceso continuo y el equilibrio es móvil o dinámico.

Piaget llama *asimilación* a la incorporación de la experiencia y *acomodación* a la modificación del organismo para adaptarse mejor al entorno. La adaptación puede ser pasiva como cuando se responde a un cambio inmediato del entorno, pero también activa, como cuando se modifican las estructuras causales de la conducta para anticipar cambios del entorno en el mediano y largo plazo. En el contexto computacional y aludiendo a la misma idea Turing propuso que la adaptación pasiva corresponde, por ejemplo, al retorno al equilibrio después de la excitación de la cuerda de un piano o de una masa atómica subcrítica, mientras que la activa a la reacción en cadena causada por la excitación de una masa atómica supercrítica [1]. Un mismo individuo puede adaptarse de manera pasiva a los cambios que ocurren en el mundo de manera cotidiana y también de manera activa cuando requiere resolver un problema para el que no tenga una conducta conocida o cuando se involucra en un proceso creativo.

Una consideración adicional es que en los organismos muy simples las conductas están dadas de antemano y son fijas a lo largo de su vida, pero otros más complejos se desarrollan y pasan por una serie de estadios o planos de organización interior con un repertorio de acciones específicas, con mayor grado de estructura y coordinación, que los habilitan atender des-

equilibrios más complejos. Estos corresponden a las etapas del desarrollo mental. Cada etapa le brinda al individuo un nuevo conjunto de conductas que le permiten adoptar una perspectiva novedosa sobre sí mismo y sobre el mundo, pero su uso requiere un amplio proceso de asimilación, que se da inicialmente de manera egocéntrica y que puede provocar desequilibrios momentáneos; sin embargo, esta asimilación va aunada a un proceso de transformación de sus estructuras internas, la llamada acomodación, que concluye al final de la etapa, cuando las nuevas habilidades se pueden usar de manera efectiva y el individuo es capaz de sostener equilibrio más estable.

De manera paralela, el proceso de acomodación engendra un nuevo conjunto de acciones que maduran a lo largo de la etapa, las cuales constituyen el inventario de conductas de la siguiente etapa. El paso de una a otra ocurre con una reorganización global de la conducta que da una nueva cualidad a la interacción del individuo consigo mismo y con el entorno –visible para un observador externo– que le permite establecer equilibrios más estables. La nueva etapa involucra a su vez un ciclo mayor de asimilación y acomodación hasta llegar a la siguiente; este proceso continúa de manera recurrente hasta alcanzar la etapa de la vida adulta.

Cada etapa se puede considerar como un plano paralelo en el espacio de la acción ilustrado en la Figura 1.1 y también, desde un punto de vista evolutivo, como un estadio de desarrollo de la especie. Los equilibrios que se pueden alcanzar están supeditados al repertorio y grado de coordinación de las acciones propias de la etapa.

Los diversos estadios del desarrollo mental se pueden también conceptualizar como niveles de sistema, que corresponden a planos de análisis del fenómeno. Desde esta perspectiva cada nivel se puede analizar con sus propias funcionalidades, con sus respectivas entradas y salidas, de manera independiente de los otros. Asimismo, los niveles superiores surgen de los niveles inferiores. La relación de un nivel con los niveles inferiores se puede analizar por composición de las conductas, y por los mismo reducirse a ellas, o la funcionalidad del nivel superior puede “emerger” por una reorganización radical de las conductas de los niveles inferiores, en cuyo caso no se puede analizar como “reductiva”. Esta partición de labores permite enfocar el estudio y comprender mejor las acciones y equilibrios de cada etapa.

La inteligencia y el nivel de racionalidad de cada especie o individuo es función de la variedad, coordinación y nivel de autonomía de las acciones, en el plano de cada etapa y entre las diversas etapas, que le permiten al individuo y a la especie adaptarse de manera más estable a entornos más complejos y variables. Aunque la inteligencia se concibe como aquella asociada al pensamiento y la autonomía de los organismos, y posiblemente de los mecanismos altamente desarrollados, ésta es la culminación de un continuo que culmina en el cuadrante superior a la derecha del espacio de la acción.

1.2. El Desarrollo Mental

Si le tomamos la palabra a Turing literalmente y nos abocamos a crear la máquina niño ¿qué es lo que hay que hacer? Para apreciar de manera más puntal la inmensidad de la tarea conviene revisar cómo es el desarrollo mental de los seres humanos. Por supuesto, no hay una teoría comprensiva y acabada del fenómeno, pero a manera de ilustración se adopta aquí la de Piaget.¹ Ésta comprende la descripción de las acciones y su grado de coordinación en el plano motor, intelectual y afectivo, en seis etapas principales como sigue (Piaget 1970, pp. 13):

1. de los reflejos o ajustes hereditarios, primeras tendencias instintivas y primeras emociones;
2. de las primeras costumbres motrices, primeras percepciones organizadas y primeros sentimientos diferenciados;
3. de la inteligencia sensorio-motriz o práctica, de las regulaciones afectivas elementales y las primeras fijaciones exteriores de la afectividad;
4. de la inteligencias intuitiva, los sentimientos interindividuales espontáneos y las relaciones sociales de sumisión al adulto;

¹Primero se describe la teoría general y posteriormente se abordan sus aciertos y limitaciones a la luz de los progresos científicos más recientes.

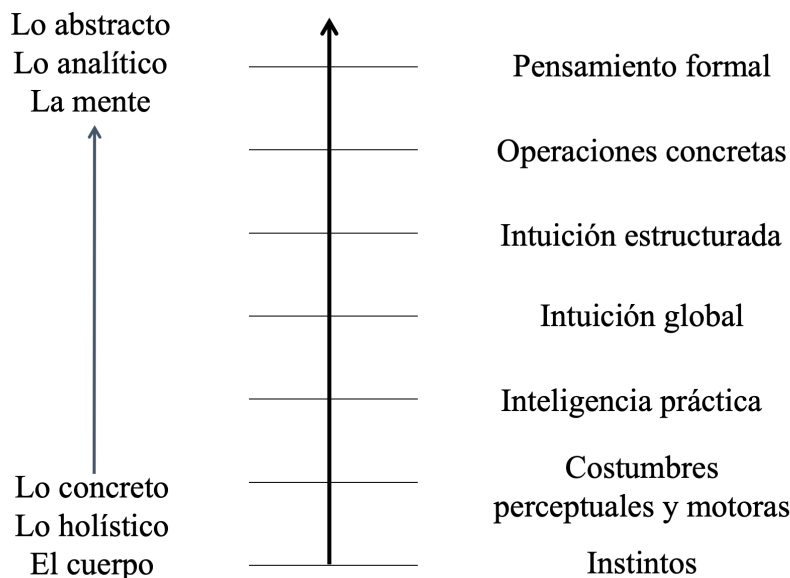


Figura 1.2: Etapas del Desarrollo Mental

5. de las operaciones intelectuales concretas, los sentimientos morales y sociales de cooperación;
6. de las operaciones intelectuales abstractas y la formación de la personalidad.

Las tres primeras corresponden al desarrollo del bebé –el recién nacido y el lactante– y preceden a la aparición del lenguaje. La cuarta corresponde a la primera infancia de los 2 a los 7 años; ésta se divide a su vez en dos subetapas que corresponden a los estadios de la intuición global y de la intuición estructurada, y que por su importancia se abordarán por separado. La quinta es la segunda infancia de los 7 a los 12 años y la última es la etapa de la adolescencia y la inserción en la vida adulta. El progreso de las etapas se caracteriza también por la orientación de las acciones en tres aspectos principales: 1) en su carácter: de lo concreto a lo abstracto; 2) en su diferenciación: de lo holístico a lo analítico o composicional; y 3) en su materialidad: de lo corporal a lo mental. Las etapas principales propuestas por Piaget se ilustran en la Figura 1.2.

Las características principales de las etapas se resumen a continuación en cuadros sinópticos –Figuras 1.3, 1.4, 1.6 y 1.8– en los que se presentan las conductas principales y su grado de coordinación. En cada cuadro los tipos de conductas así como su progreso a través de la etapa se describen de arriba hacia abajo. Cada etapa se inicia con una fase de asimilación egocéntrica en la que se interioriza el mundo que se hace disponible por las nuevas conductas. Las nuevas experiencias que se ofrecen al individuo tienen un gran riqueza y su asimilación puede tomar meses o incluso años dependiendo de la etapa. En dicha fase el individuo puede presentar diversos desequilibrios momentáneos precisamente por estar centrado sobre sí mismo; sin embargo, poco a poco sus estructuras internas cambian o se acomodan para adaptarse de forma productiva y mantener un equilibrio más estable. El egocentrismo inicial se revierte y la actividad se orienta hacia el exterior. Este proceso puede conllevar mini-ciclos en cada etapa, pero hay un ciclo mayor que es lo que caracteriza a la etapa del desarrollo mental propiamente.

Los tipos de conductas motoras, intelectuales y afectivas se agrupan en columnas, iniciando con las conductas del bebé como se muestra en la Figura 1.3. Las columnas progresan en paralelo y se sugiere de manera grossa que además de las coordinaciones en cada columna, las conductas paralelas a lo largo de las columnas están también mutuamente coordinadas –es decir, lo motor con lo intelectual y lo afectivo.

En particular, la conducta motora se desarrolla desde los instintos del recién nacido hasta que el bebé camina y toma control de su cuerpo en el entorno. En las etapas de la infancia y la adolescencia, por su parte, el énfasis en el desarrollo motor pasa a la sociabilización de la acción, principalmente a través del uso del lenguaje, por lo que en las figuras 1.4, 1.6 y 1.8 la acción motora se sustituye por la sociabilización de la acción.

1.2.1. El bebé

La vida del recién nacido hasta la aparición del lenguaje comprende tres etapas, que corresponden a tres ciclos completos de asimilación y acomodación, como se muestra en la Figura 1.3. La primera de éstas se caracteriza por los reflejos y las conductas instintivas. En esta fase inicial no hay diferenciación entre el yo y el mundo externo, y el bebé se enfrenta

Fases principales	Sub-etapas	Tipos de Acciones de la vida mental		
		Motoras	Intelectuales	Emotivas (móviles y valores)
El recién nacido y el lactante Mini-revolución Copernicana desde el nacimiento hasta la adquisición del lenguaje entre los 18 meses y dos años	Los reflejos e instintos (primeras cinco a ocho semanas)	Percepción y acción indiferenciada: • Succión • Poner el pulgar en la boca • Mirar y oír • Zorandear objetos • Sonreír ante entes sensibles y animados • Llorar y expresar miedo	• No hay diferenciación entre el yo y el mundo exterior (egocentrismo inconsciente e integral)	Emociones primarias: • Angustia por hambre o frío (relación con necesidades básicas de nutrición y abrigo) • Calma cuando está satisfecho • Miedo por pérdida del equilibrio o contrastes bruscos (relación con el sistema fisiológico de postura)
	Costumbres perceptuales y motoras (entre los tres y seis meses)	Esquemas de acción sensoriales-motores: • Chuparse el dedo • Voltar hacia donde surge un ruido • Seguir un objeto con la cabeza • Presionar y manipular objetos Imitación: • Visual (gestos de las manos) • Movimientos conocidos • Gestos faciales (no visibles) • Inicia imitación de los sonidos	Se inicia el registro de la experiencia (egocentrismo general y consciencia del yo): • Reacciones circulares (el bebe repite ciclos que llevan a resultados interesantes) • Juego sensorio-motriz • Distinguir personas visualmente • Captar objetos visuales • Noción de espacios separados (bucal, táctil, visual) • Causalidad "mágica": acción propia y lo que provoque	Sentimientos elementales relacionados con la propia actividad: • Agrado y desagrado • Placer y dolor • Éxito y fracaso • Interés en el cuerpo por sus movimientos y resultados Relación afectiva global sin comunicación diferenciada
	Inteligencia sensorial-motriz (hasta la aparición del lenguaje) Inicio de la inteligencia práctica	Coordinación de esquemas de acción mediante la asimilación recíproca: • Manipulación de objetos • Jalar un objeto sobre una manta • Atraer un objeto con un palo (medios y fines) • Se asimilan nuevos objetos a los esquemas • Se asimilan esquemas a situaciones novedosas • Caminar	Construcción de categorías prácticas o de acción pura: - Objeto (permanencia atribuida a los cuadros sensoriales) - Espacio general: relaciones de objetos (incluyendo el cuerpo) - Causalidad: seriación entre la acciones y el cambio de relaciones espaciales - Tiempo: Series de posiciones	Construcción universo objetivo; objetivación de los sentimientos y proyección sobre otras actividades distintas al yo: • Alegría y tristeza relacionadas con éxito o fracaso • Consciencia del yo y de la persona exterior (madre, padre) • Inicio de sentimientos interindividuales: simpatías y antipatías iniciales

Figura 1.3: Acciones del Bebé

a diversos estímulos visuales, auditivos y táctiles sin estructura alguna. El instinto básico es la succión y esta conducta constituye su modo principal de relación con el mundo. Sin embargo, muy rápidamente el bebé mira, oye y empieza a zarandear objetos. La vida emocional es también indiferenciada y se constituye por las respuestas a los estímulos básicos como el hambre y el frío. Las emociones faciales, como la sonrisa y el llanto, se inician muy temprano. El miedo surge en esta etapa asociado al desbalance o los contrastes bruscos y tiene una relación estrecha con al sistema fisiológico de postura. El equilibrio alcanzado en esta etapa corresponde al de los estímulos y sensaciones indiferencias con sus respuestas globales.

Al término de la primera etapa se logran también las primeras diferenciaciones, aunque de manera cualitativa, que constituyen la base del repertorio de conductas de la etapa de las costumbres perceptuales y motoras. Chuparse el dedo, voltear hacia la fuente de un sonido y seguir un objeto con la vista muestran una separación de dichos estímulos del resto del entorno. En la parte final de esta etapa el bebé es capaz de imitar movimientos, gestos de las manos y sonidos. En el aspecto intelectual el bebé repite ciclos de conducta que le resultan novedosos o atractivos, las llamadas reacciones circulares; se inicia una fase de causalidad

“mágica” donde hay una relación entre acciones genéricas y efectos globales y se diferencian los espacios visual, bucal y somático. Aparece la primera conducta asociada al juego, la cual tiene un carácter sensorimotor. En el plano afectivo hay ya emociones asociadas a estímulos diferenciados relacionados con la propia actividad como el agrado y desagrado, el placer y el dolor, y las asociadas a los éxitos y los fracasos, principalmente de la acción motora. Al final de esta etapa surge el interés hacia los cuerpos y los resultados de sus movimientos. El interés se manifiesta como la regulación de la energía que habilita la acción intelectual y motora. El equilibrio alcanzado en esta etapa consiste en la primera diferenciación de los estímulos perceptuales y las respuestas diferenciadas hacia los mismos, tanto de carácter motor, intelectual y afectivo, aunque no hay todavía ninguna interiorización ni una noción de objeto individual o concreto.

La diferenciación cualitativa prepara la construcción de los primeros esquemas de acción motores. Estos consisten en la asociación de sensaciones y acciones diferenciadas, como la manipulación de objetos, aunque todavía no hay una noción de permanencia del objeto, el cual deja de existir en cuanto desaparece del campo sensorial visual o táctil. Los esquemas de acción se guían por la percepción y se orientan hacia el exterior. Posteriormente se pueden utilizar como medios y fines, como atraer un objeto con un palo. Los esquemas se aplican más tarde a objetos y situaciones novedosas, y las conductas motoras se coordinan de manera más compleja, como cuando se aprende a caminar. Las conductas motoras se apoyan en las intelectuales que habilitan la permanencia de cuadros sensoriales, y las nociones iniciales de espacio, como relaciones entre objetos, incluyendo el propio cuerpo, la causalidad como la seriación de la acción y el cambio de posición, y del tiempo como las series de posiciones. En esta etapa se presentan las primera conductas afectivas diferenciadas y orientadas hacia acciones u objetos. Por ejemplo la alegría o el enojo relacionado con el éxito o el fracaso de los esquemas de acción motores. El interés se dirige a los objetos animados más cercanos, como la madre y el padre, y se inician los sentimientos inter individuales diferenciados, como la simpatía y la antipatía. El equilibrio alcanzado en esta etapa consiste en la asimilación de los objetos diferenciados, incluido el propio cuerpo, y la acomodación de las conductas para

realizar acciones motoras, intelectuales y afectivas diferenciadas, dirigidas hacia los objetos en el mundo.

El desarrollo del bebé pasa por las tres etapas mencionadas, pero desde una perspectiva más general consiste en una sola etapa mayor que empieza con la asimilación del mundo como cualidades visuales, auditivas y táctiles desorganizadas, ante las cuales se actúa sin coordinación alguna, sin una noción del yo, y concluye con diferenciación de los objetos y conductas dirigidas a un objeto externo, transformando el egocentrismo inicial del recién nacido a la creación de un yo espacial, en el cual el bebé es ya un objeto. En el plano motor la etapa concluye cuando el bebé empieza a caminar. Ésta es una conducta que refleja una alta coordinación de las acciones de todo el cuerpo –piernas y pies, pero también el torso, la cabeza, los brazos y las manos– cuya coherencia muestra que el cuerpo actúa ya como un ente espacial individualizado. Posteriormente el niño y el adulto se podrán especializar en habilidades motoras particulares a lo largo de la vida, pero el yo físico y motor madura en esta etapa. Piaget compara a este proceso con la inversión copernicana en la que se transforma la concepción egocéntrica del universo, en la que la tierra está en el centro y el resto de los astros giran en torno a ella, a la concepción en que la tierra, que corresponde al propio cuerpo, es uno más de los objetos.

1.2.2. La primera infancia

La primera infancia se inicia cuando aparece el concepto del objeto individual, que implica que el mundo se puede partir en individuos, con sus propiedades y relaciones. El concepto del objeto corresponde a la interiorización de los objetos externos como símbolos en la memoria. Piaget ilustra este concepto con experimentos en los que se analiza la conducta del bebé cuando los objetos desaparecen de la vista. En un escenario hay un tren sobre una vía, con un túnel que oculta un segmento del trayecto; en la etapa de las costumbres perceptuales y motoras el bebé sigue al tren en movimiento, pero la conducta cesa cuando éste entra al túnel y desaparece de la vista. El concepto del objeto se manifiesta cuando el niño fija su atención en la salida del túnel, esperando que el tren reaparezca por ahí eventualmente. La permanencia del objeto tiene grandes repercusiones para la mente, cuya asimilación y aco-

Fases principales	Sub-etapas	Tipos de Acciones de la vida mental		
		Socialización de la acción	Pensamiento e Intuición	Emotivas y Afectivas
Primera infancia (dos a siete años) Continuación de la inteligencia práctica	Intuición global	Aparición del lenguaje (sociabilización de la acción, pero sin salir del punto de vista propio): • Hechos de subordinación y coacción del adulto: Recibir consignas y cumplir órdenes • Los hechos de intercambio: conducen a formular la acción propia y hacer el relato del pasado; traducen conductas materiales en pensamientos • El soliloquio (coadyudante de la acción inmediata); juego espontáneo; lenguaje para sí mismo; monólogos colectivos y reglas del juego propias Surge el yo social	Génesis del pensamiento: • Interiorización de la palabra (lenguaje interior y sistema de signos públicos) Aparece la Memoria: • Relacionada con el relato • Evocación de experiencias anteriores y anticipación del futuro Juego simbólico (Juego de imaginación e imitación): • Asimilación deformada de lo real para satisfacer al yo (muñecas, soldaditos, etc.) • Instrumento: Imagen y símbolo privado • Pensamiento egocéntrico en su estado puro Pensamiento normal del niño: • dónde, qué, por qué (entre finalidad y causa) • Animismo • Artificialismos (las cosas son construidas por el hombre) Interiorización de la acción: • En el plano intuitivo de las imágenes y las experiencias mentales • Correspondencia visual • Agrupamiento por cualidades globales (no hay noción de igualdad)	Sentimientos inter-individuales relacionados con el sistema de valores: • Simpatías y antipatías (valoración mutua y escala común de valores) • Sumisión inconsciente debida a la coacción espiritual ejercida por el adulto Aparición de los sentimientos morales intuitivos (normativos o reglas morales): • Respeto (afecto y temor) por lo que acepta y cumple órdenes (se genera la obligación y el sentido del deber). • Moral = obediencia (violación: castigo más fuerte sin atenuantes) • Bien = voluntad de los padres • Mentira: más malo mientras mas alejado de la realidad sin tomar en cuenta el valor El interés: • Regula la energía automática y continua; asimila mentalmente el objeto a la actividad del sujeto • Engendra/implica un sistema de valores: los intereses –hacia palabras, imágenes, dibujo, ritmos físicos, ejercicios—para asegurar el equilibrio del yo. • Autovaloración: éxito o fracaso de intereses o valores relativos a la actividad propia
	Intuición estructurada		Pensamiento intuitivo o lógico de la primera infancia: • Coordinación senso-motriz anticipada por la representación Esquemas de acción estructurados (conducta guiada por la percepción pero ya hay análisis): • Conservación de la cantidad (hacia los 6 años) • Cada objeto tiene su propio espacio y tiempo • Juego reglamentados (obligaciones comunes: las reglas del juego)	

Figura 1.4: Acciones de la primera infancia

modación caracterizan a la primera infancia. Las acciones de esta etapa se ejemplifican en la Figura 1.4.

Como todas las etapas, ésta se inicia con una fase de asimilación. La súbita aparición de los objetos, con toda su variedad y riqueza, así como las relaciones con el niño y entre ellos mismos, hace que la asimilación sea una gran empresa. Vienen de todos colores y sabores: animados e inanimados; amigables u hostiles, interesante y aburridos. Imaginemos al bebe que de pronto se dice a sí mismo “¡Ajá, qué interesante! ¿y qué hago con todos éstos?” – aunque, por supuesto, el bebé tendrá que esperar hasta que aparezca la reflexión, que será también una gran conquista, para hacerse esta pregunta. El objeto animado –como la madre y el padre– es el más saliente y el niño pequeño tiende a atribuir la animación a los cuerpos inertes (las canicas, la luna) y materializa la vida anímica (el pensamiento es una “voz” y “es viento”). Asimismo, tiende a creer que la causa de las cosas y de los fenómenos naturales es el propio ser humano, a lo que Piaget denomina *artificialismo*.

En el ámbito de la sociabilización aparece el lenguaje. Éste se inicia con las expresiones de subordinación al adulto, como dar y recibir órdenes; se sigue por el lenguaje acerca de los hechos de intercambio, que a su vez conducen a formular la acción propia que se traduce

en pensamiento y en los primeros relatos. Esta fase incluye también el soliloquio: el niño juega sólo, en voz alta, y el lenguaje es coadyudante de la acción inmediata. El lenguaje es egocéntrico pero las relaciones no son todavía recíprocas; por ejemplo, si al niño de entre cuatro y cinco años se le dice que Pablo tiene un hermano, Esteban, sabe que Pablo tiene un hermano, pero si se le pregunta si Esteban tiene un hermano se confunde y no puede formular una respuesta. Es la época de los por qué, en que la respuesta que se busca está a la mitad del camino entre las causas y las finalidades, desde una perspectiva egocéntrica. Al final de esta etapa el niño participa en conversaciones pero en las que prevalece el punto de vista interior, sin coordinación con los interlocutores, por lo que el escenario es más bien de monólogos colectivos. El lenguaje se usa también para definir y seguir las reglas del juego, pero desde una perspectiva egocéntrica en la que cada jugador sigue sus propias reglas. En esta etapa el mundo social involucra ya representaciones interiores pero con un egocentrismo inconsciente ajeno al yo social.

En el plano de la afectividad aparecen los sentimientos morales interindividuales, como el respeto y la sumisión hacia el adulto –como una mezcla de afecto y temor– la moral como obediencia, y el bien como la voluntad de los padres. Aparece también la noción de la mentira como desviación de la verdad, pero sin la connotación de la obligación moral debida al contrato social.

En esta etapa aparece también el interés hacia los objetos, pero ahora ya como entes estables que permanecen ante el cambio. El interés permite que se desarrollen intereses particulares, por ejemplo hacia el ejercicio físico, las palabras o las imágenes. Los intereses están a su vez coordinados con los sentimientos de éxito o fracaso, con la valoración de la propia actividad y con la autovaloración propia. Esta dimensión afectiva subyace a la autonomía, que se inicia cuando el individuo actúa respecto a sus propios intereses.

En el plano intelectual el concepto del objeto aparece junto a la memoria y coincide con la génesis del pensamiento. En su forma más básica, pensar es la acción mental dirigida hacia objetos concretos: es una acción sobre los símbolos que representan a dichos objetos. El pensamiento está a su vez coordinado con el lenguaje y la afectividad. Piaget distingue aquí los signos, propios del lenguaje, que son públicos, de los símbolos, que son internos y privados.

Distingue además a la imagen del símbolo, cuyo carácter es lingüístico. Sostiene que la memoria se relaciona con el relato, la reflexión con la discusión, la creencia con el compromiso o promesa y, de manera más general, el pensamiento con el lenguaje.

Aparece el “juego simbólico”, como jugar a las muñecas o a los soldaditos, cuyo instrumento es la imagen y el símbolo privado. En éste el niño traduce la realidad no asimilada, que puede ser frustrante, y la “corrige” de acuerdo a su propia perspectiva. Por lo mismo los símbolos tienen significados privados. Si el pensamiento no se adapta al mundo, lo que se corrige no es el pensamiento sino el mundo. Este es un desequilibrio que el niño tendrá que superar a lo largo de la etapa –y en cierta medida a lo largo de la vida.

La vida intelectual del niño entre dos y siete años se caracteriza por la aparición de la intuición, que también incide en los planos de la sociabilización y la afectividad. La intuición es la conducta guiada por la interiorización de los esquemas de acción que anteriormente estaban ligados invariablemente a la percepción. En la etapa previa dichos esquemas actuaban directamente sobre el mundo; sin embargo, gracias a la memoria, al concepto del objeto y al símbolo, éstos se pueden aplicar no sólo al mundo sino a sus representaciones. Esta forma de actuar precede a la lógica, pero es cotidiana en diversos ámbitos de la vida, en los que se actúa siguiendo “el esquema” en vez de razonando.

La sociabilización en su primera etapa, al igual que el lenguaje que la hace posible, se puede pensar como la conducta intuitiva guiada por esquemas de acción, en los que se combina la percepción con la acción lingüística que va aunada a la motora. Asimismo, las conductas afectivas de esta etapa se asocian a los resultados de las conductas intuitivas, y se pueden pensar con un carácter esquemático. Por ejemplo, el resultado de aplicar un esquema de acción se puede asociar con el sentimiento de éxito o fracaso y las emociones correspondientes de alegría y tristeza. El interés se manifiesta asimismo como la energía que se da o se aplica a la selección de los esquemas de acción y, por este medio, a la relación con los objetos.

La intuición se divide a su vez en dos etapas que Piaget llama *global* y *estructurada*. En la primera los esquemas se guían todavía por la percepción, donde la noción de correspondencia es visual y los objetos se agrupan de manera cualitativa. Piaget reporta un experimento en el que se ilustran estas propiedades y su desarrollo hasta la noción de igualdad. Éste consiste

en poner un conjunto de canicas azules alineadas sobre la mesa junto a otro grupo con un número arbitrario de canicas rojas. Si se les pide a niños de entre cuatro y cinco años que pongan tantas canicas rojas como quieran las alinearan como se muestra en la Figura 1.5.a. La cantidad depende del espacio ocupado y se toman en cuenta las cualidades globales de la colección, pero no hay un análisis de las relaciones entre los objetos individuales. Más tarde, entre los cinco y los seis años, el niño responderá a la misma pregunta alineándolas como se muestra en la Figura 1.5.b. en la cual hay ya correspondencia de la cantidad. Sin embargo, si se alarga el espacio moviendo las canicas superior e inferior hacia arriba y abajo respectivamente, como se muestra en la Figura 1.5.c, y se le pregunta al niño si las series son iguales, el niño responderá que no. Esto muestra que hay correspondencia visual u óptica, pero la igualdad no se conserva por correspondencia lógica. Más aún, si se rompe la serie y se agrupan las canicas rojas como se ilustra en la Figura 1.5.d y se le hace la misma pregunta, el niño simplemente se confunde y no responde, ya que la pregunta no tiene sentido para él. La conducta hasta este momento se guía por esquemas de percepción o acción transpuestos o interiorizados pero que carecen todavía de reversibilidad. Es hasta los seis años cuando el niño responderá que las canicas azules y rojas son iguales ante las manipulaciones en las Figuras 1.5.c y 1.5.d. En este momento la intuición es ya estructurada –o articulada– y no global, y aunque la conducta se somete todavía al patrón perceptual hay ya un análisis de las relaciones entre objetos individuales. En este momento surge el principio de conservación de la cantidad o la noción básica, aunque todavía concreta, del concepto de igualdad.

Otro escenario en el que se aprecia la intuición global de manera previa a la estructurada es cuando un cuerpo adelanta a otro. El niño a cualquier edad concluye que el cuerpo que rebasa va más rápido. Sin embargo, si el cuerpo más veloz no rebasa al más lento o los cuerpos se mueven en sentidos opuestos, o viajan en círculos concéntricos, la noción de velocidad desaparece. Si se pregunta a niños entre cuatro y cinco años qué objeto iba más rápido o si se detuvieron al mismo tiempo, se confunden y no responden. En estos escenarios cada objeto tiene su propio espacio y tiempo, y no hay coordinación entre los tiempos y espacios de objetos diferentes. Es hasta el final de la primera infancia cuando la intuición se estructura,

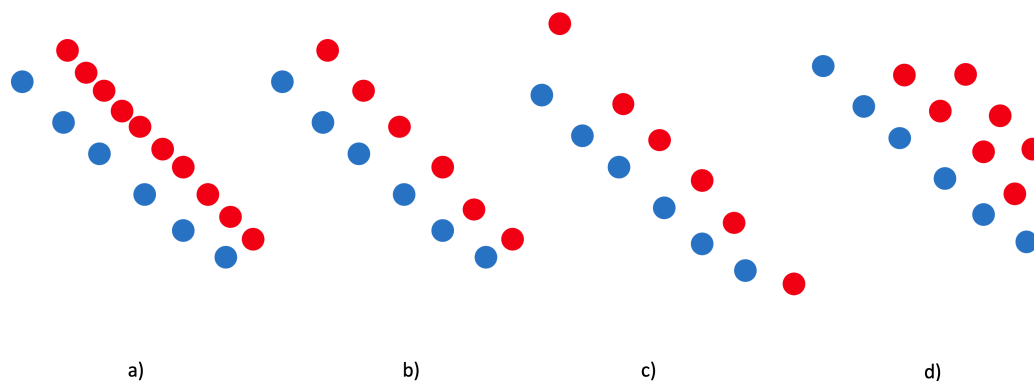


Figura 1.5: Desarrollo de Conservación de la Cantidad

la cantidad se preserva y los tiempos y espacios de objetos diferentes se coordinan, y el niño puede responder a estas preguntas.

La primera infancia corresponde al ciclo que se inicia por el desequilibrio causado por la aparición del concepto del objeto y la asimilación de los objetos que aparecen en el mundo. Inicialmente éstos, incluyendo al niño, tienen su propio tiempo y espacio. Con estos aparecen los sentimientos diferenciados hacia los objetos y hacia sí mismo, aunque aún no están coordinados. Se inicia la sociabilización de la acción con la aparición del lenguaje, pero éste es egocéntrico y no está tampoco coordinado. Más que dialogar hay monólogos colectivos. La coordinación se inicia con interiorización de los esquemas de acción que son primero globales, y se continúa con la intuición estructurada, cuando aparece el concepto de la conservación de la cantidad –o la sustancia– y el concepto concreto de la igualdad. Es en este momento en el que surge el pequeño Pitágoras que llevamos dentro, que nos permite orquestar al mundo de los objetos.

1.2.3. La segunda infancia

Iniciamos el análisis de esta etapa con las actividades intelectuales que sustentan a los progresos del lenguaje y la sociabilización así como a la afectividad. Las acciones en esta etapa se ilustran en la Figura 1.6. La novedad es la aparición de los principios de conservación, que

Fases principales	Sub-etapas	Tipos de Acciones de la vida mental		
		Socialización de la acción	Intelectuales	Afectivas
Segunda Infancia (siete a doce años)	Operaciones concretas	Coordinación con el punto de vista externo: •Concentración individual •Cooperación efectiva Intercambios de pensamiento reales (argumentos lógicos): •Pruebas y justificaciones Juego colectivo: •Reglas del juego comunes •Ganar adquiere significado colectivo (reconocimiento y ganancia) Reflexión: diálogo interiorizado: •Conducta social de discusión interiorizada •Pensar antes de actuar El yo se subordina a las leyes de reciprocidad	Principios de Conservación: •Sustancia (a 7 años): por transmutación y atomista •Peso (9 años) •Volumen (11 o 12 años): principio de Arquímedes Transitivity por cualidades concretas (a las edades correspondientes para longitud, peso y volumen): •Orden: $A < B$, $B < C$ entonces $A < C$ •Simetría: $A = B$, $B = C$ entonces $A = C$ Espacio y tiempo de diversos objetos referido a un marco de referencia coordinado (antes no hay un tiempo común) Aparece la Lógica: •Coordinación de diversos puntos de vista entre si, propios y de distintos individuos Las Operaciones (7 años): •Análisis por composición (suma, multiplicación) •Procesos reversibles (resta, división) •Operación + Inversa = Identidad (o nula) •Asociatividad Concepto o clase lógica: inclusión de la parte en el todo •El todo contiene todas las parte •La parte en el todo: Parte = Todo – Partes Restantes (reversibilidad) Concepto de número (Operaciones aritméticas): •Concepto cardinal (cardinalidad abstraída de la cualidad) •Relación de antisimetría	Coordinación de puntos de vista entre individuos: •Reciprocidad, autonomía y cohesión •Aparición de nuevos sentimientos morales y organización de la voluntad Respeto mutuo (forma superior de equilibrio a la simple sumisión): •Atribución recíproca de valor equivalente •Sometimiento a reglas comunes; nuevas reglas se aceptan por decisión común o acuerdo; contrato entre jugadores; obligación del yo consciente de forma autónoma •Honestidad: se excluye la trampa por que viola el acuerdo (comprensión de la mentira) •Sentimiento de justicia distributiva (sobre la obediencia) y retributiva (toma en cuenta intenciones y circunstancias). Proviene de sufrir injusticias! Lógica de los valores (sistema racional de valores personales): Los valores como operaciones La voluntad: •Equilibrio afectivo de las operaciones de la razón •Actúa sobre los sentimientos morales autónomos •Graduación de la energía para administrar tendencias en conflicto --ej., superiores débiles (deber) versus inferiores fuertes (placer). Se educa! •Voluntad reversible versus interés no reversible

Figura 1.6: Acciones de la segunda infancia

permiten comprender que una propiedad o relación se mantiene cuando los objetos se afectan por un cambio. El concepto del objeto individual es ya un principio de conservación que permite comprender la identidad a través del espacio y el tiempo, cuya asimilación y estabilización precede a los principios de conservación de propiedades específicas.

El primer principio de conservación se refiere a la sustancia o la materialidad de un objeto concreto. La sustancia se asocia directamente al peso y al volumen, cada uno de los cuales tiene su principio de conservación correspondiente. Piaget lo ilustra con un experimento en el que se constata el momento en que el niño afirma que, efectivamente, la sustancia, el peso y el volumen permanecen en un proceso de cambio. Éste consiste en mostrar al niño dos vasos del mismo tamaño y forma, con la misma cantidad de agua, colocados sobre los dos brazos de una balanza, que por supuesto está en equilibrio, como se muestra en la Figura 1.7.a. Sobre uno de los vasos se vierten algunos cubos de azúcar. El propósito es determinar cuándo el niño sabe que la sustancia (el azúcar) se conserva al disolverse en el agua. A lo largo del proceso el niño ve la balanza con los vasos y puede comparar lo que le ofrece la percepción con lo que le ofrece el pensamiento, como se muestra en la Figura 1.7.b. Los niños menores de siete años afirman que cuando el azúcar se disuelve deja de existir. Es decir, niegan la conservación de la sustancia y, a fortiori, la del peso y el volumen. Hacia los siete años aceptan la conservación de

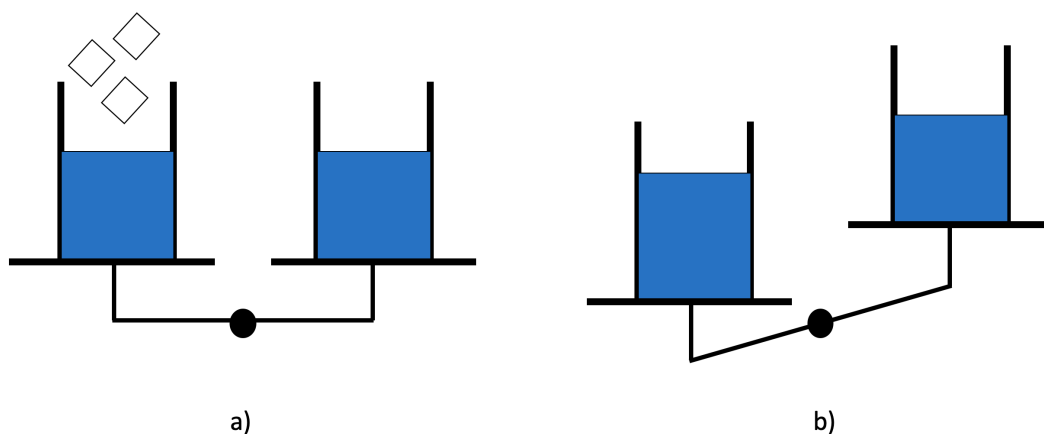


Figura 1.7: Principios de Conservación

la sustancia. Algunos la explican por transmutación, como cuando un jarabe se mezcla con el agua, mientras que los más avanzados dan una explicación atomista: sostienen que el azúcar se convierte a bolitas invisibles. Sin embargo, mantienen que las bolitas no tienen peso ni volumen, por lo que no hay conservación de estas propiedades. Hacia los nueve años sostienen ya que cada bolita tiene su propio peso y que el peso de todas corresponde al de los terrones disueltos; sin embargo, no admiten que tengan volumen y el principio de conservación para esta última propiedad aparece hasta los once o doce años, cuando pueden constatar la conservación del volumen por el desplazamiento del agua, con un conocimiento intuitivo del principio de Arquímedes. En esta etapa aparecen principios de conservación para diversas propiedades, como la masa, longitud, superficies y conjuntos disjuntos. Aparecen también los conceptos concretos de la relación antisimétrica o de orden (si $A < B$ & $B < C$ entonces $A < C$) y transitividad de la igualdad (si $A = B$ & $B = C$ entonces $A = C$) para propiedades específicas de manera análoga a los principios de conservación: longitud a los siete años, peso a los nueve y volumen entre los once y doce años.

En esta etapa se pasa de los esquemas de acción propios de la intuición a *las operaciones*. El niño cuenta ya o conoce varios conjuntos de individuos de diversos tipos, cuyos miembros se pueden agrupar por composición, como la suma y la multiplicación, que consisten en agrupar conjuntos de números varias veces sucesivas, o la resta y la división, que son las

operaciones inversas respectivas. Las operaciones tienen además un elemento de identidad, tal que la operación con dicho elemento resulta en el mismo objeto, y con el inverso en la identidad (e.j., $a + 0 = a$; $a - a = 0$; $b \times 1 = b$; $b/b = 1$) así como la asociatividad. Las operaciones son grupos en el sentido matemático pero los elementos de los conjuntos no son sólo números sino objetos de diversos tipos, concretos y abstractos, simple o compuestos y, en última instancia acciones. La innovación es que las operaciones con la identidad incorporan la reversibilidad y hacen al pensamiento mucho mas estable. La etapa concluye con la aparición del concepto lógico: la relación de inclusión de las partes en el todo y la parte como el todo menos el resto de las partes. El concepto lógico es reversible y permite la formación de taxonomías o jerarquías de clases. Esta construcción concluye con la aparición del concepto de número, que Piaget concibe como la coordinación del concepto cardinal –la abstracción de todos los conceptos con el mismo número de miembros pero sin tomar en cuenta su cualidad– con el concepto ordinal o la relación de antisimetría. Con la aparición del concepto de número aparece también el concepto de igualdad generalizado, que a su vez es un principio de conservación estructurado.

Aparece también la explicación causal como un juego de operaciones coordinadas o por composición partitiva. El propósito es corregir la intuición perceptiva, que corresponde a un punto de vista momentáneo, para transformar relaciones inmediatas en un sistema de relaciones objetivas. Surge la noción de espacio y tiempo público compartido y el marco de referencia coordinado.² La coordinación da lugar a la aparición de la lógica, que Piaget define como el sistema de relaciones que permite la coordinación de los diversos puntos de vista entre sí, que corresponden tanto a distintos individuos como a percepciones o intuiciones sucesivas de un mismo individuo (Piaget, 1970, pp. 58).

Las operaciones y la lógica se manifiestan directamente en la sociabilización de la acción. La conquista en el ámbito del lenguaje es la coordinación con el interlocutor o el punto de vista externo. Se pasa del soliloquio colectivo a la concentración que a su vez permite la colaboración efectiva y la subordinación a leyes de reciprocidad. Aparecen los intercambios lógicos,

²En la etapa previa, saber que un Pedro es más joven que Pablo no llevaba a la conclusión que Pedro nació después que Pablo.

a través de argumentos sustentados con pruebas y justificaciones. En el ámbito del juego, se acepta ya la regla común y las nociones de ganar y perder adquieren significado. La discusión se interioriza y aparece la reflexión, así como la posibilidad de prever las consecuencias de los actos; es decir, de pensar antes de actuar.

En el plano de la afectividad la coordinación con el punto externo da lugar a los sentimientos de autonomía, reciprocidad y a la aparición de sentimientos morales. Surge el respeto mutuo que involucra la atribución recíproca del valor, el sometimiento a reglas adoptadas o establecidas de común acuerdo, lo que conlleva la obligación moral y el sentido del deber. La mentira no depende ya de la desviación de la realidad sino se relaciona con el rompimiento del acuerdo social, por lo que aparece la honestidad y el sentido de justicia distributiva: el castigo se correlaciona con la gravedad de la falta y se toman en cuenta circunstancias atenuantes. La lógica de las acciones afectivas y su coordinación con el punto de vista externo dan lugar a un conjunto de operaciones afectivas reversibles: los sistemas de valores.

Estas son las condiciones para que surja la voluntad, como la forma más avanzada de la regulación de la energía, que antes se guiaba sólo por el interés. El interés ya sea sensorimotor o intuitivo dirige a la acción en una dirección pero no es reversible. Piaget sostiene que la voluntad, por su parte, actúa como una deducción en el plano afectivo –como una operación lógica– cuando hay un conflicto entre una tendencia inferior pero fuerte –con mucha energía– y una tendencia superior pero débil, que es el conflicto básico entre el placer y el deber. Si la conducta fuera meramente instintiva o intuitiva, la tendencia fuerte, como la satisfacción inmediata del placer, ganaría siempre. El acto de voluntad ocurre cuando la tendencia débil se sobrepone a la fuerte gracias a que la conducta se proyecta al sistema de valores, en el que la tendencia superior es más valiosa. La inversión de dirección en la que se canaliza la energía se debe a una operación afectiva reversible. El altruismo es un acto racional en el que se pospone o se renuncia a la satisfacción de deseos personales para lograr el bien colectivo. La maduración en el plano afectivo consiste en pasar del razonamiento egocéntrico del yo, aquí y ahora, al que abarca a otros o a todos, en todos lados y en el largo plazo.

De forma análoga al bebé que tiene que asimilar y acomodarse a los estímulos no estructurados que enfrenta en el mundo, el niño tiene que asimilar al mundo de los individuos,

que primero vienen con su propio tiempo y espacio, y sus relaciones causales particulares, que tienen que coordinar desde su punto de vista egocéntrico. La acomodación que da como respuesta son los principios de conservación y las operaciones, de las que surge el punto de vista externo y la coordinación de los objetos, de los diferentes puntos de vista del propio individuo, que se resume en la aparición de la lógica. Ésta se refleja en el plano intelectual, de la sociabilización de la acción y de la afectividad, de la cual surgen los sistemas de valores, la voluntad y en última instancia la libertad.

1.2.4. La adolescencia y la inserción en la vida adulta

La lógica alcanzada en la segunda infancia es todavía de carácter concreto. Los niños pueden ordenar colores desde muy temprano pero su razonamiento está todavía dominado por los contenidos. Si ante las afirmaciones *Verónica tiene el pelo más oscuro que Lupe* y *Verónica tiene el pelo más claro que María* se les pregunta quién tiene el cabello más oscuro, hasta los 12 años responderán que Verónica, ya que hasta dicha edad los contenidos, como “oscuro”, dominan el razonamiento. El niño entiende los pares $V > L$ y $V < M$ pero no de forma coordinada y es incapaz de ponerlos en la serie $M > V > L$. Piaget sostiene que esto se debe a su inhabilidad de postular entes hipotéticos.

La novedad en la adolescencia es la capacidad de abstraer que permite razonar acerca de entes sin realidad efectiva, sin el apoyo de la percepción, la experiencia o la creencia. Aunada a la abstracción aparece la capacidad de generalizar y con ésta la capacidad de hacer proposiciones acerca de todos los entes de un conjunto, incluyendo conjuntos con un número infinito de miembros, como los números naturales. La abstracción y la generalización facultan al adolescente a postular teorías y sistemas generales, tanto en el ámbito intelectual, como comprender los sistemas algebraicos; en el social, como postular teorías generales para reformar al mundo; e incluso en el afectivo, como postular teorías acerca del amor o la divinidad.

En esta etapa aparece también la reflexión intencional y el razonamiento formal. Piaget llama a la reflexión “pensamiento de segundo grado” ya que mientras que en la etapa previa de las operaciones el pensamiento es concreto y se lleva a cabo sobre representaciones de acciones posibles, el pensamiento formal opera sobre representaciones de representaciones de

Fases principales	Sub-etapas	Tipos de Acciones de la vida mental		
		Socialización de la acción	Intelectuales	Afectividad
El Adolescente (a partir de los trece años)	Pensamiento formal Conciliación de la reflexión con la realidad	Personalidad: - Programa de vida - Fuente de disciplina para la voluntad - Instrumento de cooperación Fases: - Repliegue asocial - Megalomanía y egocentrismo - Sociedad de discusión para construir el mundo en común - Alcanzar el equilibrio cuando se comprende que el propósito de la reflexión no es contradecir sino preceder e interpretar la experiencia - Orientación a lo social: realizador; el trabajo reestablece el equilibrio y acceso a la vida adulta	Pensamiento formal (hipotético-deductivo): - Abstracción: postulación y razonamiento acerca de entes hipotéticos - Generalización - Construcción de teorías y sistemas Reflexión: - Libre o desligada de lo real - Pesamiento acerca de representaciones	Se sitúa en un plano de igualdad (pero distinto) respecto a los adultos Nuevos sentimientos: - Generosidad - Altruismo - Fervor místico - Descubrimiento del amor - Jerarquía o sistema de valores afectivos Sentimientos inter-individuales

Figura 1.8: Acciones de la adolescencia

acciones posibles. Es entonces cuando se puede razonar acerca de la creencia, el conocimiento, la necesidad o la posibilidad. Por ejemplo, si P simboliza a la proposición “Pedro ama a María” se puede razonar acerca de *Juan cree que P* o *Juan sabe que P* , o en la forma subjuntiva –“Pedro ame a María”– se puede razonar acerca de *es necesario que P* o *es posible que P* . La facultad de la reflexión habilita al adolescente a razonar libremente y desligado de lo real.

La abstracción, la generalización y la reflexión formal habilitan el razonamiento válido en el que la relación entre las premisas y las conclusiones de los argumentos es una cuestión estructural que depende exclusivamente de la gramática y las palabras o constantes lógicas, como *y*, *o*, *no* y *si ... entonces*, y en el caso intensional *cree*, *sabe*, *necesariamente* y *posiblemente*. En la conversación cotidiana los seres humanos tenemos la capacidad de determinar si lo que nos dice nuestro interlocutor se sigue o no de manera muy efectiva; la mente verifica sistemáticamente que éste sea el caso y detecta inmediatamente cuando no lo es. Esta facultad lógica viene con el lenguaje y los niños muy pequeños la utilizan desde que aprenden a hablar, pero no es sino hasta la adolescencia cuando la pueden ejercer de manera completamente general, especialmente si los contenidos tienen un carácter abstracto. Piaget llama a esta forma madura de razonamiento válido “pensamiento hipotético-deductivo”.

Al igual que en las etapas anteriores las nuevas facultades intelectuales habilitan la socialización de la acción y la afectividad. En cuanto a la primera surge la personalidad. Piaget la entiende como la orientación de la acción supeditada a un programa de vida sustentado en un conjunto de valores, cuya aparición se debe también a la capacidad de crear sistemas generales, aunque en este caso orientado a la propia actividad, donde el yo se somete a la reci-

prociudad y las leyes de cooperación. La personalidad se refleja en encarnar un ideal o defender con toda la voluntad las causas en las que se cree, aunque a veces se confunda con la máscara que se presenta ante la sociedad.

La personalidad implica la cooperación y presupone la autonomía: se opone a la anomia o ausencia de reglas, donde priva el yo, y también a la heteronomia o sumisión a las coacciones impuestas por el exterior. Esta oposición es esencial para entender a la autonomía en el espacio de la acción en la Figura 1.1. En el sentido más básico la autonomía consiste en que el agente se mueva por sus propios motores internos para atender los requerimientos del entorno y satisfacer sus intereses, como en las etapas previas; sin embargo, en un sentido más avanzado, se guía en relación a un sistema de valores, toma en cuenta los intereses de otros agentes y asume una conducta cooperativa y colaborativa.

Como en todas las etapas anteriores la adolescencia se inicia con un repliegue del individuo sobre sí mismo en el que fabrica sus sistemas para asimilar y transformar al mundo. Posteriormente se abre poco a poco e inicia sociedades de discusión para construir un mundo en común, donde los sistemas pueden variar, pero existe el acuerdo absoluto de promover reformas. Finalmente al alcanzar la madurez el adolescente comprende que la función de la reflexión no es contradecir sino interpretar a la experiencia; cuando esto ocurre cambia su papel de reformador por el de transformador, donde el trabajo efectivo y profesional que se materializa en logros concretos hace que las construcciones ideales se desvanezcan.

En cuanto a la afectividad, el adolescente se sitúa ya en un plan de igualdad respecto al adulto, aunque se siente diferente y lo quiere superar y sorprender transformado al mundo. Por lo mismo, sus planes de vida están llenos de generosidad y altruismo. Aparece el fervor místico como una sublimación de los sentimientos filiales de omnipotencia, omnisciencia y perfección moral que antes adscribía a los padres, que transfiere a la divinidad abstracta. Sin embargo, este proceso pasa también por una fase egocéntrica y megalómana en la que hace un pacto de servicio con Dios pero en el cual se presenta a sí mismo como su representante y adopta una actitud mesiánica. Descubre también el amor, pero como la proyección ideal de un ser real. Estos ejemplos muestran que la metafísica, las pasiones y la megalomanía del adolescente lo preparan para la creación personal y las relaciones interindividuales de la vida

adulta. Esta preparación es esencial y Piaget recalca que quienes vivieron intensamente estas emociones y construyeron sus planes de vida para transformar al mundo tienen a la larga vidas más productivas y son más creativos.

Como cúspide de esta etapa en el aspecto afectivo surge la voluntad como producto de la lógica de los sentimientos que incluye la reflexión y el plan de vida. La voluntad es la fuerza que permite posponer la satisfacción inmediata para lograr un bienestar a largo plazo para el individuo y la sociedad. Es la fuerza que permite llevar a cabo acciones con un alto costo de energía en los planos motor, intelectual y afectivo para satisfacer una necesidad menos mediata, y hace posible la libertad. La voluntad y la libertad son el producto más acabado del ejercicio de la racionalidad afectiva y se reflejan en las acciones más a la derecha en el espacio de la acción en la Figura 1.1.

En resumen, para Piaget el desarrollo mental del ser humano se puede concebir como el proceso de asimilación y acomodación que va desde el nacimiento hasta la edad adulta. Este proceso pasa por varias etapas caracterizadas por su propio ciclo de asimilación y acomodación. En todas ellas la disponibilidad del nuevo conjunto de acciones abre un nuevo mundo cuya asimilación es una tarea de grandes proporciones, ante el cual el individuo se refugia en una actitud egocéntrica; el proceso de acomodación consiste en decentralizar el punto de vista inmediato, mediante la coordinación de las acciones y la coordinación del individuo con el mundo real. De esta forma, cada etapa concluye con una adaptación más adecuada y un equilibrio más estable.

Todas las etapas se caracterizan por la aparición de un nuevo repertorio de acciones intelectuales con un mayor grado de coordinación que habilitan formas más maduras del pensamiento, pero que a su vez habilitan la maduración y coordinación primero de la conducta motora y después la sociabilización de la acción, por un lado, y de la afectividad, por el otro. La afectividad aleja paulatinamente al yo de su punto de vista egocéntrico y en relación a las leyes de cooperación, mediante la reciprocidad, la construcción del sistema de valores y el plan de vida. El intelecto habilita el repertorio de acciones así como su coordinación; provee de los medios y aclara los fines, pero la afectividad asigna un valor a la acción y regula la energía, por lo que el intelecto y la efectividad no son nada el uno sin la otra. Piaget conclu-

ye la presentación de su programa general estipulando que "... la tendencia más profunda de toda actividad humana es la marcha hacia el equilibrio, y la razón, que expresa las formas superiores de este equilibrio, reúne la inteligencia y la afectividad" (Piaget, 1970, pp. 94).

1.3. Desarrollo Mental en el Siglo XXI

Piaget fue una de las figuras más destacadas en el desarrollo mental del siglo XX. Sin embargo, su teoría no es la única y desde muy temprano fue sujeto de la crítica. Él mismo comenta y refuta a algunos de sus detractores que sostienen que las limitaciones de la lógica pre-operacional del niño pequeño con respecto a las operaciones de la segunda infancia y el adolescente se deben a que sus experimentos se basan en el pensamiento verbal, pero que la lógica se refleja directamente en las acciones desde etapas mucho más tempranas (Piaget, 1970, pp. 98).

Sin embargo, para Piaget el desarrollo de las estructuras lógico-matemáticas se centra en las acciones y no en los objetos, y la acción propiamente se separa de su forma de expresión. Por lo mismo hay que distinguir cómo se representa y/o realiza la acción de cómo se tiene acceso consciente y/o lingüístico a dichos objetos o mecanismos mentales, es decir, cómo se explica la acción, y Piaget es categórico en que no hay ninguna diferencia entre la lógica verbal y la lógica inherente a la coordinación de las acciones. Enfatiza que la diferencia real entre la etapa pre-operativa y la de las operaciones es la reversibilidad. El niño pequeño razona desde una perspectiva centrada en sí mismo y únicamente ante estados o configuraciones estáticas del mundo e ignora las transformaciones, y su razonamiento se dirige del estado inicial al final de un proceso; por su parte la reversibilidad requiere la descentralización del pensamiento y la coordinación con el mundo, que a su vez hacen posible la génesis de las operaciones y los principios de conservación que habilitan el razonamiento acerca de las transformaciones propiamente.

Las respuestas a estas cuestiones son por supuesto de carácter empírico y desde las dos últimas décadas del siglo XX y lo que va del XXI el estudio del desarrollo mental incorporó dos elementos adicionales a los empleados por Piaget: las neurociencias, especialmente el es-

tudio de las funciones y estructura cerebral asociadas a las funciones mentales a lo largo del desarrollo, y los modelos computacionales.

Estos estudios muestran que las dos proposiciones o verdades fundamentales de Piaget, que el conocimiento se construye y que el desarrollo mental pasa por etapas, se sostienen [13]. En este sentido el pensamiento de Piaget se opone al empirismo que sostiene que el conocimiento se aprende por asociación mediante un mecanismo de aprendizaje de gran generalidad a partir de un conjunto muy reducido de primitivas perceptuales, en un continuo a lo largo de la vida –es decir que no hay etapas discontinuas de desarrollo– y también al racionalismo que asume que el conocimiento en gran medida es innato, por lo que tampoco pasa por etapas.

Piaget sostiene que el progreso entre etapas se debe a un aumento de expresividad del sistema representacional, que se refleja en los sistemas lógicos inherentes a cada etapa, como la lógica proposicional asociada a la etapa del pensamiento concreto y la lógica de primer orden asociada a la etapa del pensamiento formal. Sin embargo, esta explicación se ha tenido que revisar. En particular, la lógica viene de la mano del lenguaje y los niños muy pequeños pueden ya razonar, encontrar contradicciones y determinar si los argumentos que se dan en la conversación se siguen. Se ha corroborado también que hay conceptos que son operativos en la conducta mucho antes de que se pueden expresar verbalmente o aplicar en conductas motoras.

Por lo mismo, las limitaciones en el desempeño de los niños a lo largo del desarrollo se deben a otras razones, que se pueden resumir en dos principalmente [13]: 1) el desarrollo cerebral, especialmente de la corteza pre-frontal (CPF), que sostiene las funciones superiores, como la toma de decisiones, la planeación, la inhibición, la corrección de errores y la creatividad, y de manera más general, la conducta novedosa; y 2) el desarrollo de estructuras representacionales y mecanismos computacionales.

En particular, el desarrollo de la CPF da lugar a la llamada *Función Ejecutiva* (FE) constituida por tres mecanismos básicos: 1) la memoria de trabajo [14] cuya maduración habilita la inferencia y el aprendizaje; 2) la inhibición o capacidad de eliminar respuestas competitivas o representaciones en conflicto; y 3) la atención o capacidad de mantener y cambiar de manera

flexible las fuentes de información (e.j., [15, 16]). La FE se puede medir –e incluso manipular– con pruebas psicológicas desde edades muy tempranas y correlacionar con el desempeño en tareas asociadas a etapas específicas del desarrollo [13].

La especificación de mecanismos representacionales y computacionales, por su parte, requiere postular que hay un formato o tipo de representación propio de cada etapa, con un nivel dado de expresividad, que permite sostener las inferencias propias de la etapa. Dichos formatos se someten a los recursos computacionales de memoria y capacidad de cómputo que dependen a su vez de la maduración cerebral en la etapa. La expresividad de cada nivel en conjunto con los recursos computacionales determina las inferencias que el niño puede o no hacer, así como los errores que comete. Los tipos de representaciones se ubican en un continuo que va de las sensoriales de carácter concreto a las puramente conceptuales, de carácter abstracto, como se ilustra en la Figura 1.2. Se requiere también postular que los contenidos conceptuales en cada etapa son independientes del formato y de los mecanismos computacionales, que tienen un carácter genérico.

La construcción del conocimiento se tiene que basar a su vez en representaciones y mecanismos de aprendizaje a partir del conocimiento innato. Este último es aquel que está dado genéticamente por la evolución y por lo mismo no se aprende por el individuo, pero no es necesariamente lo que está disponibles al nacer, ya que hay mecanismos o representaciones que aparecen debido al proceso de maduración sin que sean el producto de un proceso de aprendizaje.

La teoría de etapas considera adicionalmente que hay dos tipos de mecanismos de aprendizaje cualitativamente distintos: 1) aquellos asociados a la adquisición de conocimiento y la revisión de creencias, y en última instancia a los procesos de asimilación en cada etapa; y 2) aquellos que producen las estructuras y procesos de una etapa superior a partir de las estructuras y procesos de la etapa inferior, asociados a la acomodación. Los primeros se dan en un plano horizontal en cada etapa y los segundos en el plano vertical, como se ilustra en la Figura 1.2. Tanto los esquemas representacionales como los mecanismos de aprendizaje de ambas cualidades se pueden considerar de carácter general e independientes del dominio de conocimiento.

Más recientemente se ha propuesto que un tercer tipo de estructura llamada “cognición nuclear” (*core cognition*) consistente en mecanismos de aprendizaje de dominio específico, dotados de analizadores perceptuales, también de carácter específico, para la adquisición de conceptos primitivos o básicos; un ejemplo paradigmático es el mecanismo por el cual los pollitos siguen al primer ente que ven que se mueve con el patrón característico de su especie; como normalmente éste es su madre, los pollitos quedan “programados” para seguirla. Sin embargo, se ha demostrado que si se imita dicho patrón, digamos por un ser humano, los pollitos siguen al imitador, por lo que los conceptos adquiridos por estos mecanismos no producen conocimiento verdadero necesariamente y se pueden manipular (el llamado “imprinting”). Estos mecanismos son innatos y se asocian a estructurales perceptuales “encapsuladas” que operan independientemente de otros conceptos de más alto nivel –para especies que los tengan. En los últimos años se han estudiado una gran variedad de mecanismos de este tipo y con base en una amplia gama de evidencia se ha propuesto que los animales, incluyendo a los humanos, tienen sistemas de cognición nuclear que constituyen el cimiento del conocimiento conceptual y en particular del entendimiento humano [17].

El estudio del desarrollo mental tiene que considerar también que hay dos tipos de teorías principales: 1) las que se originan de manera temprana, se observan de manera trans-cultural y hasta cierto punto se pueden considerar universales; y 2) las que se desarrollan a lo largo del tiempo por el individuo y están expuestas a las condiciones personales y culturales. Susan Carey y colaboradores han estudiado ambos tipos de teorías para verificar el cambio conceptual de una teoría inferior a una superior –la llamada teoría-a-teoría– utilizando tanto medidas objetivas como la FE y subjetivas como las entrevistas acerca de dominios conceptuales específicos desarrolladas originalmente por Piaget [13]. Su investigación se centra en la Teoría de la Mente (TdeM) y la teoría de la Biología Vitalista (BV) (*Vitalistic Biology*).

La TdeM consiste en las creencias que se atribuyen a otros individuos y en una etapa de maduración incluye las creencias acerca de las propias creencias y por lo mismo, a la reflexión. Esta teoría tiene un pico de desarrollo y potencialmente un cambio de etapa cuando el niño es capaz de razonar acerca de creencias falsas de otros individuos. Un experimento paradigmático consiste en presentar al niño un escenario en que un sujeto *A* deposita un juguete en una

caja opaca y después sale del cuarto; en su ausencia un segundo sujeto *B* toma el juguete y lo deposita en una segunda caja, también opaca. Posteriormente, el sujeto *A* regresa al cuarto y se le pregunta al niño dónde cree que *A* cree que está el juguete. Los niños sanos de 5 a 6 años resuelven la tarea correctamente y la reportan verbalmente, y diversas pruebas demuestran que la FE está correlacionada con el nivel de desempeño. Sin embargo otros experimentos muestran que el niño puede actuar de manera consistente ante las creencias falsas de otros individuos mucho más temprano, incluso a las 2 años y medio. Estos resultados, entre una gran variedad de estudios, no aportan evidencia suficiente para concluir que TdeM pasa por etapas [13], por lo que se tendría que mantener que el desempeño en la tarea se debe a la maduración, es una teoría innata, por lo mismo universal y posiblemente parte de la cognición nuclear de los seres humanos.

La teoría de la biología vitalista, por su parte, consiste en el entendimiento que tiene el niño sobre la vida, el funcionamiento del cuerpo y la muerte. Esta teoría reemplaza al animismo infantil propuesto por Piaget, en el que para los niños en edad pre-escolar la vida se atribuye a los agentes animados y auto-propulsados –por lo que no consideran a las plantas como seres vivos; asimismo, en el animismo no se distingue entre *vivo*, *real*, *estar* y *existir* e incluso *visible* y tampoco entre *muerto* e *inanimado*. Por su parte, cuando aparece BV estos conceptos se diferencian, se concibe al cuerpo como un conjunto de órganos que actúan sistemáticamente, de manera coordinada; el agua, el aire y los alimentos se consideran como nutrientes que alimentan a los órganos por las redes de distribución del cuerpo; y la muerte se concibe como el colapso de dicho sistema.

El animismo y la BV se consideran ampliamente teorías aprendidas y los estudios de Carey y sus colaboradores concluyen que en este caso hay un cambio cualitativo entre una y otra, por lo que corresponden a dos etapas del desarrollo. Sugieren adicionalmente que los recursos de la FE tienen una demanda especialmente alta en el proceso del cambio conceptual, cuando se activan los mecanismos de aprendizaje involucrados con la acomodación. Estos autores concluyen que el paso del animismo a la biología vitalista constituye un ejemplo muy claro del constructivismo y la teoría de etapas, que son las proposiciones básicas del desarrollo mental concebido por Piaget. Sin embargo, la noción de etapa cambia sustancialmente:

mientras que en el planteamiento original se pasa por las cuatro etapas mayores, con sus sub-etapas correspondientes, descritas en la Sección 1.2 e ilustradas en la Figura 1.2, en la visión post-piagetiana el desarrollo consiste en una gran diversidad de teorías, algunas innatas otras aprendidas, algunas producidas por los mecanismos de teoría-a-teoría, que se desarrollan y co-existen a lo largo del tiempo.

1.4. Implicaciones para la Inteligencia Artificial

Pasamos ahora a considerar nuevamente la propuesta de Turing de construir la máquina niño, educarla y someterla a la experiencia para ganar el juego de imitación. A la luz de las Secciones 1.2 y 1.3 ésta es una tarea de dimensiones colosales. Sin embargo, antes de discutir la construcción de dicha máquina propiamente, es posible considerar alternativamente que el objetivo podría ser construir la máquina adulto directamente. El desarrollo mental se apoya en el desarrollo del cerebro, en especial de la corteza pre-frontal, y las limitaciones de los niños y las personas con discapacidades mentales respecto a los adultos, especialmente de la Función Ejecutiva, se deben a sus recursos computacionales están acotados, especialmente la memoria de trabajo, la capacidad de inhibir y corregir errores, y la capacidad de administrar apropiadamente el foco de atención: si se contara con la capacidad de cómputo adecuada se podrían evitar las etapas de desarrollo.

La “máquina adulto” se podría entrenar sometiendo los módulos de la cognición nuclear a los estímulos apropiados, y proveyendo el conocimiento factual de todas las teorías involucradas en el sentido común directamente. Esta máquina sólo requeriría de mecanismos de aprendizaje transversales u horizontales, ya que su expresividad correspondería a la etapa del pensamiento formal de Piaget, o a la de las teorías acabadas de la visión neo-piagetiana. Al no haber etapas de desarrollo, no se requerirían tampoco mecanismos generales de aprendizaje para modelar el cambio conceptual. Asimismo, se podrían construir máquinas específicas para modelar las acción motora, el conocimiento y el razonamiento propio de cada etapa. En la práctica y desde los inicios de la Inteligencia Artificial se ha utilizado todo el poder de cómputo disponible y el objetivo ha sido modelar las funciones de la mente, especialmente

las intelectuales, y más recientemente las motoras en el campo de la robótica, en niveles específicos de desarrollo, mientras que la afectividad ha sido objeto de mucho menos atención. La pregunta es entonces por qué se requieren las etapas de desarrollo.

El cerebro del ser humano, de los primates superiores y de otras especies con un alto grado de desarrollo, es inmaduro al nacer, mientras que la gran mayoría de las especies animales nacen con su cerebro desarrollado cabalmente. Hay razones biológicas para este fenómeno, como las demandas de energía de un cerebro grande que sobrepasan a las que puede proporcionar la madre en el vientre, y el nacimiento se da cuando se llega al límite de la energía disponible.

También es posible que sea más útil, desde la perspectiva evolutiva, que el cerebro se desarrolle después del nacimiento y se configure conforme a la experiencia y el aprendizaje. Si esta adaptación individual o de carácter ontológico no se diera, el individuo no alcanzaría el desempeño necesario para sobrevivir y adaptarse mejor a su entorno. Esta posibilidad abre varias interrogantes desde el punto de vista computacional porque el desarrollo cerebral y mental involucraría una máquina reconfigurable que diferiría sustancialmente de la Máquina de Turing –que tiene una arquitectura genérica e inflexible, a menos que se sostenga que el desarrollo simplemente provee más memoria y velocidad de cómputo, lo cual es una proposición trivial. Sin embargo, si se acepta que el cerebro es una máquina más poderosa que la Máquina de Turing en éste sentido se cuestiona la forma más fuerte de la Tesis de Church, con implicaciones profundas para la teoría de la computación y la cognición. Esta cuestión se abordará en el Capítulo ??.

Se puede aducir también que la experiencia y el aprendizaje son esenciales a la formación de un sistema de valores y a la formación de la personalidad. Sin embargo, se podría argüir que sería posible dotar al individuo adulto de una historia de vida –como en muchos cuentos actuales de la ciencia ficción– que sustituiría a la experiencia; independientemente de la miríada de preguntas que se podrían plantear acerca de la naturaleza de sujetos así concebidos, sabemos que las computadoras no son conscientes y no tienen experiencia, por lo que no haría diferencia que se construyera por etapas o se creara la máquina adulto directamente. Sin embargo, una cosa es asumir que esta empresa es posible y otra muy diferente realizarla;

en este caso se requeriría una prueba de existencia. A la luz del estado del arte de la tecnología computacional y la inteligencia artificial la construcción de dicha máquina se ve muy remota y posiblemente es infactible.

Por el contrario, si se adopta la opción del desarrollo y se plantea seriamente la meta de construir máquinas que tengan la competencia de niños de determinada edad, digamos cuatro años, la empresa involucra definir diversas estructuras representacionales y diversos mecanismos de aprendizaje. A continuación se enumeran algunos de los más salientes:

1. Conjunto de primitivas sensorio-motoras disponibles al nacer.
2. Conjunto de conceptos primitivos de la cognición nuclear con sus analizadores específicos.
3. Conjunto de esquemas o formatos representacionales con sus sistemas de adquisición de conocimiento, interpretación, inferencia y mantenimiento para las diversas etapas.
4. Conjunto de mecanismos de aprendizaje de dominio general –independientes del contenido conceptual– operativos en los esquemas o formatos de cada etapa.
5. Conjunto de mecanismos de aprendizaje de dominio general para crear etapas superiores a partir de etapas inferiores.
6. Definición de una arquitectura cognitiva para integrar todos estos elementos.

La construcción de un agente total, dotado de un cuerpo, es una empresa que realmente no se ha emprendido. Los esfuerzos se han enfocado más bien a la creación de sistemas específicos orientados a modelar funciones de algunos de los niveles o etapas de desarrollo. Los tipos de sistemas que se han desarrollado se pueden categorizar en tres tipos principales: 1) Sub-simbólicos; 2) Esquemáticos; y 3) Simbólicos. Los primeros se orientan principalmente a la conducta sensorio-perceptual y motora, y de manera más general a la predicción y la clasificación; los segundos a modelar tareas de la inteligencia práctica y la intuición, tanto global como estructurada, mediante esquemas de acción apoyados por representaciones estructuradas; y los últimos se apoyan en representaciones proposicionales o lingüísticas con

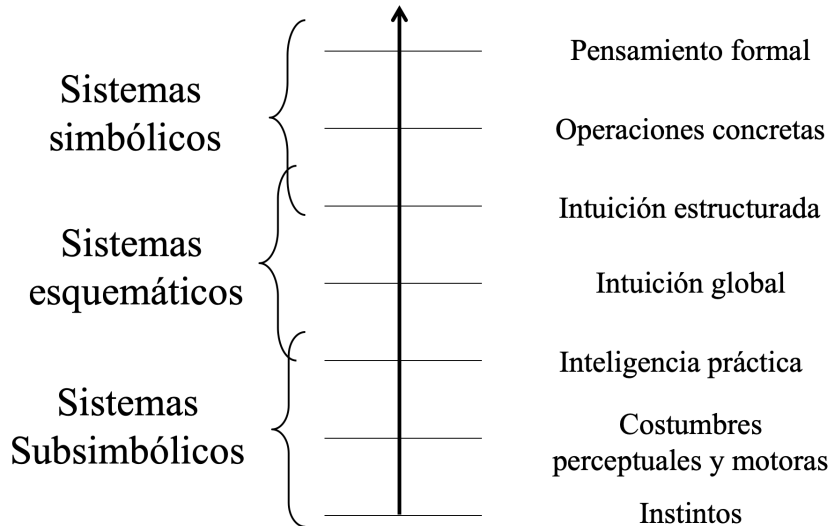


Figura 1.9: Tipos de Sistemas Inteligentes

una sintaxis y una semántica composicional para modelar el razonamiento. Estos tipos de sistemas corresponden de manera grossa a las etapas de Piaget, como se ilustra en la Figuras 1.9.

La demarcación entre los tipos de sistemas no es rígida y hay traslape entre los mismos, como se ilustra por las llaves que relacionan a los tipos de sistemas con las etapas del desarrollo. Los sistemas sub-simbólicos involucran principalmente mecanismos de aprendizaje, que operan de manera horizontal. Los sistemas esquemáticos incluyen estructuras de conocimiento, donde la información se expresa asociada a grafos o tablas, o incluso diagramas, y se enfocan a modelar razonamiento abductivo, como la generación de diagnósticos o explicaciones: los llamados sistemas expertos; finalmente, los sistemas simbólicos se orientan al razonamiento formal abstracto, como el que se requiere para probar teoremas, resolver problemas, jugar juegos racionales y razonar de forma lógica. Mientras más arriba más inferencia y mientras más abajo más aprendizaje. Asimismo, mientras más arriba mayor se asume implícita o explícitamente que el conocimiento es innato y mientras más abajo que es aprendido.

Por el momento estos niveles de sistemas no interactúan entre sí, y la investigación en mecanismos de aprendizaje para producir sistemas superiores a partir de inferiores es prácti-

camente inexistente. La hipótesis dominante en la práctica es que realmente no hay etapas discontinuas de desarrollo y que el aprendizaje es mas bien un proceso continuo basado en las primitivas cognitivas y procesos de asociación genéricos. Esta postura es explícita en los sistemas de aprendizaje profundo basados en redes neuronales de la actualidad, que pretenden reducir todo el conocimiento a dicho formato. A lo largo del texto se abundará de manera mucho más puntual en estas distinciones.

Los sistemas de inteligencia artificial se centran en los modelos de conductas del intelecto y hay una tradición muy amplia en la creación de modelos del lenguaje natural, que impactan en la sociabilización de la acción. Se ha incursionado también en el control y coordinación de la conducta motora, especialmente en el campo de la robóticas. Sin embargo, la investigación de los modelos de la conducta afectiva está aún en etapas muy tempranas. Se ha realizado trabajo para que el agente computacional exprese emociones con el rostro y el cuerpo, y que reconozca las emociones expresadas por otros agentes, y también hay modelos del estado emocional que se aplican a la interacción y la sociabilización de la acción, pero el trabajo en el ámbito de la afectividad como la regulación de la energía, que se refleja primero en los intereses y más tarde en la voluntad, es prácticamente inexistente. Asimismo, el desarrollo de los sistemas de valores y la formación de la personalidad son áreas prácticamente inexploradas.

Por lo mismo, los sistemas de inteligencia artificial y los robots inteligentes tienen una autonomía muy limitada en el espacio de la acción. Por autonomía se entiende normalmente que el sistema tome decisiones por sí mismo o la iniciativa en la interacción, pero todavía está pendiente hacer sistemas que desarrollen y tengan intereses que guíen su acción, como preferir jugar a leer o dibujar, o que tengan un sistema de valores que sea el marco de referencia para la voluntad. No hay un robot que al correr un maratón vaya ponderando una intensa y apremiante voz interior que le diga “para, estás sufriendo, vas a colapsar”, con la mucho más débil “sigue, tu puedes, ánimo campeón”, y decida seguir, simplemente por la satisfacción de terminar; tampoco hay robots cuya obra surja de su talento, pero también de los conflictos y demonios que tuvieron que superar; o robots que valoren la vida, a diferencia de los androides más avanzados de Phillip K. Dick en “Sueñan los Androides con Ovejas Eléctricas”,

que son indolentes ante la eminencia de su final; o como los héroes, que ante la opción de evitar el dolor y vivir, o enfrentar el sufrimiento y la muerte para redimir a su pueblo, gritan “libertad”.

Bibliografía

- [1] A. M. Turing, Computing machinery and intelligence, *Mind* 59 (1950) 433—460.
- [2] A. M. Turing, On computable numbers, with an application to the entscheidungs problem, *Proceedings of the London Mathematical Society* 42 (1936) 230–265.
- [3] C. Petzold, *The Annotated Turing: A Guided Tour Through Alan Turing’s Historic Paper on Computability and the Turing Machine*, Wiley Publishing, 2008.
- [4] G. S. Boolos, R. C. Jeffrey, *Computability and Logic* (Third Edition), Cambridge University Press, 1989.
- [5] M. D. Davis, *Computability and Unsolvability*, McGraw-Hill Series in Information Processing and Computers, McGraw-Hill, 1958.
- [6] J. Weizenbaum, Eliza—a computer program for the study of natural language communication between man and machine, *Commun. ACM* 9 (1) (1966) 36–45. doi : 10.1145/365153.365168.
URL <http://doi.acm.org/10.1145/365153.365168>
- [7] J. R. Searle, Minds, brains and programs, *Behavioral and Brain Sciences* 3 (3) (1980) 417–57.
- [8] D. Cole, The chinese room argument, in: E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, spring 2019 Edition, Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2019.

- [9] L. A. Pineda, The mode of computing, CoRR abs/1903.10559. arXiv:1903.10559.
URL <http://arxiv.org/abs/1903.10559>
- [10] D. Chalmers, *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*, Oxford University Press, Inc., New York, NY, USA, 1996.
- [11] L. A. Pineda, Conservation principles and action schemes in the synthesis of geometric concepts, *Artificial Intelligence* 171 (2007) 197–238.
- [12] J. Piaget, *Seis Estudios de Psicología*, Barral Editores, S. A., Barcelona, 1970.
- [13] S. Carey, D. Zaitchik, I. Bascandziew, Theories of development: In dialog with jean piaget, *Developmental Review* 38 (2015) 36–54.
URL <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.003>
- [14] A. D. Baddeley, The concept of working memory: A view of its current state and probable future, *Cognition* 10 (1981) 17–23.
- [15] M. Posner, M. K. Rothbart, Research on attention networks as a model for the integration of psychological science, *Annu Rev Psychol* 58 (2007) 1–23.
- [16] M. Posner, M. K. Rothbart, H. Ghassemzadeh, Restoring attention networks, *Yale Journal of Biology and Medicine* 92 (2019) 139–143.
- [17] S. Carey, *The Origin of Concepts*, Oxford University Press, New York, 2010.