

## EVOLUCIÓN DE LA PRECISIÓN DE LOS JUICIOS DE METAMEMORIA EN JUEGOS PARA INSTRUCCIÓN APOYADA POR COMPUTADOR

David Macías Mora, M. Sc. y Luis Facundo Maldonado Granados, Ph.D.<sup>62</sup>

### RESUMEN

Los juicios de metamemoria están ligados a la adquisición, almacenamiento y recuperación de conocimiento. Desde este punto de vista, son estimaciones de: 1. Facilidad del aprendizaje; 2. Logro de aprendizaje durante un periodo de tiempo; 3. Sensación de aprendizaje; 4. Confianza en las respuestas dadas. Evalúan el contenido de la memoria mirando hacia adelante o hacia atrás.

En este artículo se describe la evolución de la precisión de los juicios de metamemoria y se sugiere un modelo explicativo. En el centro de esta investigación hay dos preguntas: 1. ¿Cuál es el comportamiento de los juicios de metamemoria cuando la evaluación de la facilidad o dificultad toma como criterio el tiempo o el número de ensayos invertidos en la solución de un juego?; 2. ¿Cuál es el comportamiento de los juicios de metamemoria cuando el computador sugiere estrategias de solución al comienzo del juego —estrategia fija— y cuando la sugerencia es hecha en la medida en que se desarrolla el juego —estrategia adaptativa?

Para responder a estas preguntas se llevó a cabo un trabajo experimental basado en siete juegos de computador sobre razonamiento espacial. Una muestra de 130 estudiantes de décimo grado fue distribuida aleatoriamente en cuatro condiciones: a. juicios de metamemoria basados en tiempo y sugerencia fija de estrategias; b. juicios de metamemoria basados en eventos y sugerencia fija de estrategias; c. juicios de metamemoria basados en tiempo y sugerencia adaptativa de estrategias, d. juicios de metamemoria basados en eventos y sugerencia adaptativa de estrategias.

A partir de los datos experimentales construimos un modelo teórico para entender el conjunto de relaciones entre los juicios de metamemoria retrospectivos y prospectivos, y entre la evolución de la curva de aprendizaje y la evolución de la precisión de los juicios de metamemoria.

En este modelo, para hacer un juicio prospectivo, se tiene que hacer primero un juicio retrospectivo, de tal manera que el conocimiento previo se relacione con la representación actual del problema. Cuando el ambiente de aprendizaje le muestra al aprendiz un error anterior, él, o ella, inicia una revisión del juicio prospectivo en la etapa anterior. Puede evaluar los pasos hacia atrás hasta la representación inicial del problema. Pero, de acuerdo con la ley del menor esfuerzo, esto no es probable y regresa sólo uno o dos pasos. La importancia de este proceso, sin embargo, está en que constituye un mecanismo poderoso para integrar los elementos del aprendizaje en un proceso secuencial y es registrado en memoria de largo plazo.

---

62 Universidad Central, Bogotá, Colombia. Investigadores del Grupo TECNICE.

El modelo introducido aquí, explica por qué la emisión frecuente de juicios de metamemoria fortalece la capacidad del estudiante para controlar su propio proceso de aprendizaje y por qué es un elemento clave para desarrollar el aprendizaje autónomo.

El modelo concuerda con la investigación actual sobre la dinámica del control del aprendizaje y la metacognición, especialmente con la que muestra que la emisión de juicios de metacognitivos se relaciona con el uso consistente de estrategias de solución de problemas y mejor desempeño de la memoria.

**Palabras clave:** precisión de los juicios de metamemoria, ambientes de aprendizaje, metacognición, activadores de juicios de metamemoria, solución de problemas en juegos de computador, estrategias de solución de problemas, curva de aprendizaje.

### ABSTRACT

Meta memory judgments are entailed to knowledge acquisition, storage and retrieval. From this point of view they are appraisal of: 1. easy of learning; 2. learning achievement during a period of time; 3. feeling of knowledge; and 4. confidence on answers already performed. They assess the memory content looking backward or forward. The assessment precision changes as the learning curve evolves.

In this article we describe the evolution of meta memory judgment precision and suggest an explanation model. In the core of this research there are two questions:

1. What is the metamemory judgment behavior when the easiness or difficulty assessment takes as criterion the time or the number of trials invested in solving a game problem?;
2. What is the metamemory judgment behavior when the computer suggests solution strategies at the beginning of the game – fixed suggestion – and what is, when the suggestion is made as long as the performance is going on – adaptive suggestion -? .

An experimental study based on seven computer games on spatial reasoning was conducted in order to answer these questions. A sample of 130 students of tenth to eleventh school grade was randomly assigned to four experimental conditions: a: time based meta memory judgment and fixed strategy suggestion; b: event based meta memory judgment and fixed strategy suggestion; c: time based meta memory judgment and adaptive strategy suggestion ; and d: event based meta memory judgment and adaptive strategy suggestion.

Given the support of the experimental data, we built a theoretical model to understand the set of relations between the retrospective and prospective meta memory judgments, and between the evolution of the learning curve and the evolution of meta memory judgment accuracy.

In this model, in order to make a prospective judgment, a retrospective judgment should be accomplished first, in such a way that previous knowledge be related to the current problem representation. When the learning environment shows a prevision error to the learner, he or

she starts assessing the prospective judgment in the previous stage. He or she can go backward assessing each previous step until the initial problem representation. But, according to the least effort law it is no probable and usually learners go back just one or two steps. The importance of this process however is that it constitutes a powerful mechanism to integrate the learning elements in a sequential process and is registered in long term memory.

The model introduced here explains why the frequent elicitation of meta cognitive judgments results in a strong capacity for the student to control his or her own process of learning and why it becomes a key element to develop autonomous learning.

The model is consistent with the current research on the dynamics on learning control and meta cognition, specially with those which show that eliciting metacognitive judgment results in consistent use of problem solving strategies and better recall performance.

**Key words:** Accuracy of metamemory judgments, learning environments, metacognition, metamemory judgment, activator of metamemory judgments, problem solving in computer game, problem solving strategy, learning curve.

Recibido: 20 de marzo de 2009

Aceptado: 17 de abril de 2009

## INTRODUCCIÓN

La estructuración de ambientes informáticos que favorezcan el aprendizaje autónomo ha llevado a la identificación de factores que propicien el desarrollo integrado de las dimensiones cognitivas y metacognitivas en los estudiantes. Los activadores de juicios de metamemoria y la sugerencia de estrategias son elementos que, dispuestos en un ambiente de aprendizaje, activan en el aprendiz un proceso autorregulador del cual entran a hacer parte la emisión de juicios de metamemoria y la generación de estrategias de solución de problemas.

Los activadores de juicios de metamemoria son expresiones —como las preguntas— que inducen a una persona a elaborar un juicio de metamemoria. En la literatura estos juicios cubren las siguientes categorías: juicios sobre soluciones previas de un problema —seguridad acerca de la calidad de soluciones ya encontradas— y juicios sobre aprendizajes futuros. Estos últimos, a su vez son divididos en: 1. Valoraciones sobre la facilidad de un aprendizaje que se va a adquirir. 2. Valoraciones sobre la calidad del aprendizaje que se está logrando —juicio concurrente con el aprendizaje—. 3. Valoraciones sobre la disposición de un saber —sensación de saber— en previsión de los futuros desempeños (Nelson y Narens, 1990).

De los juicios de metamemoria resaltamos tres funciones: a. Generar tendencias motivacionales autodirigidas a lograr la solución de un problema con indicadores de calidad; ejemplo, alcanzar la solución en un tiempo mínimo o en un número de intentos no mayor de cierto límite o con un número mínimo de errores. b. Activar aprendizajes previos

poniéndolos a disposición de la memoria de trabajo. c. Indicar, según su precisión, el nivel de aprendizaje metacognitivo.

Los juicios de metamemoria, al igual que la metacognición en su conjunto, evolucionan a través del tiempo y en función de un conjunto de factores determinantes. En este trabajo nos interesa evaluar la evolución de la precisión de estos juicios.

## MARCO TEÓRICO

Inicialmente la metacognición se toma como el conocimiento de los propios procesos cognitivos (Flavell, 1978). Esta posición lleva a mostrar que el conocimiento de las propias cogniciones tiene consecuencias en la regulación (control) de la actividad mental (Flavell, Brown 1983), la cual se ejerce a través de actividades como: 1. Planificar la actividad mental antes de enfrentarse a una tarea. 2. Monitorear y controlar el desarrollo de las actividades de aprendizaje. 3. Comprobar los resultados de aplicación de estrategias de solución de problemas. Recientemente las investigaciones en este campo se enfocan en el estudio de las relaciones de la metacognición con la autonomía de los procesos de aprendizaje, organización de la memoria de largo plazo, formación del pensamiento relacional y creativo, la solución de problemas y la toma de decisiones. Estos hechos han resaltado la posibilidad del ser humano de monitorear sus propios procesos de aprendizaje, valorar lo que aprende o lo que se necesita aprender para enfrentar diversos retos, y, de planificar la evolución de su propio conocimiento.

La capacidad de hacer juicios de metamemoria constituye una dimensión básica de la metacognición y esta, como metaconocimiento conservado en memoria de largo plazo, es un factor fundamental de la capacidad global del individuo de dirigir sus propios procesos de aprendizaje y de ampliar sus niveles de autonomía para resolver los problemas que le genera la relación con su entorno.

La incentivación de los estudiantes a que hagan juicios de metamemoria —disposición de activadores— se ha encontrado que genera aplicación más consistente de estrategias de solución de problemas (Maldonado y Andrade, 2001) y mejores niveles de eficacia y eficiencia en la medida que evoluciona la curva de aprendizaje (Maldonado y otros, 2001), lo cual ha llevado a postular que los juicios de metamemoria son componentes de un microsistema motivacional autónomo. Este se caracteriza por los siguientes rasgos:

En la solución de un problema, actúan como activadores del proceso de elaboración del conocimiento. A partir de la representación mental del problema, el sujeto hace un barrido de su memoria a largo plazo y abstrae el conocimiento relacionado con la situación planteada. En un segundo momento el sujeto valora las posibilidades que ese conocimiento previo le ofrece para resolver el problema **juicio retrospectivo**.

Los **juicios prospectivos** son usualmente formulados como juicios sobre alguna acción futura, por ejemplo, qué tan bueno va a ser el desempeño en una prueba o en la solución de un problema. Si bien, en la solución de un problema, los juicios retrospectivos llevan al sujeto a valorar el

conocimiento previo relacionado con dicha solución, los juicios prospectivos le permiten fijarse objetivos y a partir de estos generar estrategias para el logro de los mismos.

En estas condiciones surge la necesidad de un modelo que permita interpretar por separado el comportamiento de estos juicios de metamemoria y a la vez su interrelación en un proceso de aprendizaje.

## ESPECIFICACIONES METODOLÓGICAS

La investigación se orientó a través de las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es la evolución de la precisión de los juicios de metamemoria en la curva de aprendizaje, cuando la valoración de dificultad o facilidad la hace el sujeto en términos del tiempo o del número de eventos invertidos?
2. ¿Cuál es la evolución de la precisión de los juicios de metamemoria, cuando el sistema hace sugerencia de estrategias al inicio del juego —fija— frente a sugerencia de estrategias cuando el sujeto comente errores —adaptativa—?

Se considera como variable dependiente la diferencia entre el tiempo o número de eventos previstos con respecto al tiempo o número de eventos utilizados en la solución del juego. En el primer caso se denomina error de previsión del tiempo (Ept) y en el segundo, error de previsión de eventos (Epe).

Se desarrollaron siete juegos basados en computador sobre temas de razonamiento espacial y diseño. Cada juego se diseñó en cuatro versiones que constituyen las condiciones experimentales. Las dos primeras combinan el activador de juicio basado en tiempo con la sugerencia de estrategias fija o adaptativa. Las otras dos versiones combinan el activador de juicio de metamemoria basado en el número de eventos con las dos formas de presentación de la estrategia. El computador es programado para que registre los datos necesarios en el análisis estadístico.

Una muestra de 130 estudiantes de grados décimo y undécimo de un colegio oficial fue asignada de forma aleatoria y equitativa a las cuatro condiciones experimentales. Los sujetos resolvieron cada juego en tres momentos, denominados: descubrimiento, consolidación 1 y consolidación 2. Para evaluar la evolución de la precisión de los juicios de metamemoria a través de los tres momentos del juego en las cuatro condiciones, se hizo un análisis de varianza de medidas repetidas.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis se hizo a partir de los datos arrojados en siete juegos basados en computador, los cuales el usuario debía solucionar en el orden propuesto por el sistema. Una vez leído el enunciado del problema se le solicitaba al sujeto prever el tiempo o el número de eventos que

invertiría en su solución. La precisión metacognitiva está dada por la diferencia entre el tiempo o número de eventos previstos y el tiempo o número de eventos utilizados en la solución.

En la Tabla 1 se puede observar la síntesis de resultados del análisis de varianza para cada uno de los juegos, tomando como variables independientes la forma de sugerir la estrategia de solución del problema: fija o adaptativa, y, la base para formulación de los juicios de metamemoria: tiempo o eventos.

**Tabla 1.** Síntesis del análisis de varianza para cada uno de los juegos

Variable	Posición		Rotación		Fichas		A. Eq		A. Azar		L. Equi		L. Azar		Notorio		Significativo	
	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E
Grupo	---	---	---	Not	---	---	Sí	--	Sí	---	---	Not	---	---	0	2	2	0
Etapa	---	---	Not	---	Not	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Not	Not	Sí	---	3	1	3	3
Grupo/ Etapa	---	---	Sí	---	---	---	Sí	--	Not	---	---	Not	Not	---	2	1	2	0

Esta tabla muestra la síntesis del análisis de varianza para cada uno de los juegos tomando como variable grupo la forma de presentar la estrategia: fija o adaptativa. Activador de juicio: tiempo (T) o eventos (E). Las columnas se identifican con T (activador de juicio basado en tiempo) o con E (activador de juicio basado en el número de eventos). Las últimas columnas contabilizan la frecuencia para las cuales se alcanza un grado de significación (Sí) o de notorio (Not).

El efecto de la forma de presentar la estrategia sobre el error de previsión es mayor cuando se trabaja con tiempo como activador de juicio de meta memoria que cuando se utiliza el número de eventos. Para el primer tipo de juicio se presentan dos casos de diferencias significativas, agujeros en equilibrio y agujeros al azar, mientras que cuando los juicios de metamemoria se basan en eventos como activador, no hay diferencias significativas atribuibles a este factor.

El análisis del comportamiento del error asociado con los diferentes momentos del juego permite observar que el efecto es significativo en seis casos y se aproximan al grado de significación en otros cuatro. Este es un indicador fuerte de que la evolución del comportamiento del error está asociado a la evolución de la curva de aprendizaje, es decir, la evolución del conocimiento a nivel meta se asocia a la evolución del conocimiento a nivel objeto.

La interacción de las variables grupo y etapa, cuando se tiene el tiempo como activador de juicio de metamemoria, presenta diferencias significativas para dos módulos y se acerca al valor significativo para otros dos; por el contrario, la interacción de estas mismas variables no presenta diferencias significativas cuando se cuenta con el número de eventos como activador de juicio de metamemoria. Esto permite inferir que la variable tiempo es más sensible al efecto de la forma de presentación de la estrategia asociándolo con la evolución de la curva de aprendizaje.

La Tabla 2 presenta el grupo con menor error promedio en el juicio de metamemoria, es decir, el de mayor precisión metacognitiva, para cada una de las condiciones de sugerencia de estrategia fija (F) o adaptativa (A) en las tres etapas del juego. Al hacer una lectura vertical, se tiene que la sugerencia fija de estrategias en los juegos de líneas en equilibrio y agujeros en equilibrio obtiene el menor error de previsión en contraste con la estrategia adaptativa en los mismos juegos.

Lo interesante de este análisis es que quienes tuvieron sugerencia adaptativa de estrategias en los juegos de líneas al azar y agujeros al azar obtuvieron el menor error de previsión en contraste con los de sugerencia fija en estos mismos módulos. Este hecho permite relacionar el efecto de la forma de sugerencia de estrategia sobre la precisión metacognitiva con la dificultad del problema. El problema de agujeros al azar tiene un componente menos en su estructura que el problema de agujeros en equilibrio; el problema de líneas al azar posee uno menos que el de líneas en equilibrio. En una investigación previa datos empíricos mostraron que los sujetos tuvieron más dificultad resolviendo agujeros al azar que agujeros en equilibrio; líneas al azar que líneas en equilibrio (Maldonado et al., 1999).

**Tabla 2.** Grupos que presentan la mayor precisión en el juicio sobre tiempo, en cada uno de los ambientes con estrategia fija (F) o adaptativa (A)

Etapas	Posición	Rota.	Fichas	A. Equi.	A. Azar	L. Equi.	L. Azar	F	A
1	F	A	A	F	A	F	A	3	4
2	A	F	F	F	A	A	A	3	4
3	F	A	F	F	A	F	A	4	3

**Nota.** Las dos últimas columnas indican la frecuencia.

La Tabla 3 relaciona el grupo que obtuvo mayor precisión metacognitiva en los juicios relacionados basados en el número de eventos. En este caso la sugerencia fija de estrategia actúa primero a favor de la precisión metacognitiva que la adaptativa. Se observa que en la primera etapa, solamente en el módulo de fichas deslizables, la precisión metacognitiva es mayor con sugerencia adaptativa de estrategias y en los restantes módulos es mayor con sugerencia fija. En las siguientes etapas el efecto, en su conjunto, se iguala pero se observa que en los juegos más complejos y que requieren mayor esfuerzo para su solución, como son posición y fichas, la sugerencia adaptativa contribuye más a la precisión del juicio.

**Tabla 3.** Grupos que presentan la mayor precisión en el juicio sobre número de eventos, en cada uno de los ambientes con estrategia fija (F) o adaptativa (A)

Etapas	Posición	Rota.	Fichas	A. Equi.	A. Azar	L. Equi.	L. Azar	F	A
1	F	F	A	F	=	F	F	5	1
2	A	F	A	A	A	F	F	3	4
3	A	F	A	F	A	F	F	4	3

**Nota.** Las dos últimas columnas indican la frecuencia.

La Tabla 4 presenta la comparación del tiempo o número de eventos previstos con respecto al tiempo o número de eventos utilizados en la primera etapa del juego. El contraste puede dar un error de previsión por exceso (+) o por defecto (-). Al hacer una lectura en forma vertical se tiene una caracterización bastante marcada en el sentido de que la diferencia del tiempo o número de eventos previstos con respecto al tiempo o número de eventos utilizados por exceso o por defecto se mantiene, para cada uno de los módulos, en las diferentes condiciones experimentales. Este hecho permite afirmar que la precisión del juicio está directamente relacionada con la clase de problema planteado.

**Tabla 4.** Comparación del tiempo o número de eventos previstos para la segunda etapa frente al tiempo o número de eventos utilizados en la primera etapa del juego

Variable	Posición	Rota.	Fichas	A. Equi.	A. Azar	L. Equi.	L. Azar	-	+	
Tiempo	A	-	+	-	+	+	=	-	3	3
	C	-	+	-	+	+	-	-	4	3
Eventos	B	-	+	-	-	+	-	-	5	2
	D	-	+	-	+	+	-	-	4	3

**Nota.** Es superior (+), inferior (-) o igual (=).

La Tabla 5 presenta la comparación del tiempo o número de eventos previstos con respecto al tiempo o número de eventos utilizados en la segunda etapa. La comparación puede dar un error de previsión por exceso (+) o por defecto (-).

**Tabla 5.** Síntesis del error de previsión en la segunda etapa

Variable	Posición	Rota.	Fichas	A. Equi.	A. Azar	L. Equi.	L. Azar	-	+	
Tiempo	A	+	+	+	+	+	+	0	7	
	C	+	+	+	+	+	+	0	7	
Eventos	B	+	+	+	-	+	-	-	3	4
	D	-	+	+	-	+	+	+	2	5

**Nota.** Por exceso (+) o por defecto (-). Las dos últimas columnas indican la frecuencia.

En la segunda etapa sucede un hecho curioso y es que los dos grupos, tanto el de sugerencia fija de estrategias como el de adaptativa, para todos los módulos, previeron más tiempo del utilizado. Este mismo hecho, aunque con menor fuerza, se observa cuando el sujeto hace el juicio en términos del número de eventos.

La Tabla 6 muestra la síntesis del error de previsión, por exceso (+) o por defecto (-). La relación del tiempo previsto frente al tiempo utilizado es igual a la encontrada en la segunda etapa, es decir, el tiempo previsto en todos los casos es superior al tiempo empleado; sin embargo, el comportamiento del error entre la segunda y la tercera etapa es diferente al sucedido entre la primera y la segunda; entre la primera y la segunda se incrementa y entre la segunda y la tercera, se reduce.

**Tabla 6.** Síntesis del error del juicio de metamemoria en la tercera etapa

Variable		Posición	Rota.	Fichas	A. Equi.	A. Azar	L. Equi.	L. Azar	-	+
Tiempo	A	+	+	+	+	+	+	+	0	7
	C	+	+	+	+	+	+	+	0	7
Eventos	B	-	+	+	+	+	-	+	2	5
	D	-	+	+	+	+	+	+	1	6

**Nota.** Por exceso (+) o por defecto (-). Las dos últimas columnas indican la frecuencia.

La Tabla 7 muestra la relación del error en la tercera etapa con respecto a la segunda. El error puede incrementarse (+) o redirse (-). En la tercera etapa, a pesar de que el tiempo o el número de eventos previstos sigue siendo superior al tiempo o número de eventos utilizados, al igual que en la segunda etapa, el error se reduce.

**Tabla 7.** Relación del error de la tercera etapa con respecto a la segunda.

Variable		Posición	Rota.	Fichas	A. Equi.	A. Azar	L. Equi.	L. Azar	-	+
Tiempo	A	-	+	-	=	-	-	-	5	1
	C	=	-	-	+	-	-	-	5	1
Eventos	B	-	-	-	+	+	-	+	3	4
	D	-	+	+	+	+	-	+	2	5

**Nota.** El error puede incrementarse (+) o redirse (-).

En síntesis, podemos resaltar dos situaciones: a. Los juicios de metamemoria, en cuanto previsiones del tiempo o del esfuerzo requerido para resolver un problema, evolucionan en paralelo con la curva de aprendizaje del sujeto que los formula; b. El análisis de la precisión como un indicador de la evolución del aprendizaje metacognitivo permite inferir un mejoramiento en la regulación de los procesos de aprendizaje.

## SUGERENCIA DE ESTRATEGIA Y PRECISIÓN METACOGNITIVA

El efecto de la forma de presentación de la estrategia, fija o adaptativa, sobre la precisión metacognitiva está condicionado por el tipo de activador de juicio. Cuando este usa el tiempo, se encuentran diferencias significativas en precisión metacognitiva en dos módulos y notorias en otros dos, mientras que cuando usa eventos no hay diferencias. Lo anterior permite afirmar que un ambiente con tiempo como activador de juicio es más sensible al efecto de la forma de presentar la estrategia sobre la precisión metacognitiva aquel que usa el número de eventos.

La precisión metacognitiva cambia con la evolución de la curva de aprendizaje y se evidencia como evolución en las valoraciones de su propio aprendizaje, lo cual se puede interpretar como un aprendizaje metacognitivo.

## PRECISIÓN METACOGNITIVA Y CARACTERÍSTICA DEL JUEGO

El efecto de la sugerencia de estrategia fija o adaptativa sobre la precisión metacognitiva está asociado a las características del juego. La estrategia fija actúa de una forma más eficiente, en la búsqueda de una mayor precisión de valoración del aprendizaje logrado, en juegos de menor dificultad, mientras que para problemas de mayor dificultad lo hacen las estrategias adaptativas. Este hallazgo tiene repercusiones pedagógicas al insinuar que en el aprendizaje por problemas, cuando estos son de menor dificultad, las explicaciones y sugerencias de solución son más efectivas al inicio de la solución y, por el contrario, cuando se trabaja con problemas de alto grado de dificultad las sugerencias de solución se deben presentar en el proceso de aprendizaje o cuando el estudiante lo necesite.

## PRECISIÓN METACOGNITIVA Y CURVA DE APRENDIZAJE

En los experimentos, el usuario tuvo la oportunidad de resolver en tres oportunidades el mismo juego. A cada uno de estos momentos se les denominó así: Etapa de descubrimiento (E1), etapa de consolidación 1 (E2) y etapa de consolidación 2 (E3). Este diseño experimental permite hacer una relación entre la evolución de la curva de aprendizaje y la evolución del error de previsión. Los resultados encontrados indican que el error de previsión tiene un comportamiento dinámico a través del tiempo, fenómeno que atribuimos a la interacción entre la evolución del conocimiento objeto y la metacognición.

En cada una de las etapas mencionadas se puede identificar un conjunto de operaciones mentales relacionadas entre sí, conformando un sistema dinámico, en el cual el tiempo juega un papel fundamental, de cuya descripción nos ocupamos enseguida.

En cuanto al análisis, en cada etapa se pueden distinguir dos componentes de sus juicios:

**Componente retrospectivo:** el jugador identifica y valora los elementos que posee para resolver el problema (conocimiento previo).

**Componente prospectivo:** con base en el juicio retrospectivo y la representación actual del problema, el jugador elabora un juicio sobre su desempeño en el juego siguiente.

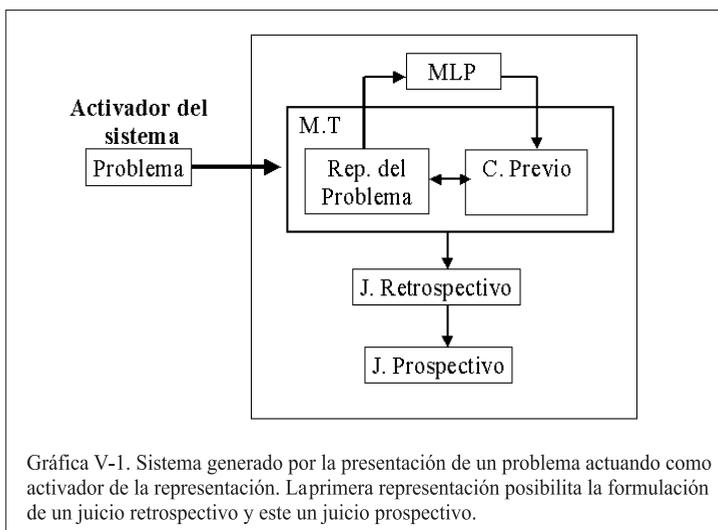
En cada etapa, la evaluación sobre el aprendizaje logrado en la etapa anterior y la identificación de las causas del error de previsión cambian el contenido de la memoria de largo plazo, con consecuencias en los juicios de las siguientes etapas.

Tomando como base el sistema dinámico propuesto, nos proponemos ahora explicar la relación entre el aprendizaje metacognitivo y la curva de aprendizaje evidenciada por los datos de esta investigación.

### Primera etapa

La presentación de un problema actúa como activador de la memoria de trabajo para que genere una primera representación del problema. Para hacerlo, requiere de la información y el conocimiento almacenados en memoria de largo plazo. A partir de este momento se genera una relación (R) de interdependencia entre la representación del problema (P) y el conocimiento previo relacionado con la situación planteada (CP):  $R(P, CP)$ . La expresión formal toma significados particulares de la forma: el problema P se relaciona con el conocimiento CP. La primera representación es también el primer elemento del espacio del problema.

Gráfico 1. Presentación de un problema



Una vez se establece relación entre el problema y el conocimiento previo, el sujeto puede hacer un **juicio retrospectivo de metamemoria (JR)**. Este juicio hace referencia al grado de «sensación de saber» (Nelson y Narens, 1994), es decir, qué tanto creo saber sobre el problema planteado. El activador de juicio de metamemoria es el estímulo externo que

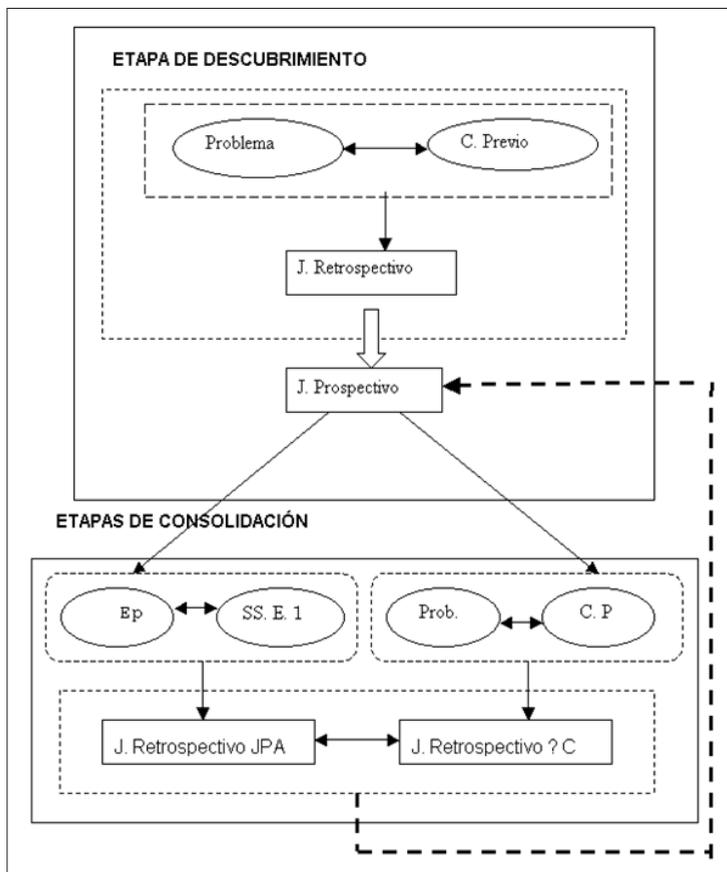
activa la ejecución de este juicio. El juicio de metamemoria toma, entonces como argumento la relación entre problema y conocimiento previo: **JR** (R (P, CP), VA). El significado de la fórmula se concreta en expresiones de la forma: para el problema P relacionado con el conocimiento CP, la posibilidad que tengo para resolverlo es VA. Los sujetos expresan estos juicios (VA) con expresiones como «nunca había trabajado en algo relacionado con lo que me plantean», «no tengo ni idea de esto», «esto lo vi en la materia X, pero no recuerdo», «siempre se me han facilitado este tipo de problemas» etc. Con base en un juicio retrospectivo, el sujeto puede prever su desempeño futuro en la solución del problema, es decir, hace un **juicio prospectivo (JP)** que tiene una estructura de la forma: **JP** (JR (R (P, A), VA) VF). Para el valor VA subjetivo, la predicción de esfuerzo o tiempo que se debe invertir para asegurar la solución es VF.

Los sujetos, en la investigación de referencia, expresan los juicios prospectivos en términos del tiempo o el número de intentos que invertirán en la solución del problema. En esta lógica, se puede afirmar que este primer juicio prospectivo es el producto de un conjunto de relaciones que se generan entre los elementos del sistema de la primera etapa del juego.

## Segunda etapa

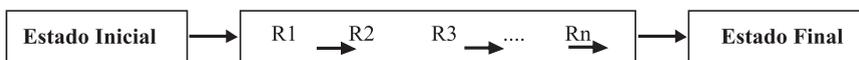
En esta etapa se reciben como insumo de la primera dos elementos: el error de previsión (Ep) y el aprendizaje logrado en la primera solución del problema (AP), los cuales se agregan a la memoria de largo plazo. Esto hace que el subsistema en la segunda etapa se incremente en complejidad, en primer lugar, por el número de elementos que lo componen y, en segundo, por las relaciones metacognitivas que tiene que hacer el jugador entre estos elementos. La percepción y la memoria tienen una capacidad de procesamiento limitada que obliga al sujeto a procesar bloques estructurados de información (Minsky, 1974). Es probable que el ser humano sólo realice valoraciones sobre relaciones binarias de información y a partir de estas elabore nuevas relaciones y valoraciones de niveles superiores. Al igual que en la primera etapa, en el proceso que realiza el sujeto para prever el tiempo o el número de eventos, se pueden identificar dos momentos que se sintetizan en los juicios retrospectivos y prospectivos.

Gráfico 2. Etapas de descubrimiento y de consolidación



**Juicio retrospectivo de aprendizaje**

Gráfico 3. Representación del problema



La representación del problema es dinámica a través del tiempo: desde la representación inicial del problema hasta llegar a la solución, se presentan n representaciones. Este conjunto de representaciones forman el espacio del problema.

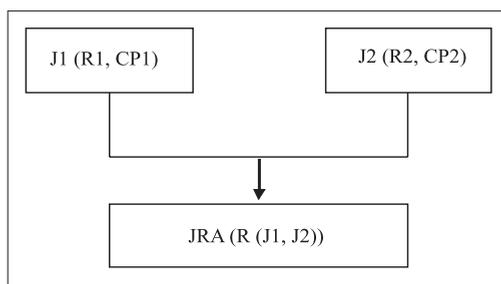
Diferentes variables pueden producir una representación nueva del problema: la incorporación de un componente que el sujeto no había percibido hasta el momento, la elaboración de una nueva

relación o la reestructuración de alguna de las ya existentes. El sujeto puede, o no, ser consciente de la distancia entre la representación actual del problema y la representación inicial.

Por otro lado, el aprendizaje previo de la memoria de trabajo se modifica por un monitoreo externo o interno. El monitoreo externo hace referencia a la nueva información que presenta el sistema sobre el problema y la sugerencia fija o adaptativa de estrategias. En el monitoreo interno el sujeto se dirige a la memoria de largo plazo y hace un nuevo barrido identificando nuevos elementos y relaciones.

El juicio retrospectivo del aprendizaje logrado en la etapa anterior (JRA), es decir, del incremento del conocimiento relacionado con el problema ( $\Delta C$ ) surge de la valoración de la relación entre la representación del problema (R1) y el conocimiento previo (Cp1) vivida en dos momentos, antes de la solución del problema y después de la solución. Las preguntas que se puede formular el sujeto en el juicio retrospectivo del aprendizaje logrado son «que sabía antes de solucionar el problema» y «cuál es mi conocimiento después de haber solucionado el problema por primera vez». La diferencia entre estos dos momentos produce el juicio retrospectivo del aprendizaje logrado durante la etapa. En esta medida el sujeto puede ser, o no, consciente de un aprendizaje logrado en un intervalo de tiempo determinado.

**Gráfico 4.** Juicio sobre la valoración de un aprendizaje logrado en un intervalo de tiempo



### Evaluación del error de previsión

El error de previsión actúa como activador de la evaluación de los juicios realizados en la etapa previa. Si se toma el juicio prospectivo como la síntesis de los procesos mentales de una etapa, se puede decir que la evaluación del error consiste en el juicio retrospectivo de la relación entre el error de previsión y el juicio prospectivo de la etapa anterior:

JR (R (EP, JP))

Un error de previsión mínimo es un indicador de la alta precisión metacognitiva de los sujetos. Por el contrario, un error de previsión alto lleva al sujeto a evaluar cada uno de los procesos de la etapa previa, pues, si bien es cierto que el error se visualiza en el tiempo o número de eventos previstos, esta decisión es el resultado de un proceso en el cual intervienen los diferentes elementos y relaciones del sistema, y más específicamente, es el resultado de las relaciones

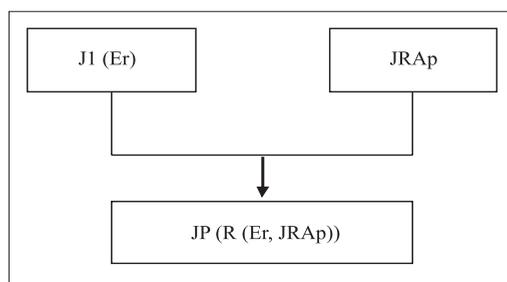
que se realizan entre los juicios hechos sobre cada una de las subestructuras del sistema de cada etapa. En estos términos una buena evaluación del error de previsión depende de la calidad de la evaluación que se haga de cada uno de los juicios hechos sobre las diferentes subestructuras que componen el sistema de la etapa anterior. Una evaluación débil del error de previsión puede tener como causa el no avanzar en profundidad lo suficiente en este proceso retrospectivo u omitir la evaluación del juicio emitido sobre alguna de las subestructuras del sistema.

### Juicio prospectivo

El juicio prospectivo de la segunda etapa, y las siguientes, se hace tomando como argumento la relación entre los juicios retrospectivos de la evaluación del error de previsión (Er) y el de la valoración del aprendizaje logrado en la etapa anterior (JRAp).

**JP** (R (Er, JRAp))

**Gráfico 5.** Juicio prospectivo tomando como argumento la relación de la evaluación del error y el juicio retrospectivo sobre el aprendizaje logrado



A partir de la segunda etapa este proceso se hace cíclico, es decir, cada etapa sintetiza su proceso en el juicio prospectivo y este a su vez le sirve de enlace con la etapa siguiente.

### RELACIÓN CON LOS RESULTADOS ENCONTRADOS

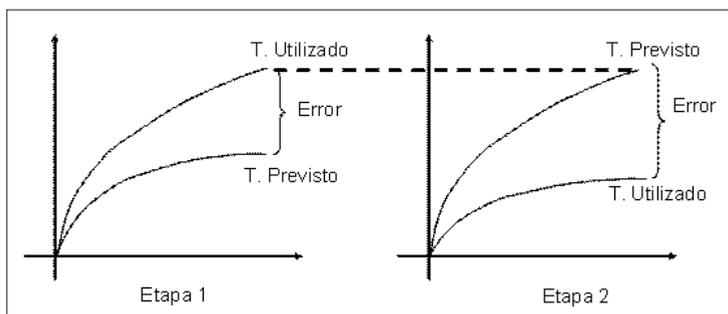
El error de previsión en la primera etapa se puede tomar como un indicador de precisión metacognitiva de la valoración del conocimiento previo y su relación con la representación del problema. En este sentido se tiene que la precisión metacognitiva con la cual se emite un juicio de metamemoria sobre el tiempo o número de eventos que se prevé utilizar, está relacionada con la dificultad del problema.

A su vez, al dar a conocer el error de previsión, se activa en el sujeto un proceso de evaluación, actuando como elemento autorregulador en el proceso de aprendizaje. De los resultados encontrados se tiene que los sujetos para elaborar el juicio prospectivo de la segunda etapa posiblemente hacen la evaluación del error de previsión de la etapa anterior, dando como

resultado la decisión de prever, para la siguiente etapa, el tiempo o el número de eventos utilizados en la primera etapa. A su vez, esto permite afirmar que los sujetos no hacen un juicio sobre el aprendizaje logrado y, por lo tanto, el error de previsión en casi la totalidad de los módulos es por exceso, tanto para el grupo que trabajó con tiempo como para el que lo hizo con eventos.

En la tercera etapa se observa un ajuste del error, lo cual es un indicador de que los sujetos incluyen en la valoración del juicio prospectivo la valoración retrospectiva de las diferentes subestructuras que compone el sistema.

**Gráfico 6.** Juicio prospectivo en la segunda etapa del juego



## RELACIÓN ENTRE JUICIO RETROSPECTIVO Y JUICIO PROSPECTIVO

En el microsistema que muestra la Figura 1, se plantea que para poder elaborar un juicio prospectivo, previamente se debe elaborar un juicio retrospectivo. En este caso para poder emitir un juicio prospectivo sobre el tiempo o número de eventos que se prevé invertir en la solución de un problema, el sujeto debe, con anterioridad, haber elaborado un juicio retrospectivo sobre la relación entre el conocimiento previo y la representación del problema. En sentido inverso, al mostrar el sistema el error de previsión, el sujeto toma inicialmente, como argumento para evaluar, el juicio prospectivo y avanza en profundidad pasando por el juicio retrospectivo hasta llegar al origen del sistema, es decir, la representación inicial del problema. Es posible que la mayoría de los sujetos en su proceso (reversible) de evaluación, en un primer momento, sólo llegue hasta el nivel uno, es decir, hasta el juicio prospectivo, posible causa del incremento del error en la segunda etapa en la casi totalidad de los módulos.

## ESTRUCTURAS COGNITIVAS Y METACOGNITIVAS

Minsky (1985) plantea que la memoria tiene capacidad de procesamiento limitada, y por lo tanto el ser humano procesa bloques estructurados de información. De cada subestructura el sujeto puede emitir un juicio ya sea prospectivo o retrospectivo y a partir de estos juicios generar relaciones y emitir nuevos juicios sobre esas relaciones. Al solicitar al usuario, en las etapas segunda y tercera del juego, hacer el nuevo juicio prospectivo, él debe dirigir su

atención a dos subestructuras y lanzar un juicio sobre cada una de estas: uno conformado por el error de previsión y el sistema de la primera etapa (ver modelo) y otro que resulta de la nueva representación del problema y el aprendizaje logrado en la etapa anterior. A partir de la relación de los dos juicios anteriores, el sujeto elabora el nuevo juicio prospectivo. Es probable que la causa del incremento del error en la segunda etapa sea el que se omita al elaborar el juicio de una de estas subestructuras.

## APORTE PEDAGÓGICO

El dar a conocer al estudiante el error en la solución de un problema esto actúa como un activador que lleva al sujeto a hacer una evaluación retrospectiva del proceso seguido. De los resultados encontrados se puede afirmar que el ser humano necesita entrenamiento para desarrollar esta habilidad. Un sujeto con poco entrenamiento en esta dimensión metacognitiva, en primer lugar, no incluye en este proceso retrospectivo todos los elementos que conforman la estructura que se va a evaluar y, en segundo, no logra avanzar en profundidad.

En un proceso de aprendizaje es necesario activar los conocimientos previos del estudiante. En el aprendizaje por problemas este actúa como un activador de dicho conocimiento. El sistema que genera el estudiante con la representación del problema, el conocimiento previo y la relación entre estos, se hace más fuerte y posiblemente más eficiente si se incluyen, en el ambiente de la tarea, activadores de juicio de metamemoria, tanto retrospectivos como prospectivos. Si bien es cierto que los dos están relacionados, pues no se puede hacer un juicio prospectivo de cuánto tiempo o intentos se necesitan para solucionar un problema si antes no se hace un juicio retrospectivo de la valoración del conocimiento previo y su relación con la representación del problema, es necesario incluir en el ambiente de aprendizaje activadores que permitan al estudiante ser consciente de estos dos momentos. El juicio retrospectivo, entre otras funciones, en la autorregulación del aprendizaje lleva al estudiante a hacer una valoración del conocimiento previo o de un aprendizaje logrado y el juicio prospectivo, a generar estrategias con el fin de reducir el esfuerzo y optimizar el tiempo

## PROYECCIONES

La consideración de los juicios de metamemoria pocas veces es tenida en cuenta en la pedagogía. Se introduce el concepto de evaluación de conocimientos previos, generalmente al iniciar un proceso pedagógico. Los resultados aquí presentados complementan la visión psicológica y pedagógica de integrar los nuevos conocimientos con los previos, como condición para desarrollar aprendizaje significativo. Pero, más allá, los enfoques que además están considerando la formación de competencias para dirigir el propio aprendizaje, se pueden beneficiar de las conclusiones de este trabajo. En escenarios de ambientes digitales, el desarrollo de *software* que apoye la evolución de los juicios de metamemoria ayudaría a formar estudiantes autónomos y maduros en su ejercicio de aprender.

Desde la perspectiva del desarrollo de nuevos proyectos, el análisis de los resultados de la presente investigación deja abiertos interrogantes que motivan investigaciones posteriores:

la contrastación entre ambientes que solo incluyan activadores de juicio de metamemoria retrospectivos, o solo juicios prospectivos y, la combinación de los dos; diseñar y validar ambientes que permitan identificar la estructura metacognitiva que genera un sujeto en un proceso de aprendizaje; posibilidades para desarrollar un ambiente que logre diferentes grados de profundidad en la dimensión metacognitiva relacionada con los juicios de metamemoria, e identificar su eficacia y eficiencia en los procesos de aprendizaje.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, B. A. & ARMOUR-THOMAS, E. Construct Validation of Metacognition. *Journal of Psychology*. 1993.
- ANDERSON, J. R. Argumentos acerca de las representaciones mediante la capacidad para formar imágenes mentales. En lecturas de psicología de la memoria. Editorial Alianza Universidad Textos. 1989.
- BORKOUSKI, J. G. Signs of Intelligence: Strategy Generalization and Metacognition. In S. R. Yussen (Editor): *The Growth of reflection in Children*. New York: Academic Press. 1985.
- BRIGGS, L. J. Sequencing of Instruction in Relation to Hierarchies of Competence. *American Institutes for Research*, Pittsburg. PA. 1968.
- BROWN, A. L. Knowing When, Where and How to Remember: A Problem of Metacognition. In Glaser, R. (De.). *Advances in Instructional psychology*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. 1978.
- CARDELLE-ELAWAR, M. Effect of Metacognitive Instruction on Low Achievers in Mathematics Problems. *Teaching Education* 11. 1995.
- DAVIDSON, Janet E.; DEUSER, Rebeca; STERNBERG, Robert J. The Role of Metacognition in Problem Solving. In: Metcalfe, Jane and Shimamura, Arthur P. (Eds.). *Metacognition*. Cambridge, MA: The MIT Press. (1994).
- FLAVELL, J. H. Cognitive Monitoring. In DICKSON, W. P. (De). *Children's oral Communication Skills*. New York: Academic Press. 1981.
- GAGNÉ, R. M. *The conditions of learning and a theory of instruction*. New York, N. Y.: Holt, Rinehart and Winston (fourth edition). 1985.
- GARHART, C. and HANNAFFIN, M. The Accuracy of cognitive monitoring during computer – based instruction, *Journal of Computer – based instruction*, 13(3). 1986.
- GARNER, Howard. *Estructuras de la mente. La teoría de las inteligencias Múltiples*. Editorial, Mexico, Fondo de Cultura Económica. 1994.

- GOEL, V. & PIROLI, P. Structure of Design Problem Spaces. *Cognitive Science*, Vol. 16, nro. 3, jul. - sep. 1992.
- HUTTUNEN, I. Development of metacognition for learners Autonomy. En *Learner Autonomy Project Inventory* 1.<http://www.LAPIL.htm>. 1995.
- JOHANSEN, K. J. and TENNISON, R. D. Effect of adaptive advisement of perception in learner – controlled, computer – based instruction using a rule – learning task. *Educational and communication Technology Journal*, 31(4). 1983.
- KULHAVY, R. W. Feedback in written instruction. *Review of educational Research*, 47. 1997.
- MALDONADO G., L. F. y ANDRADE L., EDGAR. Ambiente computarizado para el aprendizaje autodirigido del diseño. – ACAD2: Bogotá: Memorias del Primer Congreso Internacional de Educación y Tecnología – EDENTEC96. Universidad Pedagógica Nacional, proyecto de investigación convenio Conciencias – UPN. 1996<sup>a</sup>.
- MALDONADO G., L. F., et al. Metacognición y razonamiento espacial en juegos de computador. UPN – IDEP. Editorial: Magisterio. Bogotá, Colombia. 1999.
- MALDONADO G., L. F., et al. Razonamiento espacial y aprendizaje significativo. UPN – Colciencias. 2001.
- McCOMBS, B. L. & McDANIEL, M. A. On the design of adaptive treatments of individualized instructional system. *Educational Psychologist*, 16 (1). 1981.
- METCALFE, J. & SHIMAMURA, A. P. (Eds). *Metacognition*. Cambridge, MA: The MIT Press. Preface. 1994.
- NELSON T. O. & NARENS, L. Metamemory: A. Theoretical Framework and New findings. In G. Bower (De) *The Psychology of learning and Motivation* (Vol. 26) New York: Academic Press. 1990.
- PIROLI, P. Effects of examples and their explanation in lesson of recursion: A. production system analysis. *Cognition and instruction* 8. 1991.
- THOMAS H. L. & RICHARD J. H. *Aprendizaje y Cognición*. Editorial Prentice Hall Internacional. 1998.
- TENNYSON R. D. Use of adaptive information for advisement in learning concepts and rules using computer – assisted instruction. *American Educational Psychology*, 72(4). 1981.