

RELACIÓN SIMULADORES Y APRENDIZAJE
EN PROBLEMAS DE DESCUBRIMIENTO



UPN - IDEP

TABLA DE CONTENIDO

págs.

AGRADECIMIENTOS.....	7
RESEÑA	8
SÍNTESIS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	8
OBJETIVOS	9
METODOLOGÍA	9
RESULTADOS	10
PRESENTACIÓN	13
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	18
LUGAR TEÓRICO	19
1. ANTECEDENTES	21
1.1 ANTECEDENTES INMEDIATOS DE ESTA INVESTIGACIÓN	21
1.2 COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS	26
1.3 MODELO QUE INTEGRA LOS RESULTADOS	31
1.4 EL ESTUDIO AUTODIRIGIDO	32
1.5 METACOGNICIÓN	33
1.6 METODOS COLABORATIVOS DE APRENDIZAJE	35
1.6.1 CONCEPTOS BÁSICOS	35
1.6.2 APROXIMACIONES COMPUTACIONALES AL APRENDIZAJE POR COLABORACION	38
1.6.3 LAS DIMENSIONES DEL APRENDIZAJE COLABORATIVO	41
1.6.4 AGENTES SIMULADORES EN RELACIÓN CON LA COLABORACIÓN	42
1.6.5 SOLUCION DE PROBLEMAS EN AMBIENTES COLABORATIVOS	47
1.6.6 CONCEPCIONES ALREDEDOR DEL APRENDIZAJE COLABORATIVO	49
1.7 RAZONAMIENTO ESPACIAL Y REALIDAD VIRTUAL	54
1.8 LUGAR TEÓRICO	61
2. METODOLOGÍA	65
2.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DESARROLLADO	65
2.1.1 DISEÑAR INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	65
2.1.2 ELABORAR MAPAS CONCEPTUALES	65
2.1.3 DISEÑO DE SOFTWARE	65
2.2 GENERALIDADES SOBRE LOS SIMULADORES	66
2.3 LOS ELEMENTOS DE LA PALETA DE CONTROL DE LA SIMULACIÓN	66
2.4 DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS	68
2.4.1 MÓDULO LÍNEAS EN EQUILIBRIO	68
2.4.2 MÓDULO LÍNEAS AL AZAR	70
2.4.3 MÓDULO DE AGUEROS EN EQUILIBRIO	71
2.4.4 MÓDULO DE AGUEROS AL AZAR	73

2.4.5	MÓDULO DE POSICIÓN	73
2.4.6	MÓDULO DE FICHAS DESLIZABLES	73
2.5.	ESTRUCTURA DEL HIPERTEXTO HISTORIA DE LOS ENGRANAJES	75
3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS	79
3.1	MÉTODOS ESTADÍSTICOS	79
3.2	FASE 1: EFECTOS DEL SIMULADOR EN CONDICIÓN DE USO INDIVIDUAL	80
3.2.1	ANÁLISIS DE LA EFICACIA	80
3.2.2	ANÁLISIS DE EFICIENCIA	81
3.3	FASE 2: USO COLABORATIVO DEL SIMULADOR	83
3.3.1	ANÁLISIS DE EFICACIA	83
3.3.2	ANÁLISIS DE EFICIENCIA	84
3.4	VISIÓN INTEGRADA DE LAS FASES 1 Y 2 A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE LA PRUEBA T DE STUDENT PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES.	85
3.5	COMPARACIÓN DEL USO DEL SIMULADOR EN FORMA INDIVIDUAL Y COLABORATIVA	92
3.5.1	ANÁLISIS DE VARIANZA DE MEDIDAS REPETIDAS	92
3.6	LA CONDICIÓN DE USO DEL SIMULADOR COMO PREDICTOR DEL ÉXITO EN EL JUEGO SIGUIENTE EN ETAPA DE DESCUBRIMIENTO.	96
3.7	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	99
3.7.1	EFFECTO DE LOS SIMULADORES USADOS DE MANERA INDIVIDUAL FRENTE A CONDICIONES DE NO USO.	101
3.7.2	EFFECTO DE LOS SIMULADORES USADOS DE MANERA COLABORATIVA FRENTE A CONDICIONES DE NO USO	105
3.7.3	EFFECTO DE LOS SIMULADORES USADOS EN CONDICIÓN COLABORATIVA FRENTE A UNA CONDICIÓN INDIVIDUAL	108
4.	ANÁLISIS DE LOS PROTOCOLOS AUTOMATIZADOS	111
4.1	AGUJEROS EN EQUILIBRIO	111
4.2	AGUJEROS AL AZAR	115
4.3	LÍNEAS EN EQUILIBRIO	118
4.4	LÍNEAS AL AZAR	121
4.5	COMPARACIÓN ENTRE LOS JUEGOS DE LÍNEAS EN EQUILIBRIO Y LÍNEAS AL AZAR	124
4.6	POSICIÓN Y DIRECCIÓN	125
4.7	FICHAS DESLIZABLES	128
4.8	CONCLUSIÓN	129
CONCLUSIONES	131	
BIBLIOGRAFIA	135	
ANEXO	143	
DOMINIO DE CONOCIMIENTO DEL HIPERTEXTO «HISTORIA DE LOS ENGRANAJES»	143	
Historia de un objeto	143	
Los engranajes a través de la historia	143	
La rueda dentada	144	
Los engranajes de heron	146	
El diferencial	147	
El reloj mecánico	151	
Elementos de maquinaria en la era del vapor	152	
Elementos de máquinas fabricados por máquinas	152	
Las máquinas, herramientas del siglo xx	155	
Tipos de engranajes	159	

AGRADECIMIENTOS

El grupo de investigación expresa sus sinceros agradecimientos a las instituciones que acogieron este proyecto y lo financiaron: la Universidad Pedagógica Nacional y el Instituto para La Investigación y Desarrollo Pedagógico -IDEP-. Nuestro especial reconocimiento al Instituto Pedagógico Nacional, a sus directivos docentes encabezados por la doctora Inés Elvira Castaño, a los profesores de Tecnología y Ciencias y particularmente a los estudiantes que dedicaron su tiempo a estudiar con entusiasmo el software preparado por ellos.

Nuestra gratitud muy especial por sus aportes y colaboración a nuestros compañeros del Centro de Informática de la Universidad Pedagógica Nacional -CIDUP- Betty Monroy Henao y Luis Bayardo Sanabría Rodríguez. De todos los miembros del CIDUP somos deudores por su apoyo activo en una u otra forma en los diferentes momentos de este proyecto, a ellos nuestro reconocimiento.

RESEÑA

SÍNTESIS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La investigación se orienta a dar respuesta a las siguientes preguntas:

1. ¿Existe diferencia en eficiencia y eficacia en el segundo intento de solución de un problema entre estudiantes que analizan individualmente el simulador de su proceso en la primera etapa y aquellos que no lo hacen?
2. ¿Existe diferencia en eficiencia y eficacia en el segundo intento de solución de un problema entre estudiantes que analizan colaborativamente el simulador de su proceso en la primera etapa y aquellos que no lo hacen?
3. ¿Existe diferencia en eficiencia y eficacia en el segundo intento de solución de un problema entre estudiantes que analizan colaborativamente el simulador de su proceso en la primera etapa y aquellos que lo hacen individualmente?
4. ¿Existe relación entre la experiencia previa de análisis de simuladores de los propios procesos de solución de problemas, en forma individual o colaborativa, y la generalización de estrategias a problemas nuevos, en estudiantes de educación media vocacional?

OBJETIVOS

Los objetivos específicos de la investigación son:

- Analizar el efecto de utilizar simuladores en la solución de problemas en juegos computarizados de descubrimiento en la etapa de consolidación de estrategias.
- Comparar el impacto que tiene la forma de estudio de simuladores de procesos de solución de problemas - individual o colaborativa -, sobre la eficacia y la eficiencia del aprendizaje en la etapa de consolidación de estrategias, en juegos de descubrimiento basados en computador.
- Contrastar el nivel de variedad y la composición de estrategias usadas en etapa de consolidación, por sujetos que han estudiado simuladores de sus procesos en forma colaborativa o individual.
- Estudiar el efecto del análisis de simuladores sobre la generalización de estrategias.

METODOLOGÍA

Se diseñaron seis juegos de descubrimiento basados en computador con un dispositivo que, al jugarse, genera un protocolo automatizado que puede ser ejecutado posteriormente por un segundo programa –simulador -

Se consideran, tres etapas en el aprendizaje:

- a). De descubrimiento – primera solución del problema –;

- b). Estudio de la simulación del proceso seguido en la etapa de descubrimiento;
- c). Consolidación de estrategias de solución al problema.

Se seleccionó una muestra de 86 estudiantes de grado 11 de la educación media vocacional, del Instituto Pedagógico Nacional. Mediante el mecanismo de asignación aleatoria se constituyeron dos grupos de 43 estudiantes cada uno.

La contrastación de los datos se hizo mediante la utilización de tres métodos:

- a. Análisis de varianza de medidas repetidas que compara efectos independientes y de interacción entre la variable independiente y la evolución de la curva de aprendizaje;
- b. La prueba t de Student para hallar diferencia de medias en eficacia y eficiencia en la etapa de consolidación;
- c. Análisis de protocolos automatizados de dos sujetos por cada juego, según la condición de estudio del simulador correspondiente a la fase;
- d. Análisis de regresión tomando la condición de estudio como predictor y la eficacia y eficiencia en etapa de descubrimiento del siguiente juego como variable dependiente.

RESULTADOS

- 1. El estudio muestra un impacto fuerte del uso de simuladores de procesos sobre la eficacia cuando el estudiante inicia la construcción de estrategias, ayudando a identificar errores y aciertos y validar sus hipótesis. El hecho de ver reflejado su propio comportamiento en un dispositivo, objetiva los propios

procesos de aprendizaje y motiva al estudiante a construir conocimiento sobre su propio conocimiento, es decir, a desarrollar metacognición.

2. El efecto de los simuladores es sensible a la historia previa de los sujetos. Los simuladores se constituyen en potenciadores de la generalización de estrategias. Si en la experiencia previa el jugador ha resuelto problemas cuyas estrategias son comunes o son componentes de las estrategias del juego nuevo que enfrenta, el efecto se ve reflejado en la eficacia, en primera instancia, y rápidamente sobre la eficiencia. La caracterización de los juegos constituye un punto importante en el análisis de la dinámica de solución de problemas y puede constituir un componente fundamental para la asesoría pedagógica provista por un agente artificial que juega como asesor o para los profesores mismos cuando monitorean o asesoran procesos.
3. El segundo efecto muy relevante de los simuladores, de procesos es el de potenciar la generalización de estrategias cuando entre los juegos existen estrategias diferentes, lo cual hace que los sujetos en estos casos gasten un tiempo sustancial refutando la estrategia antigua para construir la nueva.
4. En juegos muy complejos, por los resultados hallados en el análisis de protocolos, el aprendizaje del uso del simulador parece requerir una inversión sustancial de esfuerzo.
5. La condición de uso individual o colaborativo entre pares, es más débil que el impacto del simulador en sí . Esto hace pensar que no es suficiente con enfrentar el dispositivo, sino que se requeriría mejorar la metodología de uso del mismo. Es muy razonable que sea más efectiva la colaboración si se mejora la asistencia para el estudiante.
6. La condición colaborativa parece ser más motivante para el estudiante. El contenido de las negociaciones de saber, al pa-

recer, establece condiciones motivacionales para que los estudiantes lleguen a ser más eficientes. Posiblemente conlleve la generación de retos por contraste.

7. El simulador, por otra parte, es un excelente instrumento para caracterizar los procesos de aprendizaje; en manos de un profesor que desee analizar el trabajo de sus estudiantes, puede ser una ayuda poderosa.
8. En esta investigación se desarrolló un trabajo muy sistemático a partir de juegos estudiados previamente. Es importante extender su aplicación a otras clases de problemas. En la perspectiva de esta investigación se desarrollaron dos programas como nuevos prototipos: uno sobre aplicaciones de la geometría generativa al diseño y otros sobre historia de los objetos. Etapa siguiente, es aplicar los procesos de simulación a la solución de problemas de comprensión de texto en una narrativa estructural.
9. El análisis de protocolos muestra, de manera consistente, que en la medida en que se avanza en la solución de los problemas, la variedad de estrategias se reduce, lo cual se manifiesta en mejores resultados de eficacia y eficiencia.

PRESENTACIÓN

La presente publicación titulada **RELACIÓN SIMULADORES Y APRENDIZAJE EN PROBLEMAS DE DESCUBRIMIENTO** es el resultado de una investigación experimental realizada por el grupo de profesores-investigadores del Centro de Informática de la Universidad Pedagógica Nacional, en colaboración con el Instituto para la Investigación Educativa y el Desarrollo Pedagógico, tendiente a crear instrumentos que permitan el mejoramiento de la docencia, todavía rezagada por la desactualización que registra el sistema pedagógico, en una época en que existen tantos y tan variados medios de la informática que pueden ponerse al servicio de la educación.

Es por ello que este nuevo aporte constituye un verdadero logro en lo que al aprendizaje autónomo y al trabajo colaborativo se refiere. Se trata del uso de simuladores de procesos, cuyo fin es lograr la construcción de estrategias aplicables a la solución de problemas de descubrimiento, en diferentes tipos de juegos que permiten llegar a un amplio grado de generalización. La importancia del simulador radica en que es un programa de software que hace posible para el usuario revisar cada uno de los pasos que ha seguido en la solución de un problema y, si lo necesita, volver atrás sobre las diferentes estrategias que ha utilizado antes, sea que reposen o no, en su metamemoria.

El nivel de autonomía que logra el estudiante al poder controlar sus propios procesos de aprendizaje es muy valioso, en cuanto le permite generar estrategias metacognitivas para construir conocimiento sobre su propia cognición. De esta manera se logra que por cuenta propia sea capaz de aplicar estrategias, ya configuradas a nuevos procesos de solución de problemas o crear otras, logrando así el verdadero control de su aprendizaje, gracias al cual todo individuo conserve la capacidad de actualizar y enriquecer su conocimiento de manera permanente.

De otra parte, se descubre que el aprendizaje colaborativo tiene gran importancia en el momento actual, por cuanto la informática hace posible involucrar grupos de individuos para que, mediante la influencia recíproca, mejore su información y se enriquezcan culturalmente. En cuanto al ámbito educativo, es preciso reconocer que con el simulador se ha creado un medio para el aprendizaje colaborativo, ya que gracias a él grupos de tres a cinco estudiantes comparten estrategias en la solución de problemas sobre diversos aspectos, vgr. los problemas aquí planteados sobre Agujeros en Equilibrio, Líneas al Azar, Posición y Dirección y Fichas Deslizables.

En el capítulo de METODOLOGÍA, se ofrece la presentación del software que comienza con el análisis de la papeleta de control de la simulación, su descripción y funcionamiento. Se señalan luego, los seis juegos arriba mencionados, con su correspondiente módulo de simulación.

Aplicando el simulador a los seis juegos propuestos, se establece la diferencia de resultados referida a uso individual, a uso colaborativo o a no uso y se hace el correspondiente análisis estadístico de los datos obtenidos, conforme se realizó en otras investigaciones anteriores.

Quiero hacer hincapié en el acápite relativo al análisis de protocolos automatizados que resulta muy útil para quienes estén interesados en seguir adelante con este proceso, porque en la presente

investigación encuentran no solo fundamentos teóricos, sino una herramienta muy proyectada para el ejercicio de futuras experiencias pedagógicas, en el marco de la computación.

Esta investigación, de índole experimental, es pues un eslabón más, en el trabajo serio y continuado que la Universidad Pedagógica Nacional y su gente vienen ofreciendo al país para cumplir su función de gestora del conocimiento y orientadora de la educación.

Esperamos que este grupo con vocación investigadora, que dirige el profesor Maldonado, siga adelante en la doble proyección de teoría y aplicación de los nuevos prospectos de las Tecnologías de la Información Aplicadas a la Educación, como bien lo señala el título que ostentan los exalumnos del CIDUP.

L. J. de C.

INTRODUCCIÓN

La investigación actual está dando especial importancia a la comprensión de los procesos cognitivos y metacognitivos. Entre los tópicos más nuevos que hemos detectado se encuentran: la relación entre desarrollo cognitivo y capacidad de diseño - aspecto clave en el desarrollo de una pedagogía para la tecnología- y la representación del sentido común, una de cuyas dimensiones más importantes es la representación cualitativa del razonamiento espacial. Estas dos tendencias de pensamiento motivan la presente investigación.

Entre las proyecciones que vislumbramos podemos enumerar:

- El aprendizaje autónomo es una condición esencial para que los individuos mantengan su capacidad productiva en la Sociedad del Conocimiento, donde el saber tiene niveles de obsolescencia muy altos. En consecuencia, la escuela debe propiciar, no sólo el conocimiento objeto, sino también el desarrollo de metacognición para transferir control sobre los procesos de aprendizaje al propio estudiante.
- El aprendizaje colaborativo toma vigencia en una sociedad conectada por redes telemáticas que abren la posibilidad de experiencias enriquecedoras que involucran a varios individuos que se influyen mutuamente para incrementar su formación y saber. Esta es una dimensión neurálgica del cambio educativo en el futuro próximo.

- Refinar una estrategia de diseño de software para la educación, que sirva de soporte a maestros y estudiantes para el análisis y optimización de procesos de aprendizaje, puede contribuir significativamente al mejoramiento de la calidad de la educación en todos los niveles.
- En la revisión hecha sobre agentes de software para el aprendizaje colaborativo, no se encontraron trabajos que enfrentaran el problema del análisis y orientación de proceso de solución de problemas, de tal manera que este software viene a llenar un vacío en el ámbito de la pedagogía computacional

OBJETIVOS

Como propósito general de esta investigación se busca establecer la relación entre el estudio de simuladores de procesos de solución de problemas como agentes de software para el aprendizaje colaborativo y la eficacia y eficiencia en la solución de problemas de razonamiento espacial.

Específicamente interesa:

- Analizar el efecto de utilizar simuladores en la solución de problemas en juegos computarizados de descubrimiento; en la etapa de consolidación de estrategias.
- Comparar el impacto que tiene la forma de estudio de simuladores de procesos de solución de problemas - individual o colaborativa -, sobre la eficacia y la eficiencia del aprendizaje; en la etapa de consolidación de estrategias; en juegos de descubrimiento basados en computador.

- Contrastar el nivel de variedad y la composición de estrategias usadas en etapa de consolidación; por sujetos que han estudiado simuladores de sus procesos en forma colaborativa o individual.
- Estudiar el efecto del análisis de simuladores sobre la generalización de estrategias.

LUGAR TEÓRICO

Partimos de las siguientes generalizaciones fundadas en investigaciones previas:

- Los activadores de juicios de metamemoria generan microsistemas motivacionales que propician la autorregulación de los procesos y ritmos de aprendizaje.
- Las instrucciones, cuando toman el error del aprendiz como oportunidad para su presentación, incrementan su potencia orientadora en los procesos de solución de problemas.
- Los simuladores de los propios procesos de aprendizaje sirven de dispositivos –especie de espejos– para la reflexión–metacognición, que pueden incrementar la significación en los procesos de aprendizaje.
- Cuando un grupo pequeño de individuos (2 a 5 miembros) usa juicios de metamemoria, genera un microsistema motivacional compartido que incide positivamente en el aprendizaje de cada uno de ellos.
- Las visiones complementarias sobre los procesos de solución de problemas, contribuyen a que se construyan estrategias fuertes, en consecuencia se pueden esperar resultados más altos en términos de eficiencia, eficacia y significación de las

estrategias producidas.

- La sugerencia de estrategias adaptativas, en la condición de aprendizaje colaborativo, puede ser potenciada en su significación y eficacia, aunque no necesariamente en su eficiencia.
- Los juicios de metamemoria basados en eventos aseguran un desarrollo progresivo del aprendizaje, en tanto que los juicios basados en tiempo, inicialmente producen efectos motivacionales que pueden incidir en una consolidación tardía de las estrategias de solución del problema.

En la prosecución de los objetivos se pretende, con este trabajo, contextualizar estas aseveraciones tanto con relación a otras investigaciones como a los resultados alcanzados en la experimentación objeto de este trabajo.

1. ANTECEDENTES

1.1 ANTECEDENTES INMEDIATOS DE ESTA INVESTIGACIÓN

La investigación que aquí se presenta, tiene relación de continuidad con estudios precedentes realizados por el mismo equipo de investigadores.

La primera incursión de este grupo sobre el aprendizaje autónomo, Maldonado y otros (1979), muestra que los métodos basados en el estudio personal generan mayor rendimiento en aprendizaje, que aquellos que se basan en la asistencia a conferencias y en consecuencia, condujo al análisis de procesos controlados por el estudiante.

Maldonado (1989), al analizar la toma de decisiones sobre elección de secuencias en la lectura de hipertextos en tres escenarios: uno que usaba mapas curriculares, otros, tablas de contenido y otros, una lista de objetivos, encuentra que la secuencia no es elemento crítico en la comprensión de un hipertexto; en cambio, sí hay una correlación alta entre autoevaluación del aprendizaje y comprensión.

Maldonado y Andrade (1996) estuvieron interesados en mejorar las capacidades de autoevaluación, como dimensión metacognitiva,

mediante el suministro de retroalimentación. El trabajo mostró que este factor es poco sensible a la regulación por información pero, se vio, que sí incide en el tiempo invertido en la solución de los problemas, es decir, hay, en primer lugar, un impacto a nivel cognitivo y sólo después a nivel metacognitivo. Se mostró como los estudiantes más exitosos y los que auto - evaluaban su aprendizaje, también activaban de manera consistente estrategias de solución de problemas. Esto hizo pensar en las características del software de entrenamiento como factor que influye en la consolidación de estrategias de búsqueda eficientes en la solución de problemas.

A partir del estudio anterior, Maldonado, y otros. (1999) introducen el concepto de activador de juicio de metamemoria como una comunicación que induce a los estudiantes a valorar su nivel de aprendizaje y el contenido de su memoria de largo plazo. También se evaluó el efecto de la sugerencia de estrategias de solución de problemas. Se encontró que tanto los activadores de juicio de metamemoria como las sugerencias de estrategias, tienden a ser más efectivos después de alguna experiencia de base en la solución de problemas- Los activadores de juicio de metamemoria influyen en una etapa más temprana en la regulación de los procesos de búsqueda, que las sugerencias de estrategias.

- La combinación de activadores de juicio y estrategias generan un efecto de interacción positivo que hace que, a través de las diferentes etapas del aprendizaje, el sujeto tienda a obtener puntajes más altos en comparación con grupos en los cuales esta combinación no se da. En la generalización, los sujetos gastan un tiempo en probar esquemas antiguos antes de empezar a probar esquemas nuevos. Las estrategias fuertes de descubrimiento, generan mayor capacidad de generalización, la cual se observa en las etapas de descubrimiento de juegos subsiguientes.

El análisis de resultados de esta investigación se hizo a partir de protocolos elaborados por el computador -simuladores-. Se entiende

por protocolo la descripción de las acciones que un agente puede tomar en función de sus estados actuales en un proceso de solución de problemas (Fagin y otros. 1995) Este protocolo fue elaborado por el computador como programa ejecutable que permite reproducir el proceso de solución de problemas de cada sujeto. Se desarrolló como una alternativa al análisis de protocolos de reportes verbales utilizados en otras investigaciones (Ericson, K. v. & Simon, H. 1980).

Esta versión digital de protocolos – simuladores - permite, además de la repetición de procesos, aplicar técnicas computacionales para exploración de datos y tomar secuencias que pueden ser analizadas de diferentes maneras. La identificación, seguimiento y orientación de los procesos de aprendizaje es una meta propuesta pero no alcanzada en la pedagogía contemporánea. Los simuladores contribuyen al logro de este propósito, compitiendo con alternativas analógicas como es el caso del vídeo o la grabación de audio.

En contraste con el análisis de protocolos verbales se gana en precisión fiabilidad y versatilidad de la información, pero se pierde la riqueza de expresión verbal que puede reflejar dimensiones importantes del proceso de razonamiento de los sujetos. Pero, vale reconocer, que los registros hechos son válidos en cuanto reflejan la transición de estados en la solución del problema.

La tesis conducente al título de Magíster, elaborada por López (1999), introdujo los simuladores como dispositivo para que los estudiantes analizaran su propio proceso de solución de problemas o el seguido por un experto en tareas de diseño mecánico. Concluye que los sujetos que estudian sus propios procesos usando simuladores desarrollan estrategias mas consistentes y variadas que aquellos que analizan simuladores de procesos de toma de decisiones ejecutados por expertos.

Maldonado y otros (2000) estudian, en primer lugar, la relación entre variedad y fortaleza de estrategias en la solución de problemas y encuentran que esta relación es inversa. El análisis combina una metodología estadística con el análisis cualitativo usando

simuladores como dispositivos. Analiza el efecto de estrategias adaptativas y fijas combinadas con activadores de juicios de metamemoria basados en tiempo y en eventos sobre la eficiencia y la eficacia en la solución de problemas.

Los resultados muestran que un grupo con activadores de juicios basados en tiempo y sugerencia fija de estrategias tiene la mejor posibilidad de consolidar sus propias representaciones. En consecuencia, genera menos variedad de estrategias y conserva esta tendencia entre juegos. Las estrategias aprendidas en la primera etapa del primer juego se consolidan en la segunda y, a su vez, tienden a prevalecer en el segundo juego. El grupo con sugerencia de estrategia fija al inicio del juego y activadores basados en eventos, puede, a su vez, generar sus propias ideas sin ser interrumpido, pero tiene un costo de respuesta que lo obliga a una prueba de mayor precisión. Los resultados muestran una mayor variedad con respecto al primero. El tercer grupo, con activadores basados en tiempo y sugerencia de estrategia adaptativa, puede ganar mas oportunidad de probar sus hipótesis que los que trabajan con activadores basados en eventos, pero es interrumpido periódicamente en su proceso de prueba. Este grupo, en consecuencia, tiende a generar mayor variedad de estrategias que el segundo. Finalmente el cuarto grupo, con activador de juicio de metamemoria basado en eventos y sugerencia de estrategia adaptativa, genera la mayor variedad y la menor transferencia de estrategias bajo el impacto del costo de respuesta y de la sugerencia adaptativa después de intentos fallidos. Las estrategias fuertemente consolidadas, según estos hallazgos, tienden a generalizarse y la variedad y la fuerza de las estrategias –medida por la eficacia o la eficiencia– son inversamente proporcionales.

En el mismo trabajo se introduce una tipología de generalización de estrategias con base en el análisis estadístico de resultados. Una *generalización de tipo 1*, opera entre la eficacia o eficiencia en la última solución del juego que antecede y la eficacia o la eficiencia en la primera solución del juego que sigue y los signos de t y β de la regresión son positivos; una *generalización de tipo 2* opera

entre la eficacia o eficiencia en la primera solución del juego que antecede y la eficacia o la eficiencia en la primera solución del juego que sigue y los signos de t y β de la regresión son positivos; otra *generalización de tipo 3* opera entre la eficacia o eficiencia en la última solución del juego que antecede y la eficacia o la eficiencia en la primera solución del juego que sigue y los signos de t y β de la regresión son negativos.

Un conjunto de juegos forma parte del mismo sistema basado en transferencia de estrategias si entre ellos hay generalización de tipo 1 o tipo 2. No forman parte del mismo sistema cuando entre ellos se da generalización de tipo 3.

Cuando existe un sistema de juegos, puede, a su vez, clasificarse en una de dos clases, si entre ellos opera la generalización de tipo 1 o de tipo 2. En la primera, la estrategia consolidada en la última etapa del primer juego se convierte en la base para el descubrimiento de la primera solución del segundo juego; en la segunda, hay una estrategia que sirve de base común para el descubrimiento de la primera solución en los dos juegos.

Este trabajo también confirma las conclusiones de Maldonado y otros (1999), según las cuales los activadores de juicios de metamemoria y la sugerencia de estrategias influyen en la eficiencia o en la eficacia y hay interacción entre estas dos variables.

Comparadas la sugerencia fija y la adaptativa, se puede formular la hipótesis de que la fija requiere menos tiempo de procesamiento que la adaptativa, pues en realidad la adaptativa pone a consideración del jugador más de una estrategia; pero, por otra parte, la adaptativa genera mayor variedad y adaptabilidad, lo cual incide en mayor eficacia en etapas avanzadas. Los activadores, al operar sobre el nivel motivacional, generan condiciones para un procesamiento diferencial de las estrategias sugeridas. Los intentos fallidos crean condiciones para la asimilación de sugerencias que adquieren, por esta razón, una fuerza creciente que es capaz de generar cambio de estrategia.

1.2 COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS

El siguiente factor que se introduce en el sistema se identifica como comprensión de conceptos.

Los resultados están mostrando que los estudiantes aprenden mejor las categorías como conceptos generales, pero tienen mayor dificultad para asignar contenido particular a estas categorías. Este hallazgo es totalmente coherente con los resultados de investigaciones sobre memoria. Se recuerdan mejor las categorías generales que la información específica y, a medida que pasa el tiempo, el recuerdo queda reducido a los conceptos generales. Finalmente, la relación entre conceptos -conexiones- resulta ser el aprendizaje más difícil. Al parecer, la formación de estructuras se relega a un segundo plano por los estudiantes. Esto tiene consecuencias en la desintegración del saber.

Este trabajo desarrolló un conjunto de hipertextos siguiendo una ontología estructural. Esto dio lugar a una forma de narrativa aplicada a los temas que los investigadores consideraron estaban estrechamente relacionados con los juegos y que constituían una representación de dominio de conocimiento. Al utilizar los resultados de la evaluación de comprensión de los hipertextos como predictor del éxito en la solución de problemas, medido a través de la eficiencia y la eficacia, se encontró que existe una proporción de varianza sistemática que se puede explicar de manera significativa por los resultados en la evaluación de comprensión. Los puntajes en categorías y conexiones muestran efectos notorios en cerca de la tercera parte de las posibilidades y el de contenido en un quinto de ellas. Estos resultados muestran que una forma de narrativa estructurada puede constituir una base para construir estrategias de solución de problemas en juegos de descubrimiento. La información específica, representada en este caso por los

contenidos, además de ser mas difícil de memorizar, tiene menor fuerza en la estructuración de las estrategias.

La comparación del impacto relativo de la comprensión de hipertextos con la sugerencia de estrategias y los activadores de juicios de metamemoria -variables de la metacognición- muestra que la comprensión tiene mas efecto sobre el desarrollo de estrategias que las variables relacionadas con la metacognición -relación de 6 a 4-. Los activadores de juicios de metamemoria, la asignación de categorías y la habilidad para establecer conexiones entre conceptos tienen un peso similar sobre la construcción de estrategias. Por otra parte, la sugerencia de estrategias y el aprendizaje de contenidos tienen un impacto similar sobre la eficacia y la eficiencia.

El segundo núcleo temático de esta investigación giró en torno al valor de los simuladores en la formación de docentes. Esta dimensión de la investigación, que es de corte cualitativo, se orientó a comprender una dinámica que pueda dar luces sobre la formación de docentes en su capacidad de monitorear y orientar procesos de aprendizaje, oponiendo dos formas de orientación de la acción del profesor: a contenidos y a procesos.

Se identificaron cuatro componentes que constituyen la base de las construcciones pedagógicas de los profesores: las experiencias que crean base para hacer analogías y metáforas para entender los procesos de solución de un problema, su competencia como solucionador probada en los juegos, su desarrollo metacognitivo y su aprendizaje vicario, observando y analizando a otros jugadores.

En este contexto los simuladores basados en computador y los juegos de descubrimiento se muestran como ambientes potentes para apoyar el desarrollo metacognitivo cuando el profesor analiza sus propios procesos o su aprendizaje vicario cuando estudia los juegos de otros. También es notorio el potencial de los simuladores para formar la capacidad analítica relacionada con la evaluación del aprendizaje, -propio o de otros-.

El trabajo presenta un sistema de comparaciones que ponen de relieve varios componentes que, al parecer, están íntimamente relacionados con la formación de la capacidad de monitoreo y orientación de procesos de estudiantes por parte de profesores. La primera de ellas tiene que ver con la solución directa de un problema; la segunda, con observación y análisis del propio proceso de solución de problemas, la tercera con la observación y análisis de la manera como otra persona resuelve un problema y la cuarta con el juego propio y la observación y análisis del juego de otro.

En teoría, cada una de estas experiencias afecta de manera diferente al docente.

La primera, incide en la formación de competencias para resolver el problema. Como resultado ideal, se obtiene el solucionador competente.

La segunda, además de formar al solucionador competente, activa procesos metacognitivos.

La tercera, desarrolla una experiencia que los investigadores han llamado de aprendizaje vicario o por observación.

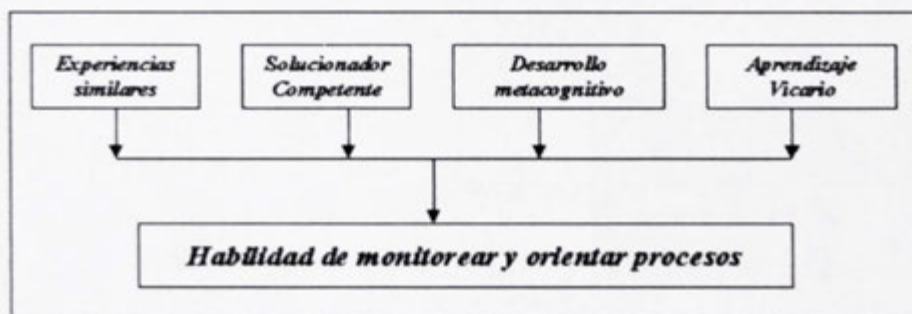
La cuarta, forma al solucionador competente y genera aprendizaje vicario.

Este análisis da origen a un modelo explicativo del proceso de formación de habilidades para orientar procesos en los profesores, el cual se basa en las siguientes generalizaciones:

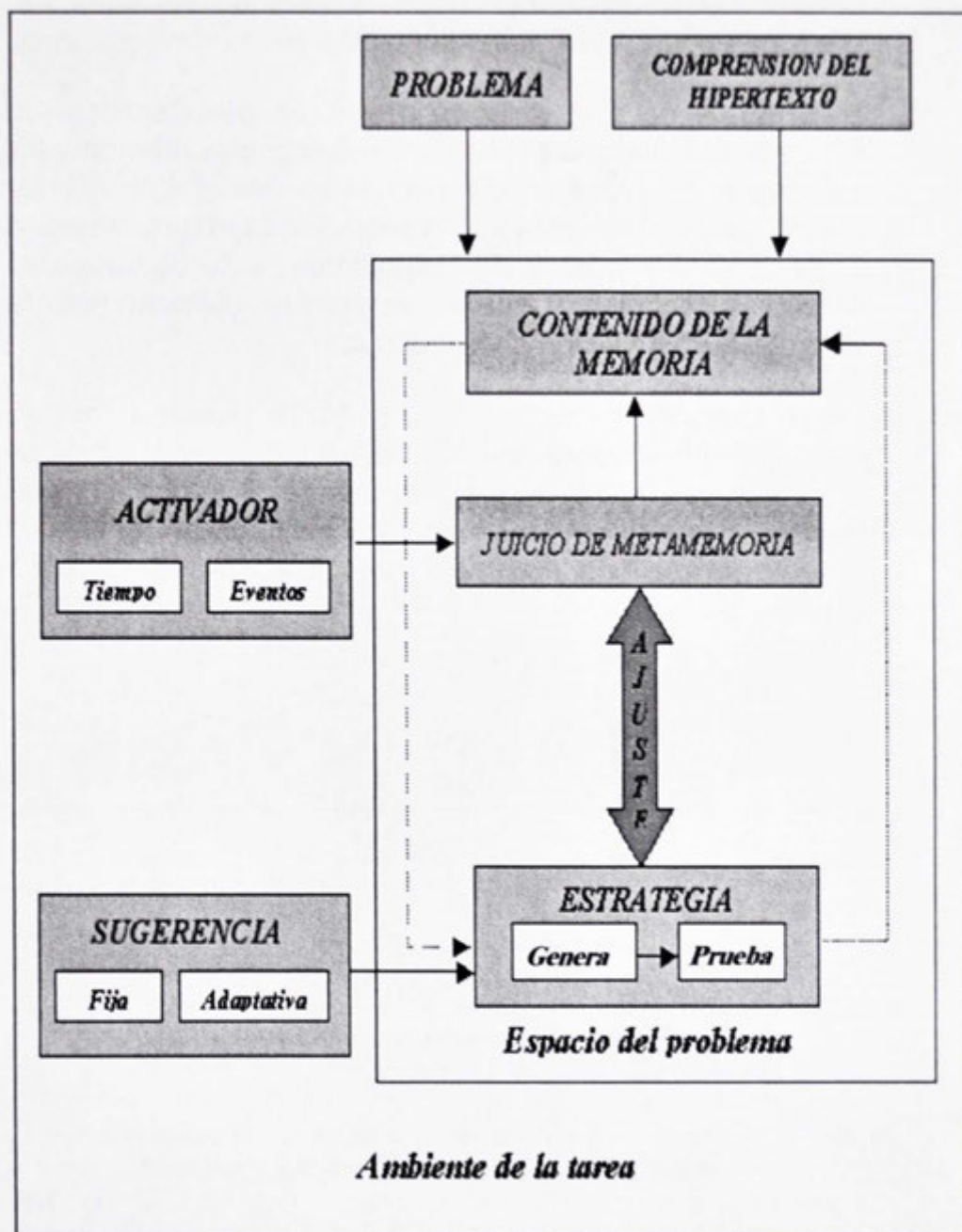
1. Quien sólo tiene la observación de otros que resuelven problemas, tiene posibilidades de generar verbalizaciones por analogía con su experiencia anterior, las cuales son insuficientes para orientar procesos en los estudiantes.
2. La experiencia de resolver el problema o, en su defecto, el tener experiencias similares, establece la base cognitiva -

conjunto de representaciones- a partir de las cuales el profesor puede definir una interacción con sus estudiantes.

3. El análisis de sus propios procesos para solucionar problemas, habilita la dimensión metacognitiva referida a las estrategias de solución que le permite establecer valoraciones que se traducen en expresiones sobre variedad de estrategias y efectividad y validez de las mismas. Este componente habilita interacciones que incorporan en su contenido la valoración y validación de estrategias.
4. Un desarrollo metacognitivo, permite construir nuevo conocimiento al hacer análisis de las estrategias utilizadas por otros. Las interacciones generadas por un profesor que tenga los tres niveles de experiencia, podrían considerar mayor número de posibilidades constructivas en los estudiantes.



Gráfica 1.1. Cuatro factores que inciden en la formación de habilidades para monitorear y orientar procesos (Maldonado y otros, 2000).



Gráfica 1.2. Cognición y metacognición en un modelo de aprendizaje autónomo.

1.3 MODELO QUE INTEGRA LOS RESULTADOS

La Gráfica 1.2 esquematiza la estructura de un sistema de aprendizaje autónomo coherente con los resultados de las investigaciones previas hechas por el grupo como antecedentes al proyecto objeto de este informe. La autonomía del aprendiz es una función compleja en la cual se integran, a cada momento, dimensiones motivacionales y cognitivas para obtener como resultante la selección de una estrategia en un intento N para resolver el problema. Es una función que se puede simular mediante un sistema dinámico, es decir, aquel en el cual se integra el tiempo. En un momento t_n , el contenido de memoria contiene un nivel conceptual de comprensión adquirido previamente, una presentación del problema generada a partir de alguna entrada del entorno y un menú de estrategias para resolver el problema. Este contenido constituye el conocimiento objeto, sobre el cual se hacen dos valoraciones: una sobre cuál es la mejor estrategia y otra sobre cuál es, en ese momento, la capacidad subjetiva de resolver el problema.

El nivel de comprensión, como conocimiento objeto, provee las bases para construir la representación actual del problema y para decodificar la sugerencia externa de estrategia, la cual puede ser integrada al menú actual de estrategias, si un nivel mínimo de comprensión la hace significativa.

Los juicios de metamemoria son valoraciones del conocimiento actual y generan una economía de esfuerzo a partir de metas inmediatas, relacionadas con la solución del problema. Esta economía se centra en una racionalización del tiempo o del esfuerzo, según el activador tenga como contenido tiempo o eventos.

Los juicios de metamemoria generan un proceso homeostático en el cual el contenido del juicio de metamemoria establece el punto de equilibrio. La relación entre intentos fallidos e intentos exitosos se constituye en el sistema regulador de la actividad cognitiva. Un intento exitoso confirma el valor de la estrategia seleccionada, la

cual es almacenada como tal, en memoria de largo plazo; el intento fallido abre la posibilidad de considerar otra alternativa de estrategia, punto en el cual una sugerencia puede ser tomada en consideración.

La dinámica de los activadores basados en eventos establece una relación directa entre la calidad de la respuesta y el éxito, y con el mismo criterio se establece la valoración de la relación entre conocimiento previo y generación de estrategia para la solución del problema. El tiempo invertido en este análisis hace que en el término inmediato el rendimiento sea mínimo y en el mediano y largo, sea mayor. Cuando los activadores tienen como contenido el tiempo, la relación se establece entre velocidad de respuesta y éxito. Los contenidos disponibles en la memoria juega un papel crítico, por esta razón, la variedad de estrategias tiende a ser mínima y la sugerencia fija de estrategias tiende a tener mayor efecto en el corto plazo.

El nivel de autonomía en el aprendizaje depende del grado de comprensión del tema, de la variedad y fortaleza de las estrategias disponibles en la memoria de trabajo y de la fuerza motivacional generada por los juicios de metamemoria.

1.4 EL ESTUDIO AUTODIRIGIDO

Uno de los antecedentes conceptuales y metodológicos mas importantes en el estudio del aprendizaje autónomo fue dado por Gagné (1985) y Briggs (1968). La instrucción puede entenderse como la disposición de una serie de eventos a través de los cuales el aprendiz logra comunicación con una fuente de información y obtiene como resultado cambios al nivel de sus estructuras conceptuales, valorativas o psicomotrices. El control de esa serie de eventos puede estar en manos de un agente externo al estudiante (por ejemplo, un instructor o un programa de computador), en manos

del mismo estudiante (caso en el cual hablamos de aprendizaje autodirigido), o distribuido entre el estudiante y el agente externo.

El control sobre los eventos de instrucción se realiza mediante un proceso de decisiones en una sucesión temporal, lo cual da pie para definir el aprendizaje autodirigido en términos del conjunto de decisiones que el estudiante toma en un proceso específico de autoinstrucción (Wydra, 1980; Azbell, 1988). Este contexto permite orientar el proceso de investigación sobre estudio autodirigido como la relación entre opciones y decisiones en procesos instruccionales específicos. El desarrollo de patrones de decisión se ha venido conceptualizando como estrategias de aprendizaje (Gagné, 1985; Derry & Murphy, 1986).

1.5 METACOGNICIÓN

Nelson & Narens (1994) presentan un modelo de los procesos metacognitivos compuesto de dos niveles: el nivel meta y el nivel objeto, que interactúan mediante flujos de información de dos clases: control y monitoreo.

El nivel objeto está constituido por el conocimiento acerca de los objetos y se manifiesta como representaciones o modelos de esos objetos y sus interrelaciones. El metanivel es una representación o modelo del conocimiento que se tiene a nivel objeto.

El flujo de información en términos de control, se ejerce del nivel meta al nivel objeto; esto quiere decir que el primero puede modificar al segundo en tanto que el segundo, sólo envía información sobre sus estados al primero.

Las operaciones de control están constituidas por continuación o terminación de acciones.

El monitoreo desarrolla la representación sobre el nivel de conocimiento objeto. Nelson & Narens (1990) distinguen el monitoreo

retrospectivo (el juicio sobre una respuesta previa) y el monitoreo prospectivo (juicio acerca de futuras respuestas). Dividen el monitoreo prospectivo en juicios a cerca de la facilidad de aprendizaje, emitidos previamente a la adquisición de un aprendizaje (EOL = **easy of learning**); juicios acerca del aprendizaje, que se emiten durante o después de un aprendizaje sobre la ejecución futura de ese aprendizaje (JOL = **judgments of learning**); juicios acerca de ítems que no se recuerdan en el momento y que valoran si se tienen o no aprendizajes que ya se aprendieron o se están aprendiendo (FOK = **feeling of knowledge**).

En la solución de problemas, Davison, Deuser & Sternberg (1994) señalan como procesos metacognitivos la identificación y definición del mismo; la representación mental del problema; la planeación de procedimientos a seguir y la evaluación del conocimiento acerca del desempeño. Tanto las características del sujeto, como las características del problema y del entorno, influyen en el desarrollo de estos procesos.

Identificación del problema: el primer paso en la solución de un problema consiste en codificar los elementos críticos del problema, llevarlo a memoria de trabajo y extraer de la memoria de largo plazo la información que es relevante a estos rasgos (Newell & Simon, 1972). La representación es mas fácil cuando los problemas están bien estructurados que cuando están débilmente estructurados.

La representación mental del problema ayuda a reducir las exigencias de memoria; a organizar las condiciones y reglas del problema y a determinar si ciertos pasos están permitidos y si son productivos (Kotosky, Hayes & Simon, 1985). La representación del problema es una estructura cambiante a través de la solución del problema. Los cambios de representación se llevan a cabo según tres procesos mentales: codificación, combinación y comparación selectiva (Davidson & Stenberg, 1996). Con el primero se identifican rasgos que no se habían visto como relevantes en pasos anteriores; con el segundo, se reúnen elementos de la situación problema de

una manera que no había sido evidente en pasos anteriores; con el tercero, se identifican nuevas analogías, metáforas o modelos que se usan para la solución.

La planeación de procedimientos: una vez se tenga una representación mental del problema, se requiere que el sujeto identifique los pasos por seguir y los recursos por utilizar. Generalmente, se hace dividiendo el problema en subproblemas e identificando recursos, Greeno (1980). Las personas tienden a planear en relación inversa por la familiaridad con el problema (Pea & Hawkings, 1987). Debido a que planear requiere tiempo, los sujetos mas jóvenes planean menos detalladamente que los mayores (Stenberg & Nigro, 1980). La falta de planeación se asocia con un mayor número de errores (Stenberg, Rifkin, 1979). En el proceso de planeación, los sujetos se apoyan muchas veces en heurísticas. Las tres siguientes son las mas conocidas:

1. Análisis medio-fin que trata de reducir la distancia entre el estado actual del problema y el estado al cual uno quiere llegar;
2. Trabajo hacia adelante que parte del estado inicial del problema y trata de llegar al estado deseado;
3. Trabajo hacia atrás que parte del estado deseado y trata de regresar hacia atrás hasta hallar el estado inicial.

Evaluación de soluciones: en la medida en que una persona trabaja en la solución de un problema, requiere registrar lo que va haciendo, lo que va logrando y lo que aún necesita hacer (Flavel, 1981).

1.6 METODOS COLABORATIVOS DE APRENDIZAJE

1.6.1 CONCEPTOS BÁSICOS

El aprendizaje es una dimensión individual, pero, puede ser resultado de procesos colaborativos, razón por la cual en este trabajo

atribuimos la expresión colaborativo al método de estudio y no al aprendizaje. No queremos con esto afirmar que las dimensiones del aprendizaje por estudio individual sean necesariamente iguales a las del aprendizaje obtenido como resultante de las colaboraciones y negociaciones de saber. Seguramente los aprendizajes incidentales o no planificados puedan ser muy diferentes en los dos casos y justifiquen decisiones a favor de una u otra opción.

Las aproximaciones pasivas al aprendizaje, asumen que los estudiantes aprenden recibiendo y asimilando individualmente el conocimiento, comunicación unidireccional, independientemente de otros factores (Johnson & Johnson, 1979; Bouton & Garth, 1983). En contraste, las aproximaciones activas presentan el aprendizaje como un proceso social que tiene lugar a través de la comunicación bidireccional con otros (Mead, 1934). Quien aprende construye activamente el conocimiento expresando ideas mediante palabras, gráficos, imágenes, animaciones, gestos o actuaciones. Esas ideas se construyen a través de reacciones y respuestas a las de otros (Bouton and Garth, 1983; Alavi, 1994). El aprendizaje, por tanto, no sólo es activo sino interactivo.

En particular, los métodos colaborativos o de grupo se refieren a procedimientos de instrucción que motivan a los estudiantes a trabajar juntos en tareas académicas. El aprendizaje mediante colaboración es fundamentalmente diferente de la tradicional transferencia directa o transmisión de conocimiento en una sola dirección en la cual el instructor es la única fuente de conocimiento (Harasim, 1990).

En los métodos colaborativos la instrucción está centrada en el aprendizaje del estudiante como resultado de múltiples interacciones, no sólo con el profesor. El conocimiento es una construcción social facilitada por la interacción entre los pares y por la evaluación. Por tanto, el papel del maestro cambia de transferente de aprendizaje a facilitador de la construcción del conocimiento.

Los primeros trabajos sobre métodos colaborativos de aprendizaje se concentraron sobre aspectos prácticos -no técnicos- de la colaboración debido a la falta de tecnología. Con los recientes avances en el campo de la inteligencia artificial, específicamente sobre el modelamiento y diagnóstico del estudiante, la representación del conocimiento y su distribución, la investigación incluye los aspectos técnicos.

El estudio de los métodos colaborativos de aprendizaje desde este enfoque, es de carácter heurístico y argumentativo; parte de información incompleta que se incrementa durante la interacción hombre - máquina. Esta aproximación tecnológica flexible permite acomodar una variedad de comportamientos y tareas de los grupos. El estudio de la colaboración se proyecta a través del desarrollo de varias interfaces:

La primera estructura es el diseño del lenguaje a través del cual los pares interactúan. El lenguaje debe ser específico de la tarea y suficientemente expresivo, para poder guiar preguntas pertinentes en un dominio dado. Debe también facilitar el monitoreo del tiempo entre el envío de los mensajes y el inicio de las respuestas de los actores. Por ejemplo, en sesiones de colaboración en tiempo real usando una red telemática, la demora entre respuestas de los pares debe ser evaluada apropiadamente, ya que puede ser causada por la carga de la red o por la demora de respuesta de los pares.

La segunda interfaz tiene que ver con el modelamiento de los pares que colaboran en un problema interesante y que, al mismo tiempo, reta a los investigadores. Incorpora representación tanto de las actividades colaborativas como de los conflictos y la solución de los mismos. Los papeles de los agentes que colaboran pueden modelarse dependiendo de las características de sus papeles y de la profundidad de los procesos modelados. Es importante que el modelo de los procesos de colaboración entre pares muestre varios niveles de detalle, pues influye en el nivel de diagnóstico y explicación de los procesos. Por ejemplo, factores como diferencia de género o de formación previa se pueden usar como predictores de la efectividad de la colaboración. De manera similar, factores que están

dependiendo del dominio como conflicto entre términos de una hipótesis, deben modelarse de tal manera que los agentes que colaboran entiendan la dirección de la colaboración.

La tercera interfaz se refiere a la representación de conocimiento para el aprendizaje colaborativo, la cual puede usar técnicas como son: guiones, redes semánticas, sistema de marcos o lógica de primer orden.

La cuarta interfaz tiene como objeto la coordinación de la colaboración como proceso fundamental. Incluye la administración de diferentes papeles asignados a los agentes colaborantes. Es un tópico de investigación, por sí mismo, con preguntas como: quién responde enseguida o quién debe iniciar la respuesta. Los procesos de colaboración deben ser evaluados con base en un conjunto de guías pedagógicas que aseguren que la colaboración tiene lugar en un sitio apropiado y con interacciones positivas de todos los pares. El sistema debe ser capaz de suministrar técnicas diferentes de tutoría que se ajusten a los estilos de los agentes colaborantes. La determinación de orientación de la colaboración es otro tópico fundamental de investigación.

1.6.2. APROXIMACIONES COMPUTACIONALES AL APRENDIZAJE POR COLABORACION.

Como resultado del interés reciente por los sistemas de aprendizaje colaborativo basado en computador se ha desarrollado un número significativo de programas. Aquí damos una lista de algunos de ellos y una corta descripción, a partir de la cual se sintetizan las dimensiones de la investigación actual sobre este tema.

- **ODISSEUS** es un sistema experto de aprendizaje que refina su base de conocimiento observando a un experto humano que resuelve problemas. El experto humano colabora con el sistema para hacer que este aprenda. El comportamiento del experto se registra como un ejemplo y el sistema aplica el

aprendizaje basado en explicaciones para aprender, a partir del ejemplo (Wilkins1988).

- **LEAP** es un sistema de aprendizaje que explica por qué un circuito VLSI trabaja con una señal dada. El usuario puede rechazar la explicación propuesta y redefinir el circuito. De acuerdo, a la entrada, LEAP modifica su base de reglas (Mitchell, Keller, & Kedar-Cabelli1986).
- **SHERLOCK** es un sistema para resolver problemas electrónicos orientado a aprendices de la fuerza área F16 de E.U. Sherlock2 suministra una extensión de aprendizaje colaborativo a Sherlock. Después de que el estudiante resuelve un problema de diagnóstico de una falla electrónica en Sherlock, el sistema le da al estudiante la oportunidad de reflexionar sobre la ejecución de la solución del problema mediante una fase llamada reflexiva. Sherlock2 espera que el estudiante elabore su propia estrategia de solución criticando sus propias soluciones y explicando por qué una acción es inapropiada o cercana a óptima y sugiriendo alternativas (Katz & Lesgold1993).
- **MEMOLAB** es un ambiente de aprendizaje que ilustra la distribución de papeles entre varios estudiantes. El aprendiz resuelve los problemas interactuando con un experto. El sistema da ayuda usando otros agente (instructor) que también monitorea la interacción. La distribución de papeles se concibe de tal manera, que los agentes son independientes de los dominios de conocimiento y pueden ser reusados para construir otros ambientes (Dillenbourg, Mendelsohn, & Schneider1994).
- **BOOTNAP** es un sistema de aprendizaje colaborativo basado en un artefacto. Propone técnicas para apoyar la interacción hombre-computador que son equivalentes a los gestos observados entre humanos. (Dillenbourg 1995).

- **PREP** es un acrónimo para "preparar trabajos", un dispositivo de escritura desarrollado en Carnegie Mellon University. Usa una rejilla de dos dimensiones de texto similar a una hoja de cálculo en la cual los pares escriben individualmente. El texto se distribuye en segmentos horizontales que cada par puede manipular. Los pares se supone acuerdan escribir o editar su propio segmento de texto. Adicionalmente se les permite navegar a través de los segmentos escritos por sus pares. De esta manera usando PREP los individuos desarrollan partes del texto y también revisan el trabajo de otros. Se encuentra que PREP es útil para resolver problemas de escritura de grano fino, tales como estilo, claridad de expresiones, estructura de párrafos, y es menos útil para problemas de gran escala como la organización del conjunto y la estructura del documento. (Neuwirth y otros 1990).
- **SHREDIT** es un editor de texto colaborativo usado, en primera instancia, para estudios de comportamiento de grupo (McGuffin & Olson 1992).
- **INTEGRATION-KID** es un sistema acompañante de aprendizaje (compañero-maestro-alumno) en el dominio de integración simbólica. Cubre un curso completo, pero corto. Tanto el estudiante como el software acompañante son responsables de resolver un problema dado. Uno decide los pasos para resolver el problema mientras el otro los ejecuta. En caso de el estudiante y el acompañante no puedan resolver el problema el maestro interrumpe para ayudar.
- **THREE'S COMPANY** (Tres son compañía) es una extensión de integration Kid que incluye un agente acompañante más. El nuevo agente analiza la motivación del estudiante, si su ejecución cae entre los dos acompañantes (Lin 1993).
- **RECIPROCAL-KID** es un tutor de programación de LISP. Descompone la programación en planeación ejecución y crítica.

El sistema se construye sobre otro sistema llamado PETA. El sistema da apoyo a un tutor que da asesoría y el juicio final si surgen conflictos entre los agentes (Chan, 1993).

- **PEOPLE POWER** es un sistema colaborativo basado en computador, en el que el co-aprendiz actúa como colaborador del estudiante. Contiene un micromundo que permite al estudiante crear un sistema electoral y simular una elección. El co-aprendiz actúa como alguien que propone o critica para probar que algunos cambios en el país pueden conducir a ganar asientos para un partido en particular (Dillenbourg & Self 1992^a).
- **DISTRIBUTED WEST** es una re-implementación del sistema clásico WEST. El estudiante juega en contra del computador tratando de alcanzar la meta antes de su oponente. El sistema da una configuración colaborativa donde dos compañeros pueden jugar el mismo juego en contra de otra persona o grupo que se unen para jugar contra del sistema (Chan, 1993).
- **QUILT** es un sistema de escritura que da apoyo a varios estilos de colaboración. Impone una estructura de escritura con respecto a roles de miembros de la sociedad y de autoridades. Estimula a los grupos a que establezcan estructuras sociales y de autoridad bien definidas con respecto a los documentos co-autorados; por ejemplo, los participantes pueden tomar los roles de coautor, comentarador y lector (Leland & Kraut, 1988)
- **RESCUE** es un sistema de juego de roles. El estudiante asume un rol asignado e interactúa con otros agentes en una situación dada. El agente estructura la interacción usando un lenguaje basado en menú y explora el ambiente para llevar a cabo una tarea (Chan, 1993).

1.6.3 LAS DIMENSIONES DEL APRENDIZAJE COLABORATIVO

La siguiente lista resume los tópicos mas importantes tomados en cuenta por los sistemas actualmente desarrollados. En ellos no se encuentran sistemas que simulen procesos de solución de problemas como insumo para la colaboración, lo cual es objeto de la presente investigación.

- Control de interacciones colaborativas.
- Tareas de colaboración para el aprendizaje.
- Teorías de aprendizaje y construcción de conocimiento mediante colaboración.
- Diseño de ambientes de colaboración para el aprendizaje.
- Roles de ambientes de aprendizaje colaborativo.

1.6.4 AGENTES SIMULADORES EN RELACIÓN CON LA COLABORACIÓN

Klush (1999) ubica el surgimiento de la tecnología de los agentes artificiales inteligentes de información, en el contexto de la demanda creciente de información que se presenta en los diferentes sectores de la actividad humana, entre los cuales está la educación. Los agentes de información son programas de computador con algún nivel de autonomía que tienen acceso a varias fuentes de información heterogéneas, distribuidas en diferentes zonas geográficas. Aparecen para enfrentar el problema de sobrecarga de información y deben desarrollar tareas básicas como buscar, analizar, manipular e integrar.

Klush clasifica los agentes de información presentando, en primer lugar, las categorías de agentes biológicos, computacionales y robots. Divide los agentes computacionales en agentes de información y agentes con vida artificial. Los agentes de información muestran rasgos de adaptabilidad, racionalidad y movilidad, y pueden ser

cooperativos o no cooperativos. Son adaptativos en cuanto pueden responder a cambios en la red o en los ambientes de información. La racionalidad normalmente es una función de utilidad: los agentes cooperan en la medida en que pueden beneficiarse. Y son móviles en cuanto pueden migrar por diferentes sitios en una red.

Existe una buena variedad de arquitecturas de sistemas cooperativos, que no sólo facilitan el manejo y construcción cooperativa de información, sino que son además paradigmas de interacción. Se han clasificado con base en un criterio más o menos estándar que es el de "mediación". Un agente puede asumir la responsabilidad de realizar una especie de mapeo de fuentes de información para que sean utilizadas por el resto de agentes. Otros se encargan de la protección de los diferentes componentes de sus sistemas.

Los agentes *usuarios* se valen de mecanismos para seleccionar una ontología brindando soporte en gran variedad de formas para hacer interfaces con los usuarios, por ejemplo: formatos de pregunta escritos, gráficos, lenguajes y menús de constructores de preguntas, con el propósito de tener acceso a otras fuentes de información como análisis de datos, diagramas de flujo y otros tipos de herramientas que permitan el aprendizaje de conceptos.

Los agentes *intermediarios* localizan otros agentes con capacidades especiales. Estos manejan, almacenan y repiten mensajes ubicando diferentes agentes receptores. Son muy potentes en el manejo de comunicaciones entre varios agentes, bases de datos y programas de aplicación en ambientes específicos.

Los agentes de *recursos* son de varios tipos, dependiendo de la clase de elementos que puedan proporcionar. Entre los más importantes se encuentran los agentes de bases de datos, que manejan fuentes de información muy específicas, aplican técnicas de aprendizaje de máquinas para construir conceptos lógicos, a partir de datos o técnicas de uso estadístico, que explotan al máximo la información. Estos agentes también aplican las técnicas de mapeo

para relacionar cada pieza de información con un contexto específico y realizar traducciones o interpretaciones de mensajes con alta carga semántica.

Los agentes de *ejecución* se desempeñan como sistemas de conocimiento basados en reglas y guiones que supervisan la formulación de preguntas, generan escenarios y permiten procesos de análisis a partir de diagramas de flujo que se propagan en red. Trabajan sincronizados con los agentes intermediarios en el proceso de descomposición de preguntas que requiere variedad de agentes; además, combinan las respuestas parciales obtenidas de otros agentes, y las traducen o interpretan según las ontologías.

Los agentes *ontológicos*, de gran relevancia dentro del proceso de interacción, facilitan un contexto común a todos los agentes, tienen un campo de acción semántico en el que los agentes se involucran en una dinámica de comparación de sus terminologías, propiciando así un nivel de acceso a múltiples ontologías.

Dentro de los proyectos de gran alcance están las investigaciones del Instituto de Robótica de la Universidad de Carnegie Mellon, donde se debate la verdadera existencia de los agentes de software, en cuanto se considera que, a pesar del acceso que se tiene a grandes fuentes de información electrónica, estos carecen de la habilidad para poner la información en el contexto y para utilizarla de manera inmediata. El grupo de investigación se ha preocupado por crear proyectos. RETSINA, el proyecto más destacado, se ha planteado como objetivo, desarrollar una estructura de software de multi-agentes que le permita a agentes heterogéneos disponibles en Internet y desarrollados posiblemente por diferentes usuarios, colaborar entre sí en el manejo de información en contextos de ejecución de tareas específicas de los usuarios.

Ossowski (1998) considera que se puede hablar de un nexo de la investigación con la práctica de sistemas multi-agentes, ya que se pueden diseñar estructuras que simulen mecanismos de coordinación entre sociedades de agentes. El autor se preocupa

por diseñar un modelo denominado de "*coordinación social*", en el cual los agentes no siguen las instrucciones de un agente coordinador central, sino que mantiene una tendencia a la cooperación estructural.

Este mecanismo desarrolla las concepciones de estructura de normatividad y dependencia entre agentes. La capacidad de los agentes para solucionar problemas depende de un sistema de reglas, y la autonomía está delimitada por una estructura de interacción y cooperación social.

Se desarrolla un modelo formal de interacción de agentes autónomos con base en la teoría de negociación de propuestas dentro de ambientes de juego. Generalmente estos procesos de interacción se presentan dentro de grupos de agentes caracterizados por la heterogeneidad de intereses. Se muestra una especie de mapeo que inicia con un modelo cualitativo que captura propiedades estructurales de sociedades de agentes artificiales y evoluciona a modelos cuantitativos de coordinación social.

Al agrupar escenarios de negociación de propuestas con problemas de coordinación reactiva, se ha intentado presentar un modelo apropiado de los resultados de la interacción social en dichos escenarios. Se ha demostrado que la solución de negociación de propuestas, dentro de esta teoría, constituye un modelo apropiado del resultado de procesos de interacción entre agentes autónomos en contextos de solución de problemas específicos. La importancia de la situación de desacuerdo dentro de estos modelos ha sido relacionada con la función de influencia que ejerce la estructura normativa en modelos de coordinación social.

Además, se contempló el diseño y análisis de una estrategia de interacción social. Por lo general, estos modelos tienen como punto de partida la conducta de agentes individuales y, en pocas ocasiones, se muestran resultados sobre los procesos a nivel global. Los protocolos de interacción utilizados en el campo de solución de problemas distribuida, no evidencian características de autonomía

local, aspecto de mucha relevancia dentro del diseño del modelo en esta investigación.

Johnson (1998) propone un modelo para la solución colaborativa de un problema secuencial, valiéndose de dinámicas de auto-organización. Un gran grupo de agentes no interactivos resuelve un acertijo valiéndose de reglas simples de movimiento. La solución del problema es una combinación de soluciones de los agentes que brinda mejores resultados que el promedio de soluciones individuales.

La conclusión principal que el autor tiene de estos procesos de simulación, es que cualquier pérdida o modificación de la información, producto de la contribución individual para la toma de decisiones colectiva, genera situaciones que afectan la actuación grupal. Se observa que la dinámica de consenso del grupo modifica el aporte individual, ya sea por falta de comunicación o por cambios de los individuos dentro de los grupos. De esto se puede inferir que parte del decrecimiento en la potencialidad colectiva se debe simplemente a la pérdida de diversidad de los aportes de los individuos al grupo.

Algunas situaciones específicas contribuyen a este fenómeno: los individuos se pueden ver limitados a proporcionar solamente opiniones de carácter dominante o pueden expresar opiniones uniformes (isotrópicamente); un individuo de ritmo rápido domina sobre los aportes del grupo en diferentes aspectos del proceso de toma de decisiones, mientras otros individuos mas lentos en el aprendizaje, son excluidos cuando deciden presentar sus aportes.

Con base en estos hallazgos el autor destaca la importancia de los procesos de simulación como un acercamiento a la solución de los problemas identificados en el contexto de los multiagentes. Al involucrar la interacción de los individuos podría potenciarse enormemente la resolución de problemas colaborativos, explorando así concepciones diferentes a "la competitividad", ya que al generar procesos de retroalimentación, los individuos obtendrían gran

beneficio de su actuación colectiva identificando elementos claves dentro del grupo, de acuerdo a niveles diferentes de información y organización.

Ploetzner y otros (1997) han desarrollado investigaciones de modelos cognitivos que se basan en dos principios: primero, que la solución de problemas en forma colaborativa es muy provechosa para los sujetos, si estos inicialmente tienen diferentes perspectivas con respecto a la aplicación de algún dominio de conocimiento; segundo, que el aprendizaje mediante colaboración requiere de la habilidad de autodiagnosticarse y diagnosticar al otros para hacer uso apropiado del conocimiento generado por el diagnóstico del compañero, el cual se convierte en una fuente valiosa de información. El grupo de investigación ha representado esta clase de modelos, alcanzando a compilar tanto niveles cognitivo, como metacognitivo.

El primer nivel de representación simula dos grupos de individuos que resuelven problemas sobre mecanismos clásicos en el campo de la física, uno instruido con información cualitativa y otros con información cuantitativa. En el nivel metacognitivo, el modelo simula la construcción de preguntas sobre la base de autodiagnósticos.

En estos experimentos se dieron tres grandes hallazgos: en primer lugar, a través de los intentos para la resolución individual del problema y sobre la base de esfuerzos colaborativos, la mayoría de los sujetos construyó representaciones cualitativas gradualmente mas completas y enfocó el uso de la información cuantitativa posteriormente. En segundo lugar, sobre la base del intercambio de información durante la solución colaborativa del problema, los sujetos instruidos tanto cualitativa como cuantitativamente, pudieron relacionar su conocimiento previo y la información proporcionada por sus compañeros haciendo posible la aplicación coordinada de conocimiento tanto cualitativo como cuantitativo. Finalmente, a pesar de que los dos grupos de sujetos se beneficiaron de sus compañeros como una fuente de información durante la solución colaborativa, los sujetos que recibieron instrucción cualitativa obtuvieron mayor

ganancia respecto a sus compañeros que los del grupo con instrucción cuantitativa.

1.6.5 SOLUCION DE PROBLEMAS EN AMBIENTES COLABORATIVOS

Dillenbourg (1999) plantea otra forma de realizar estudios sobre ambientes de aprendizaje colaborativo, explotando aún mas la riqueza de la interacción social, no sólo en cuanto a resultados y productos, sino también en cuanto a método para aumentar la comprensión de los procesos introspectivos que tienen lugar durante la actividad del aprendizaje por colaboración. Con este enfoque, el autor realza el entendimiento de procesos de interacción productiva bajo ambientes computacionales, realizando estudios de lo que se denomina actividad computacional educativa.

Con base en este planteamiento, el autor hace una revisión de los enfoques de aprendizaje por colaboración.

En uno de los acercamientos lo caracteriza como una situación en la que una o mas personas aprenden o intentan aprender algo con otros. Cada uno de los elementos dentro de esta concepción puede interpretarse de diferentes maneras:

"Dos o mas" puede verse como un par, grupo pequeño (3-5 sujetos), una clase de (20-30 estudiantes), una comunidad (unos cientos o miles de personas), una sociedad (varios miles o millones de personas) y otros niveles que se puedan clasificar dentro de estas escalas.

"Aprender algo" puede ser interpretado como seguir un curso, estudiar el material de un curso, realizar actividades de aprendizaje como, por ejemplo, la solución de problemas, aprender a partir de una experiencia que se ha llevado a cabo por largo tiempo.

"juntos" puede interpretarse como diferentes formas de interacción: en ambientes naturales (individuo-individuo) o mediada por ambientes artificiales. Respecto al tiempo significa de manera

sincrónica o no-sincrónica, frecuente o no-frecuente. Frente al resultado indica si el aprendizaje es producto de un verdadero esfuerzo conjunto o el trabajo repartido de alguna forma entre los individuos.

Estos tres elementos determinan lo que sería el espacio en el que se enmarca o desenvuelve el aprendizaje colaborativo: pares de individuos que aprenden sincrónicamente a través de la solución de problemas durante una o dos horas, grupos de estudiantes que se valen del correo electrónico en cursos desarrollados durante un año, comunidades de profesionales que desarrollan una cultura específica por generaciones, etc. Esta aproximación se hace con base en tres dimensiones: la escala de la situación colaborativa (tamaño del grupo y lapso de tiempo), el referente del aprendizaje y la forma de la colaboración.

1.6.6 CONCEPCIONES ALREDEDOR DEL APRENDIZAJE COLABORATIVO

En la literatura existe una amplia variedad de información para enmarcar esta clase de aprendizaje. Littleton y Häkkinen (1999) hacen una revisión de las concepciones de aprendizaje colaborativo en el contexto de los entornos computacionales. Entre ellas se encuentran:

- El estudio conjunto del material de un curso o el hecho de compartir la asignación de tareas dentro de una clase. Como se puede ver, en este caso sería mas apropiado utilizar los términos estudiantes colaborativos o pares colaborativos.
- La resolución de problemas de manera conjunta genera aprendizaje como efecto de la solución de cada problema el cual se puede probar a través de la producción de nuevo

conocimiento o por la ponderación de la solución misma de los problemas.

- Algunas teorías miran el aprendizaje colaborativo en una perspectiva de desarrollo, ya sea biológica o cultural, como algo que evoluciona a través de los años (Dillenbourg, 1999).
- Desde la perspectiva del trabajo colaborativo, la adquisición de experticia es resultado del paso del tiempo dentro de una comunidad profesional.

El denominador común de todas estas concepciones tienen que ver más con el término colaborativo que con el término aprendizaje. La variedad de significados del término aprendizaje refleja dos distintas interpretaciones del aprendizaje colaborativo una pedagógica y otra psicológica. El sentido pedagógico es *prescriptivo*: alguien les solicita a dos o más personas que colaboren entre sí, pues se espera que aprendan de manera eficiente. El sentido psicológico es *descriptivo*: un individuo observa que una o más personas han aprendido y la colaboración es vista como el *mecanismo* que hace que aparezca el aprendizaje.

La confusión entre las posiciones prescriptiva y descriptiva hace que se llegue a sobreestimar la efectividad del aprendizaje colaborativo. Si se ampliara esta información se podría argumentar que el aprendizaje colaborativo no es ni un mecanismo ni un método (Dillenbourg, 1999).

El aprendizaje colaborativo no es un mecanismo único, pues si se habla de *aprendizaje desde la colaboración*, también se debe hablar de *aprendizaje desde lo individual*. Los sistemas cognitivos individuales no aprenden por el solo hecho de ser individuales, sino porque realizan algunas actividades (lectura, construcción, predicción, etc.) que disparan algunos mecanismos de aprendizaje (inducciones, deducciones, recopilaciones, etc.). De manera similar, un par colaborativo no aprende por el hecho de que sean dos, sino porque realizan algunas actividades que disparan mecanismos

de aprendizaje específicos. Esto incluye actividades realizadas a nivel individual, ya que la cognición individual no desaparece en la interacción de grupo. La interacción entre sujetos, además, permite producir actividades extra como (explicaciones, planteamiento de desacuerdos, regulación mutua, etc.) que disparan mecanismos cognitivos extras (producción de conocimiento, internalización, descarga cognitiva reducida, etc.). El interés por el aprendizaje colaborativo se centra mucho en estas actividades y mecanismos. Pueden evidenciarse con más frecuencia dentro del aprendizaje colaborativo que en la cognición individual. Sin embargo, por una parte, no hay garantía de que estos mecanismos ocurran en cualquier ámbito de interacciones colaborativas y, por otra, no sólo se presentan durante la colaboración. Hasta cierto punto y de manera descriptiva -por lo menos a nivel neuronal- los mecanismos potencialmente involucrados en el aprendizaje colaborativo son los mismos que los que están involucrados en la cognición individual.

El aprendizaje colaborativo no es un método debido a la baja predictibilidad de tipos específicos de interacción. Básicamente, el aprendizaje colaborativo se tipifica en *instrucciones* para sujetos (por ejemplo: *tienen que trabajar juntos*), en *un ambiente físico* (ejemplo: los compañeros de grupo trabajan en la misma mesa") y en otras *restricciones* (por ejemplo: *cada miembro del grupo recibirá la nota dada al proyecto del grupo*). En la medida en que la situación *colaborativa* sea una especie de *contrato social*, ya sea entre los estudiantes o entre los estudiantes y el profesor, se le podrá ver como un contrato didáctico. Este contrato especifica condiciones bajo las cuales algunos tipos de interacciones pueden presentarse, pero no existe garantía alguna de que estas puedan darse.

Se dice que una situación de aprendizaje es de índole colaborativa, si los estudiantes se encuentran más o menos a un mismo nivel de conocimiento y pueden desarrollar las mismas acciones, si existe un objetivo en común y si pueden trabajar en equipo. Los dos primeros criterios se pueden contemplar dentro del *grado de simetría*

en las interacciones. A este respecto se pueden diferenciar varios grados:

- *Simetría de acción*: el número de acciones comunes que se permite a todo miembro dentro de la interacción (Dillenbourg & Baker, 1996).
- *Simetría de conocimiento o habilidades*, los agentes tienen el mismo nivel de conocimiento; esto no implica que no tengan diferentes puntos de vista con respecto a un mismo nivel de experticia.
- *Simetría de status*, hace referencia al mismo nivel de status de los agentes con respecto a su comunidad o contexto en el que se desenvuelven (Ligorio, 1997).

En el momento en que se dan las interacciones cada tipo de simetría puede ser objetiva o subjetiva; por ejemplo, pueden verse influenciadas si un agente considera que el otro tiene más dominio o coordinación de acciones o que sea un experto a nivel de instrucción, manejo y enseñanza, lo cual hace que adopte una posición a nivel argumentativo mucho más débil. La situación de simetría puede variar, por ejemplo, cuando uno de los miembros del grupo realiza subtarear en las que se observa que tiene habilidades especiales respecto a otro.

El segundo criterio es *establecer objetivos comunes*. Se parte del supuesto de que agentes en ambientes colaborativos tienen objetivos comunes, mientras que el carácter de competitividad, se basa en la oposición de metas. Para lograr fijar objetivos comunes, se necesita un proceso de negociación que probablemente es parte de una construcción de fundamentos o puntos de partida durante el desarrollo del trabajo; en esta etapa se genera una conciencia de relación de membresía con respecto al grupo.

El tercer criterio se refiere *al grado de asignación de trabajo* entre los miembros del grupo. *Colaboración y cooperación* en ocasiones

se asumen como sinónimos, pero existen situaciones en las que se han podido diferenciar. En la cooperación, se resuelven individualmente subtareas y después se reúnen los resultados parciales en uno final. En la colaboración, las personas trabajan en grupo; sin embargo, se presenta una división espontánea, por ejemplo, uno de los del grupo toma la responsabilidad de desarrollar los aspectos de bajo nivel de la tarea, mientras que el otro se centra en aspectos estratégicos (Miyake, 1986). Se podría argumentar que esta división depende del nivel del problema a tratar: en un nivel grueso de granularidad, siempre será posible esta división. Sin embargo, cuando alguien del grupo se preocupa por el nivel de la tarea y otros por el nivel meta-comunicativo, se presenta una división "horizontal" del trabajo en niveles de razonamiento muy diferentes de la división "vertical" del trabajo en subtareas independientes, como las de las situaciones cooperativas. La diferencia se da en doble vía: en la primera los niveles tienen que estar lo suficientemente vinculados (uno monitorea al otro), en tanto las subtareas son independientes; en la segunda, la división horizontal resulta inestable dentro de la colaboración, los roles pueden variar indistintamente pasando así de agente regulador a agente regulado, contrario a la situación cooperativa que se refiere a una división mas fija de trabajo que se manifiesta generalmente en los resultados.

Otro aspecto importante de las interacciones colaborativas es que son *negociables*. Una diferencia bastante marcada entre las interacciones colaborativas y una situación de jerarquía, radica en que el individuo no impone sus puntos de vista dentro del grupo valiéndose de su autoridad, pero sí - hasta cierto punto- argumenta, justificando, negociando y tratando de convencer al otro desde su posición. Además, al negociar en el nivel de la tarea, el par colaborativo generalmente tiene la posibilidad de negociar cómo interactuar - meta - comunicación-; por ejemplo, con el fin de aclarar el valor pragmático de una expresión o ponerse de acuerdo en el momento de las intervenciones.

La negociación se presenta, si existe un espacio propicio, ya que se pueden generar inhibiciones en los niveles: meta - comunicativo y de la tarea. En el primer nivel, al tratar de forzar al par para que desempeñe un buen papel y, en el segundo, en tareas triviales o en tareas con terminología lo suficientemente clara en las que no tenga sentido discutir. El límite entre la falta de interpretación o falsas concepciones y el punto de desacuerdo, es aparentemente superficial. Si no se está en la capacidad de entender al otro, no se puede decir que se ha alcanzado un *estado de acuerdo*. El proceso de fundamentación es el nivel básico para que se propicie el proceso de negociación (Dillenbourg & Traum, 1996). Por ejemplo dentro de la interacción, cuando un agente reinterpreta sus propias acciones o expresiones, bajo la concepción que tiene su par sobre su actuar o pensar. Otra situación que puede generarse es la de parafrasear lo que se ha dicho por uno de los integrantes del par, interpretándose esta acción como una instancia para aclarar falsas concepciones en la teoría de base y como una posibilidad de reformular expresiones previas dentro de un marco de referencia mas elaborado. Dentro de la situación de fundamentación del conocimiento, hay un espacio de *falta de comprensión*; lo cual constituye un elemento muy importante en el modelamiento de aprendizaje colaborativo dinámico. En algunas ocasiones, este espacio se limita cuando el par se dispone a negociar una acción futura o también acordar el significado de una expresión, en contraste con las situaciones en las que el par negocia qué problema se va a resolver.

Gokhale (1995), a partir de sus estudios de investigación, concluye que el aprendizaje colaborativo incita al desarrollo del pensamiento crítico a través de la discusión, clarificación y evaluación de las ideas del otros. Compara dos métodos de instrucción: uno individual y otro colaborativo. Con base en esta metodología de comparación, el autor sugiere que, si el propósito de la instrucción es el de potenciar el pensamiento crítico y las habilidades de solución de problemas, el aprendizaje colaborativo es mucho mas beneficioso que el individual.

La investigación señala que el aprendizaje colaborativo proporciona a los estudiantes oportunidades de interacción y discusión para analizar, sintetizar y evaluar sus conceptos mas allá de meras opiniones, proporcionado un criterio claro que sustenta sus decisiones. A través de esta cadena de interacciones dentro del grupo, los estudiantes aprenden tanto habilidades como experiencias que según su criterio, contribuyen a mejorar su proceso de pensamiento. Además, el hecho de balancear responsabilidades dentro de la resolución de los problemas disminuye enormemente el nivel de ansiedad presente en este tipo de situaciones de aprendizaje. Obtienen mayor ganancia en su aprendizaje aquellos individuos que reciben y proporcionan explicaciones suficientemente elaboradas.

1.7 RAZONAMIENTO ESPACIAL Y REALIDAD VIRTUAL

El razonamiento espacial constituye el dominio de conocimiento de esta investigación y se presenta en el siguiente capítulo, en el cual reseñamos un conjunto de resultados de investigación que integran el razonamiento espacial y la informática, de manera similar a como se viene haciendo en nuestras investigaciones. Esta revisión puede complementarse con Maldonado y otros (1999,2000).

Eisenkolb y otros (1998) se interesan en la comprensión de la percepción del movimiento como componente del sistema visual humano, tema de utilidad en el desarrollo de interfaces para la interacción y la cooperación en software multimedial o en robótica móvil. Asumen el problema de representación y procesamiento de información del movimiento, desde una etapa visual primitiva hasta aspectos cognitivos de alto nivel. La memoria espacio-temporal se concibe como una estructura que es prerrequisito para el reconocimiento de la configuración espacio- temporal. Esta configuración es jerárquica y se reproduce en diferentes niveles de procesamiento en el sistema visual y cada nivel requiere de una representación específica.

Presentan una arquitectura de memoria de dos niveles para la representación cualitativa de las trayectorias del movimiento: El nivel vectorial, el cual es muy exacto y permite cambios entre los marcos de referencia; su sistema de representación es de nivel bajo y de carácter cualitativo. El nivel proposicional es más abstracto y muestra similitudes y regularidades de las rutas de desplazamiento, que son muy útiles en la predicción del movimiento; es una representación de nivel más alto y muy cercana a la del lenguaje natural; identifica subsecuencias significativas en la representación vectorial y las condensa en una estructura de nivel superior, valiéndose de vocabulario referente a la forma de la trayectoria del movimiento y que en algunas ocasiones se refiere a formas muy complejas.

Si se desea utilizar la representación para la predicción del movimiento, deben relacionarse los dos niveles, es decir, la construcción de la representación proposicional inicia con el primer desplazamiento observado y se revisa con respecto a cada uno de los movimientos posteriormente realizados. Además, se debe hacer un rastreo de las partes de cada representación, para hacer predicciones de un nivel de granularidad más alto, respecto al realizado en el nivel proposicional. La ventaja de la representación proposicional en las tareas de predicción, es que la representación más exacta ya se ha analizado en partes clasificadas previamente, de tal forma que resulta más fácil detectar patrones de periodicidad.

Gehrke & Hommel (1998) encuentran que, en el proceso de adquisición del conocimiento sobre mapas o disposición física, la información espacial puede sufrir cambios y distorsiones considerables, que sistemáticamente pueden afectar los juicios del observador, que se basan en ese conocimiento. En la literatura, estos tipos de valoraciones han sido atribuidos a procesos de memoria como son codificación y evocación de información. Los autores presentan evidencias de que las distorsiones operan en la etapa de la percepción y, por tanto, en una etapa anterior a la del procesamiento en la memoria. Los experimentos presentaron a sujetos humanos configuraciones espaciales en las cuales se

distribuían objetos formando dos grupos. Cuando se les pidió a los sujetos que calcularan la distancia entre parejas de objetos y verificaran afirmaciones referentes a relaciones espaciales, se encontró que las relaciones entre miembros del mismo grupo se establecían en tiempos mas cortos que las de miembros de diferentes grupos, aun cuando la distancia euclidiana fuera la misma, lo cual hace pensar que la dificultad se encuentra en la etapa de percepción, no en la de codificación o recuperación de memoria. En esta clase de experimentos sólo se representan claramente las distancias entre objetos cercanos y en secuencia, mientras que para las distancias entre objetos que no están en sucesión en una misma ruta, tienen que hacerse cálculos mentales que implican gran esfuerzo.

En otras pruebas se tuvieron en cuenta los momentos de reacción, para probar si se manifestaba un conocimiento de apropiación del ambiente, haciendo apreciaciones respecto a la posición de los objetos. Se observó que las valoraciones hechas para verificar las relaciones espaciales incluían tiempos de aproximación dentro del espacio y que los sujetos se valían de preconceptos equívocos. Los sujetos no acudieron a sus procesos de memoria o base cognitiva, donde subyacen factores que atañen a concepciones relacionadas con el conocimiento real sobre distancia en problemas de este tipo.

O'Keefe y Nadel (1978) distinguen tres tipos básicos de aprendizaje espacial: el aprendizaje de lugar que se caracteriza por la formación de una representación del mundo externo independiente del sujeto, llamada mapa cognitivo, que se forma por la codificación simulatánea de la distancia entre estímulos y sus interconexiones; el aprendizaje de ruta que depende de la adquisición de señales ubicadas espacialmente y relacionadas con objetivos; el aprendizaje de respuestas que depende del procesamiento de estímulos propioceptivos, kinestésicos y vestibulares.

Leplow y otros (1998) investigan el comportamiento espacial usando un laberinto locomotor para humanos, el cual incorpora las características básicas de paradigmas usados ampliamente en investigaciones con animales. Los experimentos se basan en la

teoría del "mapa cognitivo" originalmente mostrada por O'Keefe & Nadel (1978) que permitió la valoración del aprendizaje de lugar, de los errores de memoria de trabajo espacial y de referencias espaciales. En este trabajo, los sujetos y pacientes tienen que aprender y recordar cinco de veinte lugares ubicados dentro de un área de 4*5, bajo condiciones de control completo dentro y fuera del laberinto. A los sujetos se les pidió que recordaran cuatro de veinte lugares dentro del laberinto; cuando lograban esta meta, se les pedía que los ubicaran partiendo de otro lugar. Los resultados de estas pruebas mostraron que es posible evaluar la orientación, con referencia a señales o claves, diferenciar entre memoria de trabajo espacial y de referencia espacial e identificar conductas de los individuos en sitios específicos valiéndose de parámetros específicos.

Mallot y otros (1998) afirman que se han identificado tres mecanismos básicos de la memoria espacial en la navegación de los animales: la integración de ruta, guía y dirección. La integración de ruta es la actualización permanente de las coordenadas del sujeto con relación al punto de partida; la guía permite al sujeto conservar una orientación definida con respecto a un conjunto de señales distribuidas espacialmente; la dirección es la asociación de una vista reconocida con un conjunto de movimientos. Los autores se preguntan si hay equivalencia en el aprendizaje de navegación espacial entre ambientes reales y virtuales. Desarrollaron dos ambientes, Hexatown y Virtual Tübingen. Los resultados indican que los sujetos son capaces de obtener conocimiento sobre la configuración de un pueblo virtual aun sin movimiento físico. El resultado más importante de este estudio es el hecho de que la configuración del conocimiento puede adquirirse bajo ambientes de simulación de gráficos en computador.

La orientación espacial se apoya fuertemente en información visual y corporal, disponible mientras se está en movimiento en el espacio. Al mismo tiempo que los ambientes virtuales permiten separar la contribución de la información visual de la contribución corporal,

también tienen un significado metodológico atractivo para investigar el papel de la información visual para la orientación espacial. Watenberg y otros (1998) utilizan una tarea elemental de orientación espacial en un sistema virtual simple (complementar triángulos) para estudiar el efecto de la cantidad de información visual disponible simultáneamente (visión del campo geométrico) y el trazado de triángulos a partir de la integración de información sobre distancias y direcciones en condiciones de simulación visual. Mientras que la cantidad de información visual disponible simultáneamente no tuvo efecto en los errores comunes, el trazado del triángulo fue afectado sustancialmente por la familiaridad con el contexto. En un estudio más profundo se observó que los sujetos que navegaban bajo la simulación visual tenían problemas de precisión al tomar y representar la información de la dirección.

Al parecer, la información obtenida del movimiento de todo el cuerpo puede ser un factor decisivo para tomar información direccional correcta, mientras se navega en el espacio. Esto no significa que la mera orientación espacial sobre la base de información visual resulte imposible (tomando como referencia otros trabajos). Mas bien apunta al hecho de que diferentes fuentes de información (visual y de todo el cuerpo) contribuyen a la orientación espacial. Los ambientes virtuales tienen un potencial interesante para entender las contribuciones relativas de estos recursos de información. Se puede variar la cantidad de información disponible de todo el cuerpo, y comparar el desempeño espacial en los ambientes virtuales usando diferentes interfaces de movimientos corporales. Henrey & Furness (1993), por ejemplo, comparan el desempeño espacial en los ambientes virtuales con seguimiento de la cabeza frente al control de una pelota en el espacio. Los ambientes virtuales ofrecen la posibilidad de investigar la contribución de los varios tipos de información visual a la orientación espacial, mediante la variación controlada de información espacial visual, disparidad binocular, o enriquecimiento en estructura espacial.

Mecklenbrauker y otros (1998) investigan algunas relaciones entre información espacial y acciones. La información espacial

previamente adquirida (por ejemplo, información sobre lugares específicos dentro de una ruta aprendida) puede asociarse con la ejecución de acciones, ya sea de manera simbólica o imaginaria. Sin embargo, no se tiene evidencia de que las representaciones espaciales sean alteradas por la formación de estas asociaciones. Se concluye que es necesario basarse en aspectos más sensibles y explícitos en las representaciones espaciales para detectar supuestos cambios dependientes de las acciones.

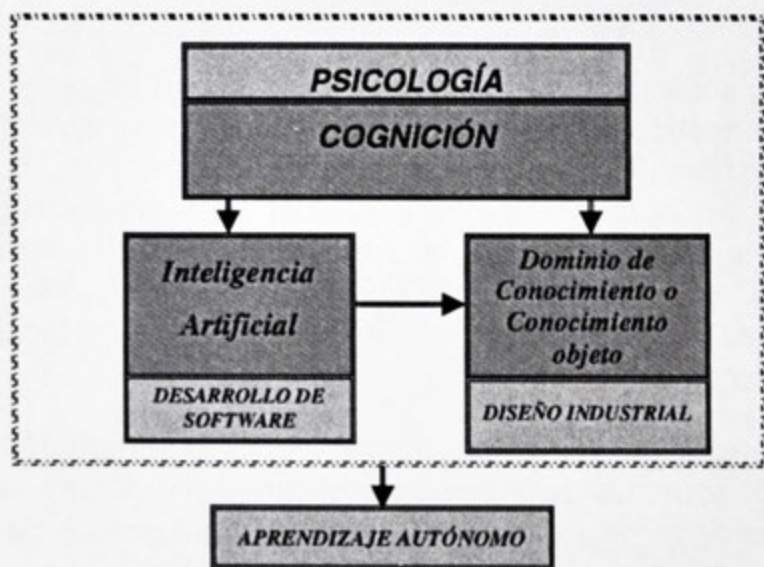
Los experimentos desarrollados amplían el conocimiento de memoria en la ejecución de acciones en situaciones de manejo espacial. Se observó que la información espacial puede combinarse con información sobre actividades. Los resultados mostraron la elaboración de nuevas conexiones entre información espacial y no-espacial con medidas implícitas de la memoria. Se demostró la formación de una representación espacial del ambiente y se hallaron relaciones sistemáticas entre ciertas variables independientes (como el número de puntos específicos dentro de la ruta) y las medidas espaciales (como las proyecciones de distancias). No se detectaron cambios en las supuestas representaciones espaciales que dependían de las acciones imaginarias o ejecutadas en el ambiente. Los resultados sugieren que no hay integración entre la información espacial y las acciones en la memoria.

Se evidencia que existen varias formas para medir representaciones espaciales hipotéticas. Resulta muy útil emplear medidas topológicas en lugar de métricas; aún así, es necesario desarrollar medidas (nuevas y más implícitas) para abordar este problema de una forma adecuada. La conexión entre conocimiento espacial e información de memoria sobre las acciones resultó más indefinida (y divisible) de lo que se esperaba.

Schweizer y otros (1998) muestran, en el desarrollo de pruebas de razonamiento espacial, algunas de las condiciones bajo las cuales se puede demostrar el efecto de dirección de ruta y asumir una correpresentación de la dirección de adquisición de este

conocimiento en mapas cognitivos. Se puede demostrar este efecto, cuando el conocimiento de ruta adquirido es una secuencia simple de imágenes en movimiento o una secuencia de puntos de vista. Si esto se logra en la primera secuencia, la dirección de la percepción corresponde a la dirección del conocimiento. Los objetos, así como sus límites, se perciben dentro del campo óptico normal; de lo contrario, la información respecto a la dirección de la adquisición no podría incorporarse adecuadamente, de tal forma que no se produciría el efecto de dirección de ruta.

La representación de los objetos en ruta, se genera con base en percepciones espaciales normales. Una de las peculiaridades de esta clase de efecto es que los objetos cuyas representaciones mentales sirven como objetos referentes y primarios, no sólo se visualizan de manera consecutiva dentro de la ruta, sino también se sitúan en puntos muy cercanos a ellos.



Gráfica 1.3. Mapa teórico. Relación entre las disciplinas que se integran en el desarrollo de esta investigación, alrededor del aprendizaje autónomo como objeto investigado.

Werner y otros (1998) afirman que las representaciones mentales del espacio extrapersonal dependen mucho de la información involucrada en las acciones ejecutadas dentro de un espacio. Discuten tres aspectos de tales representaciones mentales: en primer lugar, el tamaño del espacio restringe el conjunto de acciones que pueden generarse dentro de el; en segundo lugar, pueden utilizarse diferentes sistemas de referencia para codificar información espacial en un sistema de referencia específico y, por último, las exigencias de precisión en la representación son diferentes, según la variedad de tareas. Si la representación corresponde a la realidad o, por el contrario resulta sesgada, depende de estos factores. Se considera que las representaciones mentales específicas son condicionadas de tal forma, que se acomodan a las exigencias de las acciones dentro de un espacio dado. También se piensa que pueden construirse diferentes sistemas de representación para conductas similares.

1.8 LUGAR TEÓRICO

La pedagogía contemporánea asigna a los docentes como tarea prioritaria el análisis y orientación de los procesos de aprendizaje. Esta tarea se hace difícil tanto por su complejidad como por el número de alumnos que normalmente debe atender. El grupo investigador, basado en estos hechos, ve una alternativa valiosa para dar respuesta a esta situación en la utilización de simuladores, que pretende estudiar contrastando condiciones de aprendizaje colaborativo con condiciones de aprendizaje individual.

Como se anotó en los antecedentes, esta investigación está relacionando aspectos de la psicología cognitiva, la inteligencia artificial y el diseño con el propósito de comprender y generar aprendizaje autónomo, como aparecen en la grafica 1.3

Partimos de las siguientes generalizaciones fundadas en las investigaciones previamente reseñadas.

- Los activadores de juicios de metamemoria generan microsistemas motivacionales que propician la autorregulación de los procesos y ritmos de aprendizaje.
- Las instrucciones, cuando toman el error del aprendiz como oportunidad para su presentación, incrementan su potencia orientadora en los procesos de solución de problemas.
- Los simuladores de los propios procesos de aprendizaje, sirven de dispositivos -especie de espejos- para la reflexión -metacognición-, que pueden incrementar la significación en los procesos de aprendizaje.
- Cuando un grupo pequeño de individuos (2 a 5 miembros), usa juicios de metamemoria genera un microsistema motivacional compartido, que incide positivamente en el aprendizaje de cada uno de ellos.
- Las visiones complementarias sobre los procesos de solución de problemas contribuyen a que se construyan estrategias fuertes, en consecuencia se puede esperar resultados mas altos en términos de eficiencia, eficacia y significación de las estrategias producidas.
- La sugerencia de estrategias adaptativas en la condición de aprendizaje colaborativo, pueden ser potenciadas en su significación y eficacia aunque no necesariamente en su eficiencia.
- Los juicios de metamemoria basados en eventos aseguran un desarrollo progresivo del aprendizaje, en tanto que los juicios basados en tiempo inicialmente producen efectos motivacionales que pueden incidir en una consolidación tardía de las estrategias de solución del problema.

2. METODOLOGIA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DESARROLLADO

2.1.1 DISEÑAR INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

La definición de categorías en la búsqueda de solución de problemas sirve de base para diseñar los simuladores. Este trabajo se viene haciendo a partir del análisis de datos de investigaciones previas, los cuales fueron recogidos mediante registros con grabadora de sonido y protocolos generados por el mismo computador.

2.1.2 ELABORAR MAPAS CONCEPTUALES

En el módulo sobre historia de los objetos se desarrolló una red semántica estructurada, la cual permite el anidamiento de un agente preguntón para activar la lectura y poner a prueba estrategias de búsqueda en un hipertexto sobre la historia de los engranajes. Con base en esta estructura se procede a diseñar el software.

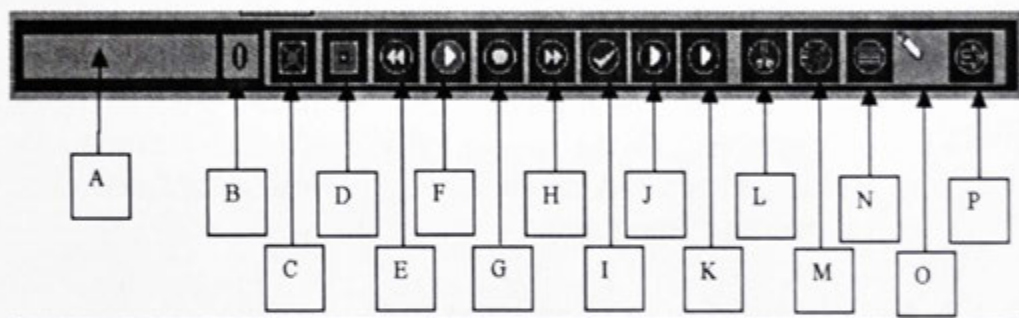
2.1.3 DISEÑO DE SOFTWARE

Se diseñaron tanto las adecuaciones de algunos juegos basados en computador, desarrollados en una investigación previa cofinanciada por UPN-IDEP, como dos nuevos juegos, uno sobre historia de los engranajes y otro basado en geometría generativa.

2.2 GENERALIDADES SOBRE LOS SIMULADORES

El simulador: es un programa que permite al usuario revisar cada uno de los pasos que ha seguido para resolver un problema. Los simuladores que se han desarrollado para la presente investigación constan de una paleta de botones que permite controlar la simulación, una tabla de información y unos elementos de control como velocidad, selección de cuadros que se van a simular, entre otros (gráfica 2.1).

2.3 LOS ELEMENTOS DE LA PALETA DE CONTROL DE LA



Gráfica 2.1. Esquema de los simuladores

SIMULACIÓN

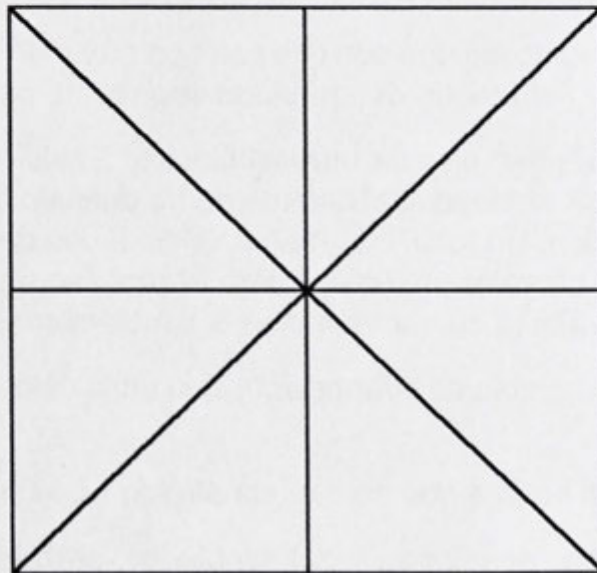
- A. Es un visor que muestra la evolución de la simulación
- B. Muestra el número del evento que se está simulando.
- C. Es un botón que, al activarlo, muestra una imagen de arte en el fondo del cuadro de juego o en caso contrario la oculta.
- D. Es un botón que, al activarlo, muestra una plantilla que ubica al observador en las zonas del juego (módulos Líneas en equilibrio y azar, Agujeros en equilibrio y azar).

- E.** Es un botón que, al activarlo, permite ver la simulación del evento anterior al actual.
- F.** Es el equivalente al botón "play" de la mayoría de sistemas de control de visualización de imágenes o audio. Al activarlo permite observar toda la simulación hasta el momento en que se presione algún otro botón que detenga esta acción.
- G.** Este botón detiene las acciones que está realizando el simulador.
- H.** Permite visualizar el siguiente evento.
- I.** Al activar este botón aparece un cuadro de diálogo con opciones para depurar el proceso seguido por el usuario.
- J.** Activa un cuadro de diálogo para visualizar la simulación de los eventos que el sistema ha marcado como repetidos en una misma zona, con la misma tendencia, lejanos a la solución o que están fuera de las zonas de desequilibrio.
- K.** Una vez depurados los eventos el sistema simula el proceso que conduce a la solución del problema.
- L.** Un cuadro de diálogo con dos campos que marcan los eventos inicial y final de un determinado segmento, para simularlo.
- M.** El botón "play" ejecuta una simulación. El sistema solicita un valor de velocidad si el usuario no ha definido la velocidad de simulación. Un "dial" que marca velocidades de 0 a 100. Si se escoge un valor próximo a cero el proceso es rápido, si se toman valores cercanos a cien la simulación es lenta.
- N.** Aparece la tabla de información; si la tabla está visible, ésta se oculta.
- O.** Borra las Líneas que se han construido en la simulación.
- P.** Este botón permite salir del simulador para ir al módulo de juego.

2.4. DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS

Se han diseñado seis juegos de descubrimiento con su respectivo módulo de simulación. Los juegos son:

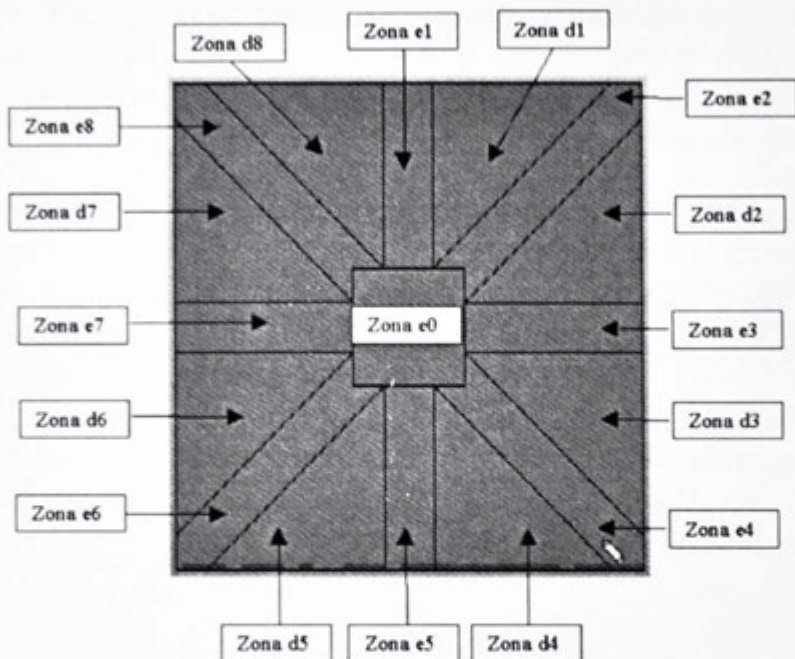
- Líneas en equilibrio
- Líneas al azar
- Agujeros en equilibrio
- Agujeros al azar
- Posición y dirección
- Fichas deslizables



Gráfica 2.2. Distribución de las Líneas

2.4.1 MÓDULO LÍNEAS EN EQUILIBRIO

Es un juego de descubrimiento en el que se solicita al usuario que encuentre Líneas en equilibrio ocultas en una área de la pantalla, (grafica 2.2).



Gráfica 2.3. Zonas de clasificación para Líneas en equilibrio

Para solucionar el problema el usuario debe hacer clic en dos puntos por los que cree pasa la línea. El programa da la distancia de los puntos, con respecto a la línea de equilibrio oculta y más próxima. También da la dirección del segmento de línea que une los dos clics dados por el usuario. Dos regletas y un indicador, muestran la posición del cursor en el área de búsqueda.

El sistema almacena, en un campo de registro, la posición de los clics que ha dado el usuario para realizar posteriormente la simulación del proceso.

- **El simulador:** en el módulo de Líneas en equilibrio la depuración de los eventos se basa en cuatro opciones: la primera marca en la tabla los eventos que se repiten consecutivamente en una misma zona; la segunda, los eventos consecutivos que repiten una misma tendencia; la tercera, los eventos lejanos a la línea de solución y la cuarta, los que están en zonas de desequilibrio.
- **La plantilla de zonas:** es una herramienta que permite al usuario ver cuáles son las zonas en las que se han ejecutado los clics. Las zonas que tienen la letra "e" antes del número son las denominadas zonas de equilibrio, destacándose la zona "e0" que es la zona de equilibrio máximo ya que allí es factible encontrar la solución de las seis Líneas en equilibrio planteadas por Arnheim. Las zonas que inician con la letra "d", son aquellas en las que no se puede hallar la solución a este problema (gráfica 2.3).

2.4.2 MÓDULO LÍNEAS AL AZAR

- **El juego:** es un programa que presenta al usuario, un cuadro en el que debe encontrar una línea que el sistema ha construido al azar; el usuario debe aproximarse a esta línea construyendo una línea paralela a la del sistema. Para que el usuario se aproxime a la solución, cuenta con información que brinda el sistema sobre la distancia de los dos clics que da, para construir la línea por donde cree que se encuentra la solución, con respecto a la del sistema. Además presenta la información del ángulo de la línea que construyó el sistema y de la línea que el usuario está construyendo para encontrar la solución.

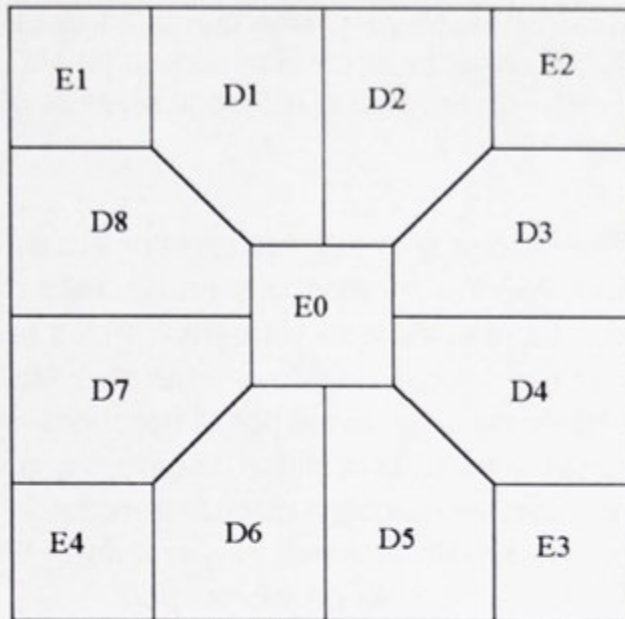
- **El simulador:** es un programa que además de presentar el ambiente del juego, muestra al usuario la paleta de control de la simulación, parecida a la del juego anterior y, la tabla de información.

Los elementos que se presentan en la paleta de control de la simulación, son los mismos que en el juego de Líneas en equilibrio. La diferencia se encuentra en los parámetros de depuración que ha establecido el sistema. Aquí se juzga la proximidad de los clics dados por el usuario a los de la línea creada por el sistema; la cantidad de Líneas que se repiten en un misma zona; las que presentan diferencias de ángulos con respecto a la línea del sistema muy grandes. Estos eventos son marcados en la tabla de información.

- **La plantilla de zonas:** es una herramienta que permite al usuario ver cuáles son las zonas en las que se han ejecutado los clics. Corresponde a la misma que se presenta en el juego de Líneas en equilibrio. La condición de las zonas sirve para establecer el criterio de repetición en una misma zona, para marcar en la tabla de información o eliminar eventos en el área de juego.

2.4.3 MÓDULO DE AGUJEROS EN EQUILIBRIO

- **El juego:** al usuario se le presenta un cuadro en el cual debe hallar cinco Agujeros en equilibrio que corresponden a los cinco puntos en los que un sujeto concentra mas atención en



Gráfica 2.4. Zonas del juego de Agujeros

la visualización de una obra de arte. El juego se da en tres etapas: en la primera, se requiere que el usuario encuentre uno de los cinco Agujeros; en la segunda dos y en la tercera, tres de los cinco Agujeros. Los Agujeros que solicita el sistema han sido seleccionados al azar por el programa. Cada vez que el usuario hace clic para encontrar la solución, el sistema le da la distancia en que se encuentra con respecto de los Agujeros ocultos.

- **El simulador:** el sistema hace la depuración de eventos de acuerdo a tres condiciones: la primera, marca en la tabla de información los eventos que se repiten en la misma zona; la segunda, los que se repiten con un mismo rango de distancia; la tercera, los que no conducen a la solución por encontrarse en zonas de desequilibrio.

- **La plantilla de zonas:** es una herramienta que permite al usuario ver las zonas en las que se han ejecutado los clics. Los marcados con la letra "e" son las zonas de equilibrio, los marcados con la letra "d" corresponden a las zonas de desequilibrio.

2.4.4. MÓDULO DE AGUJEROS AL AZAR

- **El juego:** juego de aprendizaje por descubrimiento, en el que se le pide al usuario ubicar un agujero que se encuentra en cualquier parte de un cuadrado; que se presenta en pantalla. Para cumplir con tal meta, el jugador dispone de la información de la distancia entre el clic que da el usuario para ubicar el agujero y el agujero oculto.

2.4.5 MÓDULO DE POSICIÓN

- **El juego:** dos cuadros ubicados en la parte superior de la pantalla muestran los ejes y ángulos visuales de un observador. En la parte inferior, se encuentra un cuadrado de mayor tamaño en el que el usuario debe hallar la solución. El problema consiste en encontrar la posición de un observador que genera los ángulos visuales representados en la parte superior de la pantalla.
- **El simulador:** la tabla de información presenta la distancia del clic, la zona donde se efectuó el clic y la decisión que toma el sistema para proceder a la depuración. La depuración en este juego, toma como zonas válidas las del frente y las de atrás, porque en estas hay mayor posibilidad de encontrar la solución al problema; el sistema establece tres anillos con respecto a la distancia y clasifica los clics como cercanos, a distancia media y lejanos a la solución.

2.4.6 MÓDULO DE FICHAS DESLIZABLES

- **El juego:** es un rompecabezas que consiste en organizar piezas de una figura hasta completarla. Al iniciar, las piezas están en el orden que deben quedar al resolver el problema. Pasados unos segundos, el sistema desordena las fichas al azar y queda listo el juego para empezar a resolverlo. Ocho piezas están dispuestas en una matriz de 3 x 3, dejando un espacio vacío. Solamente se puede mover una ficha cada vez y tiene que ser vecina al espacio vacío.
- **El simulado:** en este juego la depuración de eventos obedece a dos criterios: el primero, consiste en descartar los movimientos de fichas que se desarrollan entre dos configuraciones iguales y el segundo, en marcar en la tabla los movimientos que alejan de la solución, obedeciendo al criterio de menor distancia a la solución.

POSICIÓN SOLUCIÓN			POSICIÓN ACTUAL			DISTANCIA		
1	2	3	2	4	5	2	1	3
4	5	6	6	1	7	2	2	2
7	8		8	3		3	1	

Gráfica 2.5. Criterios de menor distancia

En la Gráfica 2.5, la tabla de la izquierda representa las posiciones en que deben quedar las fichas para resolver el problema; la del centro la posición de las fichas en un momento cualquiera, antes de lograr la solución; y la de la derecha, las distancias de cada ficha con respecto a su posición en la solución. La suma de estas distancias es lo que se denomina, distancia total, que para nuestro ejemplo es de 16.

2.5. ESTRUCTURA DEL HIPERTEXTO HISTORIA DE LOS ENGRANAJES

El hipertexto, historia de los engranajes, hace un recuento cronológico de este elemento como uno de los componentes primordiales para el desarrollo tecnológico de la humanidad (ver anexo A)

El estudio de este hipertexto se divide en cuatro épocas, correlacionadas con las edades de que se compone la historia de la humanidad.

Edad Antigua. Se toma desde Aristóteles quien en su libro elementos mecánicos, por primera vez cognota a este elemento como **rueda dentada**. Se hace una recopilación de su desarrollo a través del tiempo, terminando con el acontecimiento histórico de la caída del Imperio Romano de Occidente. Para esta época los engranajes forman parte importante de los mecanismos de máquinas complejas como la dioptra.

Durante la Edad Media, la rueda dentada permite que existan mecanismos que puedan medir el tiempo con una precisión aceptable. Los engranajes dejan de ser elementos exclusivos para la transformación de fuerzas y comienzan a ser componentes fundamentales en la transmisión de movimiento en las máquinas de precisión.

En la Epoca del Renacimiento con el desarrollo de la ciencia moderna, el hombre modela su mundo con base en esquemas físico matemáticos, permitiendo que el engranaje sea estudiado rigurosamente para aumentar la eficiencia en las transmisiones mecánicas. Deleaire y Euler modelan el perfil del diente envolvente permitiendo que la rueda dentada evolucione hacia el moderno engranaje.

En la Edad Moderna, factores tan importantes como la aparición de la máquina de vapor y el motor eléctrico generan la necesidad de diseñar procesos de manufactura más complejos que tengan en cuenta el modelamiento estático y dinámico que el engranaje soporta, causado por la transmisión de una gran potencia mecánica y una alta velocidad angular.

El hipertexto se estructura con base en una serie de nodos y relaciones de herencia. Parte de un nodo padre y de cuatro nodos hijos que son: la edad antigua, la edad media, la edad moderna y la edad contemporánea.

En cada uno de los nodos se tiene una subestructura denominada ranura compuesta por definición y contenido y explicación.

Para la navegación por el hipertexto se cuenta con un botón navegador que permite al usuario ir a una página en la cual encuentra la ruta general de navegación para cada una de las épocas. En esta página la posibilidad de ir directamente a la plantilla que desee y tener información sobre los nodos que aun no ha visitado.

El hipertexto cuenta con un botón preguntón que genera preguntas sobre la información contenida en los descriptores y valores de descriptores que conforman las diferentes plantillas del hipertexto.

La edad antigua se compone de 27 nodos, la edad media de 22, la edad moderna de 25 y la edad contemporánea de 41, todos ellos conectados al nodo padre *historia de los engranajes*.

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

La recolección de datos se ajustó a lo especificado en el capítulo sobre metodología. Se utilizaron seis juegos de descubrimiento basados en computador, con un dispositivo que, al jugarse, genera un protocolo que sirve de insumo para un segundo programa "Simulador" que, al ejecutarse, reproduce automáticamente las jugadas hechas por el sujeto que acaba de jugar, tal como se explicó en el capítulo sobre metodología.

La muestra estuvo constituida por 86 estudiantes de grado décimo de Educación Media, distribuidos aleatoriamente en dos grupos de 43 estudiantes cada uno.

En cada uno de los seis juegos, el procedimiento estuvo constituido por cuatro etapas para quienes usaron el simulador y tres para los que no lo hicieron: La primera solución del juego fue denominada de descubrimiento; inmediatamente viene la etapa de estudio del simulador; quienes no lo usan pasan a resolver por segunda vez el juego y quienes lo usan, apenas terminan su estudio, pasan a resolver el juego por segunda vez; finalmente todos resuelven el juego por tercera vez.

El estudio del simulador se hizo en dos modalidades: de forma individual y por parejas colaborativas. En el primer caso el sujeto enfrentó el análisis de su proceso individualmente. El investigador orientó al

estudiante a emplear de manera sistemática el simulador, y a identificar errores y estrategias exitosas de solución. Una guía en papel trataba de inducir al estudiante a utilizar las opciones del sistema.

Cuando se estudió el simulador en parejas colaborativas, la selección se hizo según el orden de terminación del juego en etapa de descubrimiento. Igual que en el caso de estudio individual, cada uno recibía una guía en papel y el investigador les solicitaba que primero simularan el juego de un jugador y luego, el del otro, tratando siempre de identificar errores y estrategias exitosas de solución. Una vez terminaban el estudio, regresaban a sus computadores a seguir jugando individualmente.

<i>FASE</i>	<i>JUEGO</i>		<i>1. CONDICION DE SIMULACIÓN</i>	
	<i>No.</i>	<i>NOMBRE</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
<i>1</i>	<i>1</i>	<i>Agujeros en Equilibrio</i>	<i>Simulador</i>	<i>Sin</i>
			<i>Individual</i>	<i>Simulador</i>
	<i>2</i>	<i>Agujeros al Azar</i>	<i>Sin</i>	<i>Simulador</i>
			<i>Simulador</i>	<i>Individual</i>
<i>2</i>	<i>3</i>	<i>Líneas en Equilibrio</i>	<i>Simulador</i>	<i>Sin</i>
			<i>Colaborativo</i>	<i>Simulador</i>
	<i>4</i>	<i>Líneas al Azar</i>	<i>Sin</i>	<i>Simulador</i>
			<i>Simulador</i>	<i>Colaborativo</i>
<i>3</i>	<i>5</i>	<i>Posición y Dirección</i>	<i>Simulador</i>	<i>Simulador</i>
			<i>Colaborativo</i>	<i>Individual</i>
	<i>6</i>	<i>Fichas Deslizables</i>	<i>Simulador</i>	<i>Simulador</i>
			<i>Individual</i>	<i>Colaborativo</i>

Tabla 3.1. Procedimientos experimentales

La forma como los sujetos resolvieron los juegos se muestra en la Tabla 3.1.

La simulación muestra que para resolver el juego en la segunda etapa todos los sujetos desarrollaron la estrategia E1 y que la siguen utilizando en el tercer juego de forma consistente. La reducción de eventos entre estas dos etapas es cercana a la tercera parte. Los datos de la Tabla 3.1 y la Gráfica 3.1, correspondiente ilustran la estrategia usada.

3.1 METODOS ESTADÍSTICOS

La contrastación de los datos para los dos grupos se hizo mediante la utilización de los siguientes métodos:

- a. Análisis de varianza de medidas repetidas por cada juego para observar el efecto integrado de las variables independientes con el nivel de consolidación del aprendizaje.
- b. La prueba t de Student para hallar la diferencia de medias en eficacia y eficiencia en las etapas de consolidación de estrategias de solución del problema,
- c. Análisis de regresión múltiple para establecer el efecto de la experiencia de usar o no simuladores y el efecto de usarlos en forma individual o colaborativa sobre la eficacia y la eficiencia en la etapa de descubrimiento en cada uno de los juegos siguientes.
- d. Análisis de protocolos automatizados en cuatro sujetos por cada juego según la condición de estudio correspondiente a la fase.

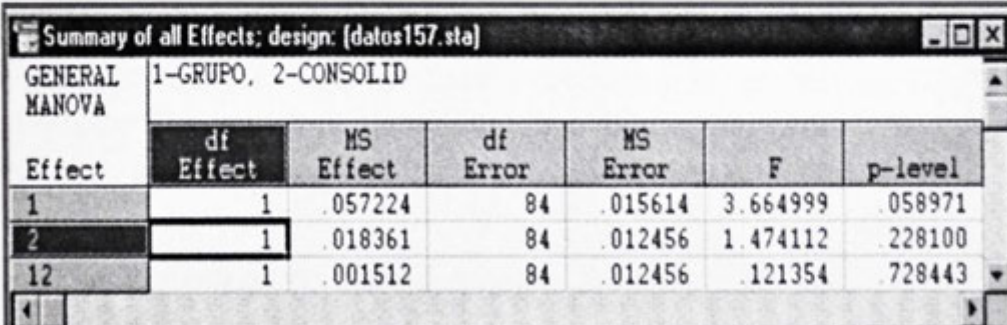
3.2 FASE 1: EFECTOS DEL SIMULADOR EN CONDICIÓN DE USO INDIVIDUAL

La fase 1 contrasta el uso individual de los simuladores en dos etapas: en la primera el grupo A utiliza el simulador en el juego Agujeros en Equilibrio y en la segunda los grupos cambian de condición: el grupo B utiliza simulador en forma individual, en tanto el grupo A no lo hace y utiliza el juego de Agujeros al Azar.

Los datos se analizan tomando como variables dependientes la eficacia definida como la relación entre número de intentos exitosos y el número total de intentos y la eficiencia entendida como la relación entre el número de intentos exitosos y el tiempo total invertido en la solución.

En primera instancia, se aplica el método de análisis de varianza de medidas repetidas para evaluar el efecto del simulador en la condición individual sobre la eficacia y la eficiencia.

3.2.1 ANÁLISIS DE LA EFICACIA



Summary of all Effects: design: [datos157.sta]						
GENERAL MANOVA						
1-GRUPO, 2-CONSOLID						
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.057224	84	.015614	3.664999	.058971
2	1	.018361	84	.012456	1.474112	.228100
12	1	.001512	84	.012456	.121354	.728443

Gráfica 3.1. Análisis de varianza de medidas repetidas en el juego de Agujeros en equilibrio tomando eficacia como variable dependiente.

La Gráfica 3.1 muestra el análisis de varianza de medidas repetidas para el primer juego. Aquí se contrasta el efecto cruzado del uso del simulador con el nivel de consolidación. El valor de la F para el efecto del simulador es relativamente alto y está cercana al nivel de significación de $p=0.05$. El efecto de consolidación es mucho menor, aunque el valor de F sea positivo y no se observan efectos de interacción.

En el segundo juego o de Agujeros al Azar el grupo de estudiantes que usó simuladores en el primer juego ahora no los usa y los que no los había usado ahora lo hacen.

La Gráfica 3.2 muestra el análisis cruzado de los factores simulador y consolidación. Los resultados son muy similares a los del primer juego. Los estudiantes con simulador tienen una media superior a los que no lo usan y la probabilidad asociada a la F está muy cercana al nivel de significación.

Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.013747	84	.003586	3.833846	.053547
2	1	.000368	84	.003295	.111535	.739235
12	1	.000000	84	.003295	.000004	.998386

3.2.2 ANÁLISIS DE EFICIENCIA

Gráfica 3.2. Análisis de varianza de medidas repetidas en el juego de Agujeros al azar tomando eficacia como variable dependiente.

El análisis de varianza de medidas repetidas se aplica también tomando como variable dependiente la eficiencia. La Gráfica 3.3 muestra los resultados para el juego de Agujeros en equilibrio. Hay diferencias significativas relacionadas con el nivel de consolidación, mas no con el uso del simulador. Es decir que los efectos del simulador fueron mas notorios cuando se tomó como criterio la variable eficacia que cuando se tomó la variable eficiencia.

En el juego de Agujeros al azar el análisis de varianza de medidas repetidas no muestra efecto de la variable uso del simulador de manera individual ni del nivel de consolidación si se toma como variable dependiente la eficiencia, en contraste con los resultados obtenidos cuando se toma como variable dependiente la eficacia.

Summary of all Effects; design: (datos157.sta)						
GENERAL MANOVA		1-GRUPO, 2-CONSOLID				
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.000389	84	.000227	1.71066	.194468
2	1	.008729	84	.000173	50.41281	.000000
12	1	.000082	84	.000173	.47306	.493479

Gráfica 3.3. Análisis de varianza de medidas repetidas en el juego de Agujeros en equilibrio, tomando eficiencia como variable dependiente.

Summary of all Effects; design: (datos157.sta)						
GENERAL MANOVA		1-GRUPO, 2-CONSOLID				
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.000006	84	.000251	.025206	.874237
2	1	.000067	84	.000153	.433882	.511892
12	1	.000321	84	.000153	2.092856	.151711

Gráfica 3.4. Análisis de varianza de medidas repetidas tomando como variable dependiente la eficiencia en el juego Agujeros al azar.

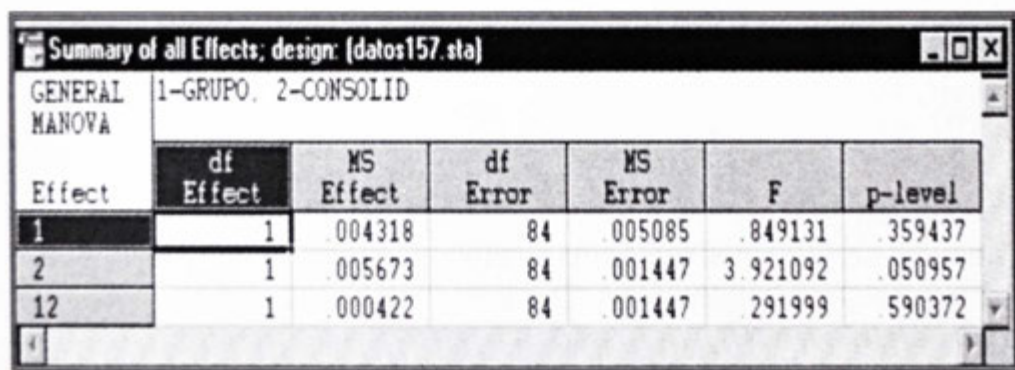
3..3 FASE 2: USO COLABORATIVO DEL SIMULADOR

En la Fase 2 de este estudio, se puso a prueba el uso del simulador en condición colaborativa y se utilizaron los juegos Líneas al azar y Líneas en equilibrio, de mayor complejidad que los juegos de Agujeros en equilibrio y Agujeros al azar, pero de la misma clase, por cuanto, en su solución hay estrategias que son comunes. La variable Grupo corresponde al uso o no uso del simulador en condición colaborativa.

3.3.1 ANÁLISIS DE EFICACIA

La Gráfica 3.5 muestra los resultados del análisis de varianza de medidas repetidas aplicado al juego de Líneas en equilibrio, tomando como variable dependiente la eficacia. No se observan efectos del uso del simulador sobre la variable dependiente. Es más fuerte el efecto de consolidación que se puede asociar con el de práctica en la solución del juego cuya F es relativamente grande, además tiene asociado un nivel de significación muy cercano al de 0.05.

La Gráfica 3.6 reproduce los hallazgos con el juego de Líneas al Azar cuando se usa el simulador en forma colaborativa. No se muestran diferencias relacionadas con el uso de simuladores ni con el nivel de la práctica en la solución del juego. Resultados que están en coherencia con los del juego de Líneas en Equilibrio.



Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.004318	84	.005085	.849131	.359437
2	1	.005673	84	.001447	3.921092	.050957
12	1	.000422	84	.001447	.291999	.590372

Gráfica 3.5. Análisis de varianza de medidas repetidas tomando como variable dependiente la eficacia en el juego de Líneas en equilibrio

Summary of all Effects; design: (datos157.sta)						
GENERAL MANOVA						
1-GRUPO, 2-CONSOLID						
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.000188	84	.012515	.015029	.902723
2	1	.000469	84	.010626	.044166	.834053
12	1	.014092	84	.010626	1.326134	.252761

Gráfica 3.6. Análisis de varianza de medidas repetidas en el juego de Líneas al azar, tomando como variable dependiente la eficacia.

Summary of all Effects; design: (datos157.sta)						
GENERAL MANOVA						
1-GRUPO, 2-CONSOLID						
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.000223	84	.000002	122.0109	.000000
2	1	.000028	84	.000000	62.0627	.000000
12	1	.000017	84	.000000	36.9337	.000000

Gráfica 3.7. Análisis de varianza de medidas repetidas aplicado al juego de Líneas en equilibrio, utilizando como variable dependiente la eficiencia.

3.3.2 ANÁLISIS DE EFICIENCIA

La Gráfica 3.7 muestra los resultados de aplicar el análisis de varianza de medidas repetidas al juego de Líneas en Equilibrio. En contraste con los resultados del mismo análisis estadístico aplicado a la variable dependiente eficacia, los resultados muestran una varianza sistemática asociada de manera muy significativa tanto a la condición de uso del simulador en condición colaborativa como al nivel de consolidación. Quiere decir que el uso colaborativo de los

simuladores se asocia de manera significativa con una mayor eficiencia y que quienes hacen uso de los simuladores también incrementan en mayor medida su eficiencia entre soluciones sucesivas del mismo juego. Esa afirmación está respaldada por un efecto de interacción también muy significativo. El efecto de mayor impacto es el uso de los simuladores seguido por el de consolidación.

Los resultados obtenidos en el juego de Líneas en Equilibrio se repiten de manera consistente en el juego de Líneas al Azar. Nuevamente, el uso colaborativo de los simuladores muestra el mayor efecto, quienes usan simulador también tienen mayor nivel de aprovechamiento de la práctica de solución del juego, respaldado

Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.000214	84	.000002	117.3123	.000000
2	1	.000028	84	.000001	45.8352	.000000
12	1	.000012	84	.000001	19.7933	.000026

Gráfica 3.8. Análisis de varianza de medidas repetidas aplicado al juego de Líneas al azar, tomando como variable dependiente la eficiencia.

este resultado por los niveles muy significativos del efecto de interacción.

3.4 VISIÓN INTEGRADA DE LAS FASES 1 Y 2 A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE LA PRUEBA T DE STUDENT PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES.

La Gráfica 3.9 resume la aplicación de la prueba t de Student. La variable de agrupamiento corresponde a los grupos A y B. Cubre

las dos primeras fases del experimento: en la primera se usan los Juegos de Agujeros en Equilibrio y Agujeros al Azar y se prueba el uso del simulador en forma individual; la segunda fase corresponde a la prueba del simulador con uso colaborativo con los juegos Líneas en Equilibrio y Líneas al Azar como escenarios. Se toman como variables dependientes eficacia y eficiencia en la segunda y tercera solución de cada juego.

Grouping: GRUPO (Casewise deletion of missing data)								
BASIC STATS								
Group 1: A, Group 2: B								
Hotelling T ² =337.783 F(16,69)=17.342 p<.00000								
Variable	Mean A	Mean B	t-value	df	p	t separ. var. est.	df	p 2-sided
EFICA2AE	.118554	.076145	1.64200	84	.104329	1.64200	49.70354	.106903
EFICA3AE	.133289	.102738	1.20907	84	.230030	1.20907	78.41110	.230271
EFICI2AE	.027814	.026186	.45661	84	.649127	.45661	74.56391	.649276
EFICI3AE	.041442	.039310	.40878	84	.683744	.40878	82.14561	.683767
EFICA2AA	.059565	.077463	-1.28757	84	.201432	-1.28757	79.97219	.201610
EFICA3AA	.062506	.080368	-1.58625	84	.116440	-1.58625	73.04347	.117003
EFICI2AA	.024395	.022047	.72866	84	.468237	.72866	83.99666	.468238
EFICI3AA	.022907	.026023	-1.07344	84	.286146	-1.07344	83.15027	.286177
EFICA2LE	.078930	.085817	-.52695	84	.599617	-.52695	83.28245	.599629
EFICA3LE	.064310	.077465	-1.14060	84	.257278	-1.14060	83.98765	.257279
EFICI2LE	.002814	.001163	8.88492	84	.000000	8.88492	57.23603	.000000
EFICI3LE	.004256	.001349	10.83693	84	.000000	10.83693	68.25370	.000000
EFICA2LA	.092907	.076895	.65134	84	.516608	.65134	53.72440	.517606
EFICA3LA	.078108	.098302	-.92951	84	.355289	-.92951	54.33680	.356736
EFICI2LA	.001209	.002907	-9.25680	84	.000000	-9.25680	56.38395	.000000
EFICI3LA	.001488	.004256	-9.76917	84	.000000	-9.76917	77.07511	.000000

Gráfica 3.9. Aplicación de la prueba t de Student para los dos grupos en las dos primeras fases. Efica=eficacia; Efici=eficiencia; los números 2 y 3 identifican la segunda vez que los sujetos resuelven un juego; AE=Agujeros en Equilibrio; AA=Agujeros al Azar; LE=Lí

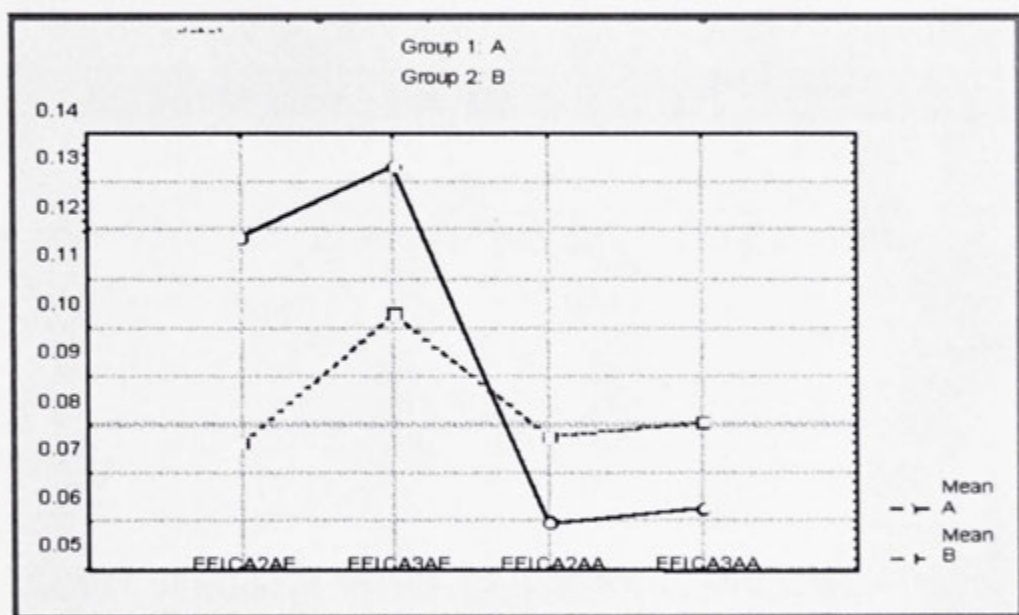
Los resultados son equivalentes a los del análisis de varianza de medidas repetidas, con la limitante de que no identifica interacciones entre uso de simulador y etapa de consolidación del juego. La prueba de Hotelling muestra diferencias significativas para el conjunto, es decir, que estadísticamente las variables dependientes tienen un comportamiento diferenciado según la condición de agrupamiento.

En sus componentes, al igual que en el análisis de varianza, se observan diferencias muy significativas entre quienes usan simuladores en forma colaborativa y quienes no los usan, si se toma como variable dependiente eficiencia.

Grouping: GRUPO [Casewise deletion of missing data]								
Variable	BASIC		Group 1: A		Group 2: B		STATS	
	F-ratio	p	Levene	df	p	Brn-Fors	df	p
	variances	variances	F(1,df)	Levene	Levene	F(1,df)	Brn-Fors	Brn-Fors
EFICA2AE	10.81159	.000000	7.45946	84	.007689	3.94271	84	.050337
EFICA3AE	1.72843	.079791	.03937	84	.843196	.01464	84	.903996
EFICI2AE	2.10433	.017794	1.72515	84	.192607	1.54037	84	.218018
EFICI3AE	1.35363	.330315	1.09958	84	.297366	1.10392	84	.296421
EFICA2AA	1.57872	.143045	.77964	84	.379771	.32700	84	.568956
EFICA3AA	2.26423	.009395	4.27812	84	.041682	2.86527	84	.094216
EFICI2AA	1.01270	.967586	.00301	84	.956383	.00127	84	.971712
EFICI3AA	1.22492	.513803	.00001	84	.997996	.00119	84	.972543
EFICA2LE	1.20464	.548986	.06580	84	.798182	.03886	84	.844203
EFICA3LE	1.02455	.937719	.09200	84	.762403	.00866	84	.926065
EFICI2LE	5.32547	.000000	23.42131	84	.000006	12.27740	84	.000738
EFICI3LE	2.84848	.000968	18.96729	84	.000037	17.51351	84	.000070
EFICA2LA	7.02214	.000000	1.48637	84	.226193	.57785	84	.449286
EFICA3LA	6.65872	.000000	2.09854	84	.151163	1.09344	84	.298711
EFICI2LA	5.66327	.000000	46.86476	84	.000000	14.47167	84	.000269
EFICI3LA	1.85510	.048070	6.42013	84	.013140	8.33198	84	.004951

Gráfica 3.10. Pruebas complementarias de la t de Student

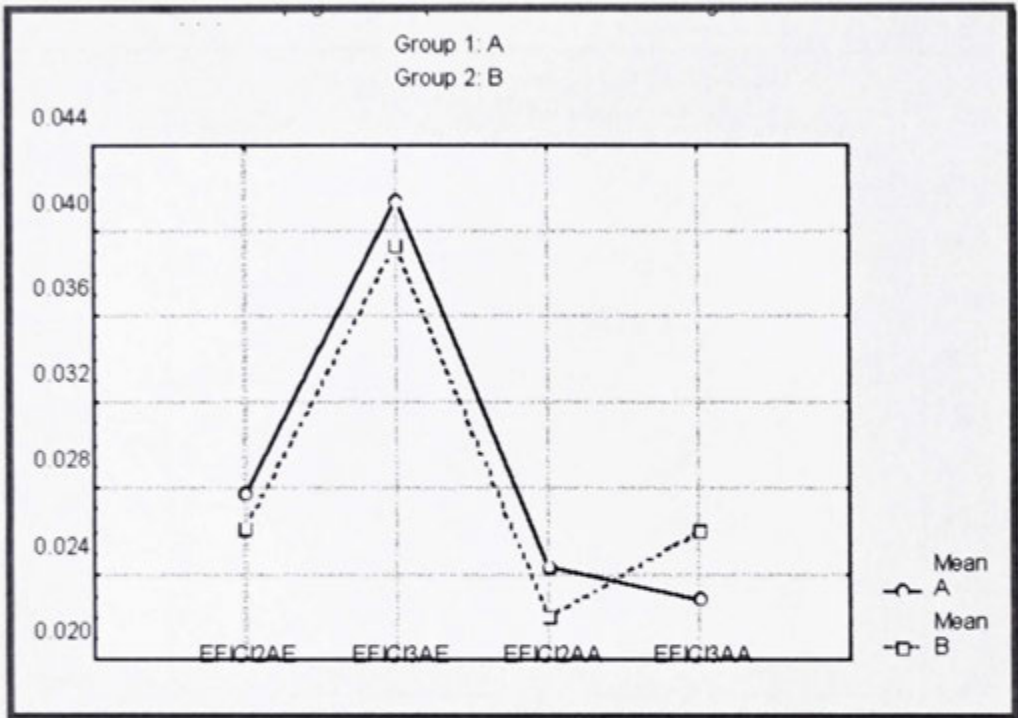
La Gráfica 3.10 permite visualizar el resultado de las pruebas complementarias a la t de Student. Según estas pruebas las varianzas de la variable dependiente eficacia en la segunda solución del juego de Agujeros en Equilibrio y en la tercera solución de Agujeros al Azar se comportan de manera diferente para los dos grupos. En efecto la razón entre varianza sistemática y varianza de error es alta y significativa y las pruebas de homogeneidad de Levine y Brown y Forsythe muestran que en este caso no hay homogeneidad de varianza. Lo cual da pie para sostener que hay un efecto notorio atribuible a la variable independiente en estos dos casos.



Gráfica 3.11. Medias de eficacia en los juegos de Agujeros en equilibrio y Agujeros al azar

La Gráfica 3.11 muestra tendencias consistentes a puntuar mejor en eficacia cuando los grupos han usado simulador después de la primera solución del juego. En efecto, el grupo A en el primer juego, de Agujeros en Equilibrio, que usa el simulador de forma individual puntúa más alto que el grupo B en eficacia en las dos soluciones del juego; luego, en el juego de Agujeros al Azar, el grupo B que venía puntuando más bajo, pasa a puntuar más alto cuando hace

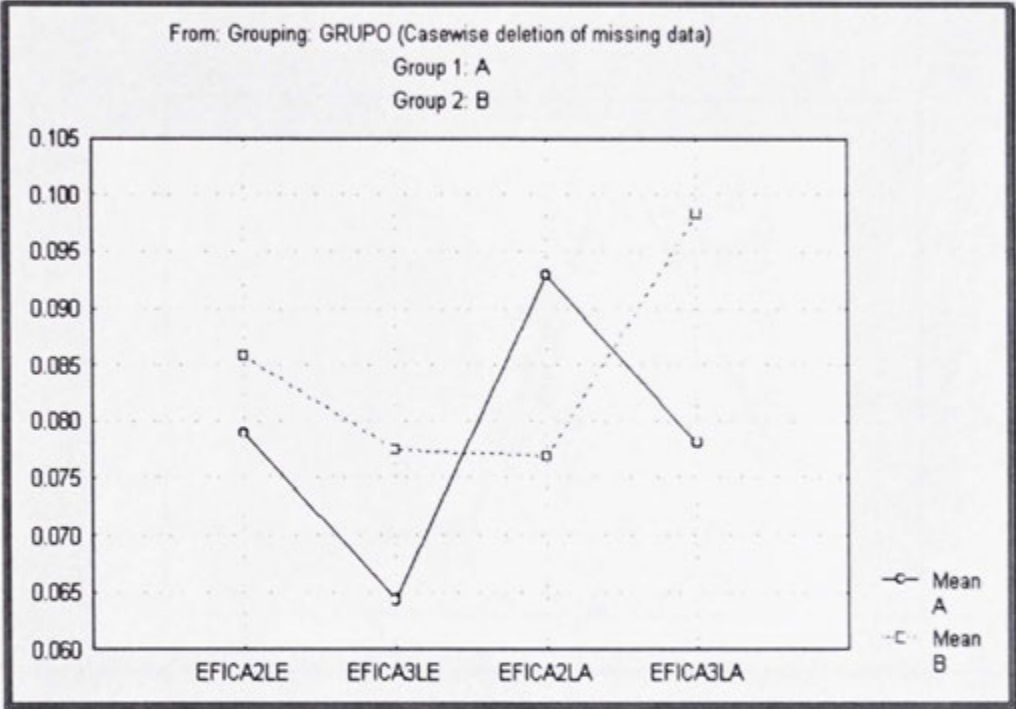
uso del simulador en los dos niveles de consolidación. En ambos casos hay incremento en eficacia entre la segunda y tercera vez que se soluciona el juego, pero el incremento es visiblemente menor que el generado por el uso del simulador y tiene una tasa de crecimiento muy similar para los dos grupos.



Gráfica 3.12. Medias de eficacia en los dos primeros juegos, Agujeros en equilibrio y Agujeros al azar, contrastando el uso individual del simulador

La Gráfica 3.12. Muestra las medias en eficiencia en los dos primeros juegos. En contraste con la Gráfica 3.11, las medias tienen valores muy cercanos, prevaleciendo el grupo A sobre el B cuando el primero usa simulador. En la última etapa, después de haber usado el simulador; el grupo B tiene puntaje más bajo en el segundo juego y más alto en el tercero. Es de notar que en el Juego de Agujeros al Azar el grupo A tiene aceleración negativa, aunque leve, en la curva de aprendizaje.

En las dos Gráficas (3.11 y 3.12), la aceleración de la curva de aprendizaje representada por la pendiente de la recta que une los puntos correspondientes a la primera y segunda vez que se enfrentan los juegos, es diferente para cada uno de los juegos –Agujeros en Equilibrio y Agujeros al Azar -. En el primero los sujetos aprenden más que en el segundo.

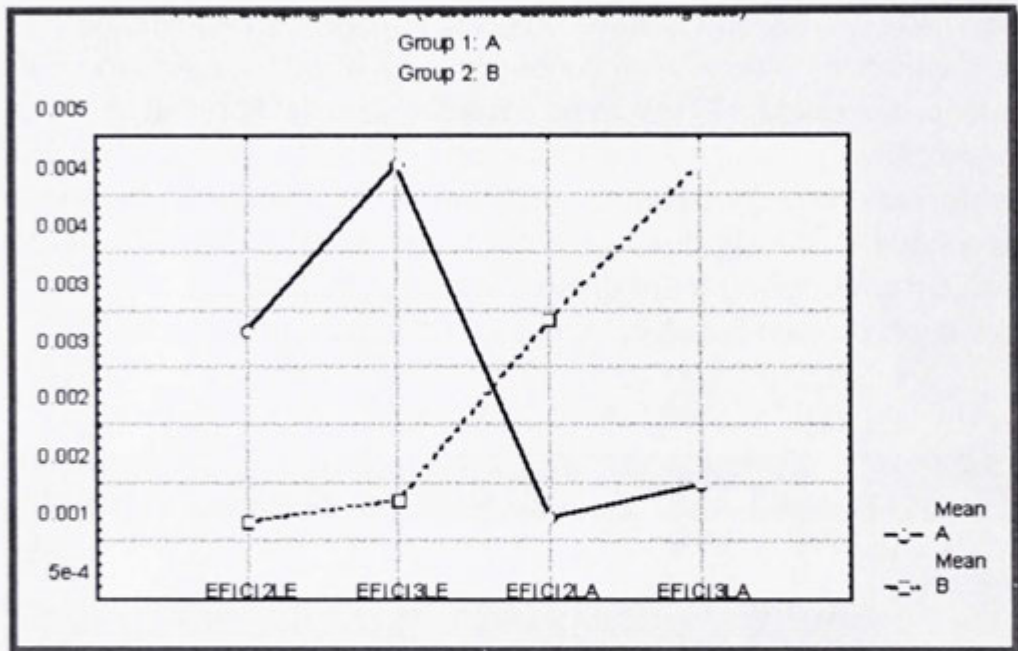


Gráfica 3.13. Medias de eficacia para los juegos de Líneas en equilibrio y Líneas al azar

La Gráfica 3.13 muestra las medias en eficacia en los juegos de Líneas en Equilibrio y Líneas al Azar. El grupo A en el primer juego usa el simulador de manera colaborativa y sus puntajes son inferiores a los del grupo B que no lo usa. Al dejar de usar el simulador incrementa la eficacia en la segunda solución del juego, pero al llegar a la tercera solución nuevamente aparece con una media inferior comparado con el grupo que lo usa de manera colaborativa.

Los resultados contrastan con los obtenidos cuando se usa simulador de manera individual.

Es de notar que la tasa de crecimiento de la curva de aprendizaje para el grupo A es siempre negativa; para el Grupo B lo es en el primer juego, pero no en el segundo.



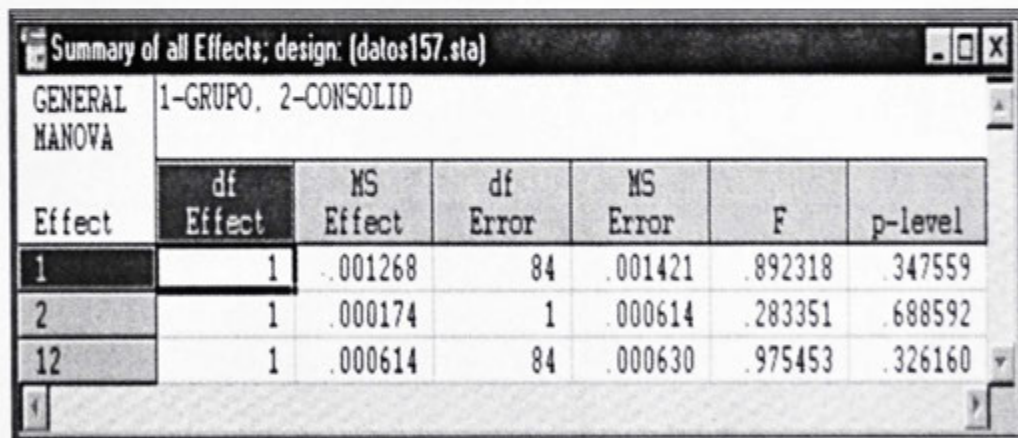
Gráfica 3.14. Medias de eficiencia en los juegos de Líneas en equilibrio y Líneas al azar

En la Gráfica 3.14, de manera consistente los grupos que usan simuladores muestran puntajes superiores a los que no los usan en los respectivos juegos. Al dejar de usar el simulador los puntajes en eficiencia disminuyen y al usarlo aumentan. La tasa de aprendizaje cuando se usa simulador es visiblemente mayor que cuando no se usa.

3.5 COMPARACIÓN DEL USO DEL SIMULADOR EN FORMA INDIVIDUAL Y COLABORATIVA

3.5.1 ANÁLISIS DE VARIANZA DE MEDIDAS REPETIDAS

La Gráfica 3.15 muestra los resultados del análisis de varianza de medidas repetidas para el juego de Posición y Dirección tomando como variable dependiente la eficacia. La varianza sistemática asociada con las condiciones de agrupamiento es pequeña, inferior a la varianza de error y, en consecuencia, el valor de la razón F es inferior a la unidad. El efecto de consolidación del aprendizaje no es significativo y tampoco se observan efectos de interacción. Por tanto, los dos grupos son estadísticamente iguales en eficacia y no se puede sustentar que la condición individual o colaborativa del uso del simulador genere diferencias en el aprendizaje identificado por la eficacia en la solución de los problemas presentados.



Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.001268	84	.001421	.892318	.347559
2	1	.000174	1	.000614	.283351	.688592
12	1	.000614	84	.000630	.975453	.326160

Gráfica 3.15. Análisis de varianza de medidas repetidas aplicado al juego de posición y dirección

Summary of all Effects; design: (datos157.sta)						
GENERAL MANOVA	1-GRUPO, 2-CONSOLID					
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.013415	84	.020339	659566	.419009
2	1	.026850	1	.006228	4.311140	.285737
12	1	.006228	84	.001825	3.412399	.068229

Gráfica 3.16. Análisis de varianza de medidas repetidas para el juego de fichas deslizables tomando como variable dependiente eficacia

Summary of all Effects; design: (datos157.sta)						
GENERAL MANOVA	1-GRUPO, 2-CONSOLID					
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.000034	84	.000046	.735573	.393523
2	1	.000008	1	.000001	9.000000	.204833
12	1	.000001	84	.000000	2.545455	.114368

Gráfica 3.17. Análisis de varianza de medidas repetidas para el juego posición y dirección con eficiencia como variable dependiente

Summary of all Effects; design: (datos157.sta)						
GENERAL MANOVA	1-GRUPO, 2-CONSOLID					
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.010213	84	.025663	.397985	.529844
2	1	.044579	1	.039106	1.139950	.479168
12	1	.039106	84	.028650	1.364954	.245986

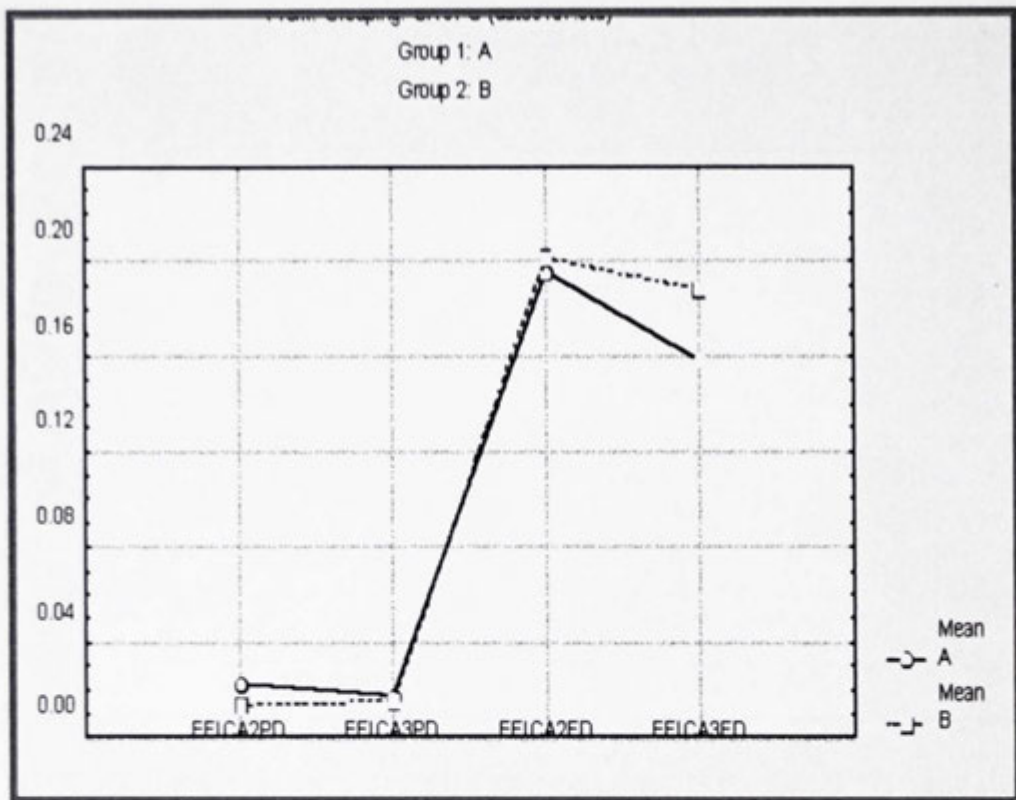
Gráfica 3.18. Análisis de varianza de medidas repetidas para el juego de fichas deslizables tomando como variable dependiente eficiencia

La Gráfica 3.16 muestra el análisis de varianza de medidas repetidas para el juego de fichas deslizables tomando como variable dependiente la eficacia. No se observan efectos significativos relativos al modo colaborativo o individual del uso del simulador. El efecto mayor se debe a la consolidación o evolución de la curva de aprendizaje por efecto de la práctica; aunque la media sea mayor para el grupo que usa el simulador de manera colaborativa, las diferencias no son significativas. Tampoco es significativo el efecto de la interacción, aunque se acerca al nivel de aceptación.

La Gráfica 3.17 resume los resultados del análisis de varianza de medidas repetidas para el juego de Posición y Dirección tomando como variable dependiente la eficiencia. Tampoco en este caso se observan diferencias en cuanto al uso individual o colaborativo del simulador. El efecto más notorio es el de consolidación.

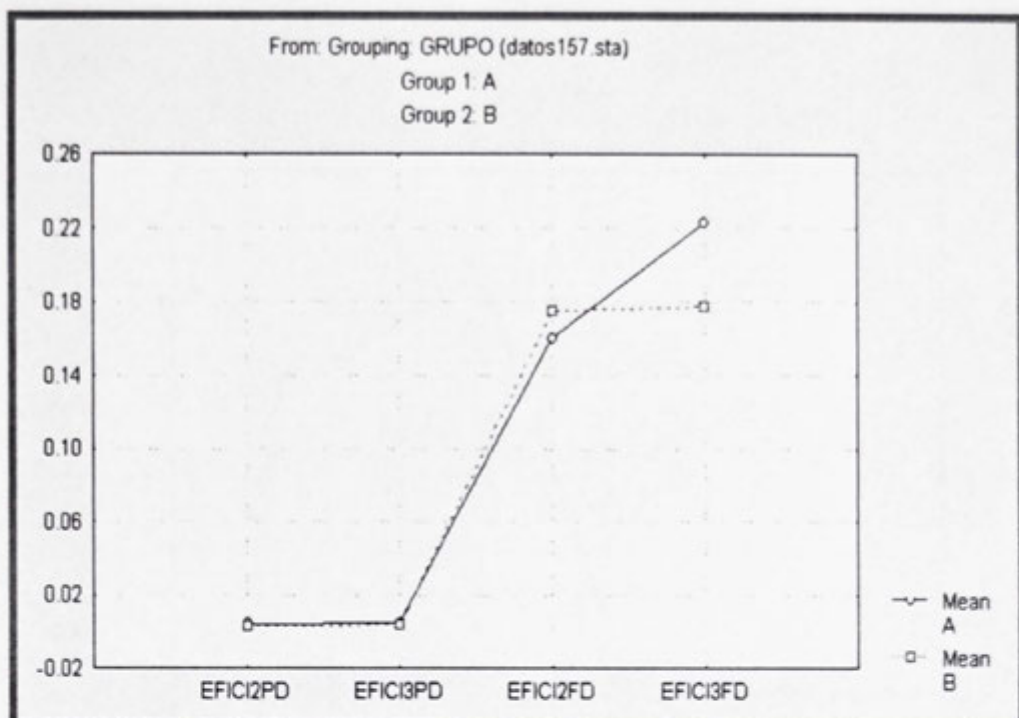
La Gráfica 3.18 muestra que tampoco hay efectos significativos atribuibles al uso del simulador en forma colaborativa, frente al uso del simulador en forma individual. Las variables consideradas en el modelo tienen poco valor explicativo frente a la variable dependiente, en este caso la eficiencia.

La Gráfica 3.19 muestra las medias de eficacia para los dos juegos. El Grupo A usa el simulador de forma colaborativa en el juego de Posición y Dirección y tiene una media muy levemente superior al grupo B que usa el simulador de manera individual. En el juego de Fichas Deslizables es el grupo B el que usa el simulador de forma colaborativa y obtiene puntajes superiores sin, que sean significativos, con la mayor diferencia en la segunda etapa de consolidación.



Gráfica 3.19. Medias de eficacia en los juegos de posición y dirección y fichas deslizables

La Gráfica 3.20 muestra las medias en eficiencia en los dos Juegos de Posición y Dirección y Fichas Deslizables. En el juego de Posición y Dirección las medias son iguales. En la segunda etapa de consolidación del Juego de Fichas Deslizables la media de quienes usaron el simulador de manera individual es mayor, sin ser una diferencia significativa.



Gráfica 3.20. Medias de eficiencia para los juegos de posición y dirección y fichas deslizables

3.6 LA CONDICIÓN DE USO DEL SIMULADOR COMO PREDICTOR DEL ÉXITO EN EL JUEGO SIGUIENTE EN ETAPA DE DESCUBRIMIENTO.

El propósito de este análisis es identificar en qué medida el estudio simulador en el juego anterior condiciona el éxito en la etapa de descubrimiento del juego siguiente. Se aplicó el modelo de regresión múltiple paso a paso usando como predictor el factor grupo y como variables dependientes la eficacia y la eficiencia en la primera etapa de todos los juegos, con exclusión del primero o juego de Agujeros en Equilibrio. Se incluyen las relaciones cuando el valor de la razón F es igual o mayor que 1.5.

La Gráfica 3.21 muestra como primera variable incluida la eficacia en el juego de Líneas en Equilibrio. Los sujetos en este momento llevan en su historial el análisis de los simuladores correspondientes a los juegos de Agujeros en Equilibrio y Agujeros al Azar. Estadísticamente se puede sustentar que esta experiencia se asocia con el éxito en la etapa de descubrimiento del juego de Líneas en Equilibrio. No sucedió lo mismo con Agujeros al Azar, lo cual puede mostrar un efecto insuficiente del primer estudio del simulador.

La Gráfica 3.22 muestra que la experiencia de estudio previo del simulador influyó de manera significativa en el éxito medido por la eficiencia en la etapa de descubrimiento del juego de Líneas en Equilibrio. En ambos casos los niveles de significación asociados a la relación son muy altos.

La Gráfica 3.23 muestra que el hecho de haber estudiado simuladores en el juego anterior se relaciona estrechamente con el nivel de eficacia en la etapa de descubrimiento del juego de Líneas al Azar.

La Gráfica 3.24 muestra una relación muy estrecha entre el estudio del simulador en el juego anterior y la eficiencia en el juego de Líneas al Azar.

Regression Summary for Dependent Variable: EFICA1LE						
MULTIPLE REGRESS.	R= .58408874	R ² = .34115965	Adjusted R ² = .32980034			
	F(1, 58)=30.033	p<.000000	Std Error of estimate: .08239			
N=60	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(58)	p-level
	Intercpt		-11,6515	2,139476	-5,44597	,000001
	GRUPO	,106580	,1166	,021285	5,48028	,000001

Gráfica 3.21. Regresión de la variable independiente grupo, sobre la variable dependiente eficacia en Líneas Equilibrio

Regression Summary for Dependent Variable: EFICI1LE

MULTIPLE REGRESS. R= .45579460 R²= .20774872 Adjusted R²= .19408921
 F(1,58)=15.209 p<.00025 Std Error of estimate: .00083

N=60	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(58)	p-level
Intercpt			-.082871	.021617	-3.83353	.000313
GRUPO	.455795	.116874	.000839	.000215	3.89988	.000253

Gráfica 3.22. Regresión de la variable independiente grupo, sobre la variable dependiente eficiencia en Líneas en equilibrio

Regression Summary for Dependent Variable: EFICA1LA

MULTIPLE REGRESS. R= .66648307 R²= .44419968 Adjusted R²= .43461692
 F(1,58)=46.354 p<.00000 Std Error of estimate .04033

N=60	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(58)	p-level
Intercpt			7.172034	1.047215	6.84867	.000000
GRUPO	-.666483	.097892	-.070931	.010418	-6.80838	.000000

Gráfica 3.23. Regresión de la variable independiente grupo, sobre la variable dependiente eficacia en Líneas al azar

Regression Summary for Dependent Variable: EFICI1LA

MULTIPLE REGRESS. R= .41522740 R²= .17241379 Adjusted R²= .15814507
 F(1,58)=12.083 p<.00097 Std Error of estimate: .00038

N=60	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(58)	p-level
Intercpt			.035828	.009971	3.59307	.000675
GRUPO	-.415227	.119452	-.000345	.000099	-3.47611	.000970

Gráfica 3.24. Regresión de la variable independiente grupo, sobre la variable dependiente eficacia en el juego de Líneas al azar

Regression Summary for Dependent Variable: EFICA1FD						
MULTIPLE REGRESS.	R= .18299242	R ² = .03348623	Adjusted R ² = .01682220			
	F(1,58)=2.0095 p<.16167 Std Error of estimate: .17584					
N=60	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(58)	p-level
Intercept			-6,22311	4,566166	-1,36287	,178190
GRUPO	.182992	.129089	.06439	.045426	1,41757	,161668

Gráfica 3.25. Regresión de la variable independiente grupo, sobre la variable dependiente eficacia en el juego de fichaz deslizables

La relación entre haber estudiado el simulador en el juego anterior y la etapa de descubrimiento en Orientación y Posición no se da. Es una relación excluida del modelo por bajo valor de la varianza explicada.

La Gráfica 3.25 muestra una relación notoria pero no significativa entre el estudio previo del simulador, en este caso en forma individual o colaborativa y la eficacia en el juego de descubrimiento de Fichas deslizables.

3.7 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El análisis estadístico de esta investigación se guía por tres objetivos formulados en la introducción de este informe:

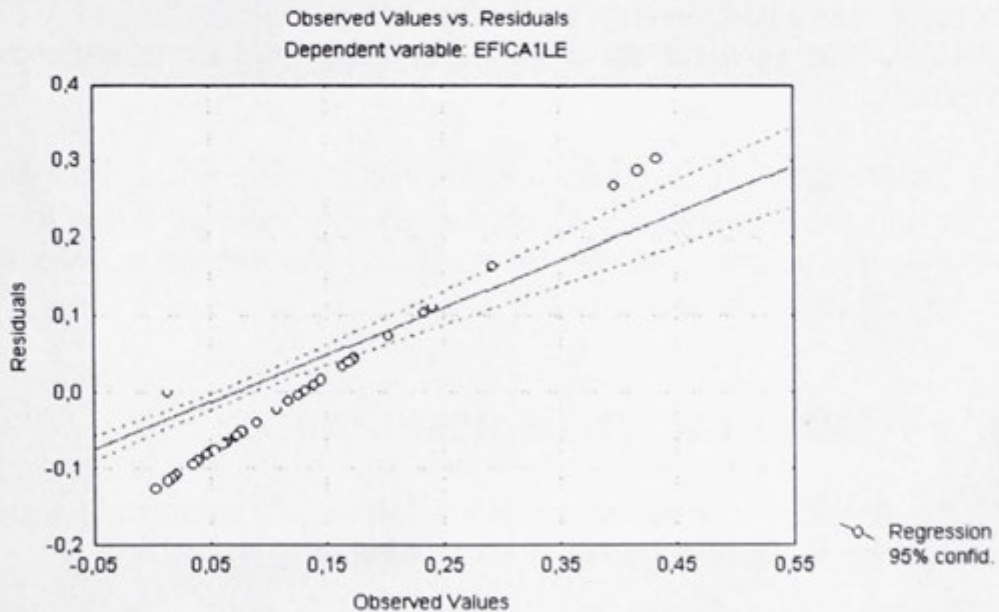
Analizar el efecto al utilizar simuladores en la solución de problemas en juegos computarizados de descubrimiento en la etapa de consolidación de estrategias.

Comparar el impacto que tiene la forma de estudio de simuladores de procesos de solución de problemas - individual o colaborativa -, sobre la eficacia y la eficiencia del aprendizaje en la etapa de

consolidación de estrategias, en juegos de descubrimiento basados en computador.

Estudiar el efecto del análisis de simuladores sobre la generalización de estrategias.

En los antecedentes se hizo referencia al estudio de Maldonado y otros, (2000), en el cual se establece una forma de relacionar secuencias de juegos, lo cual sirve de soporte para las interpretaciones de los datos hechas en esta investigación.



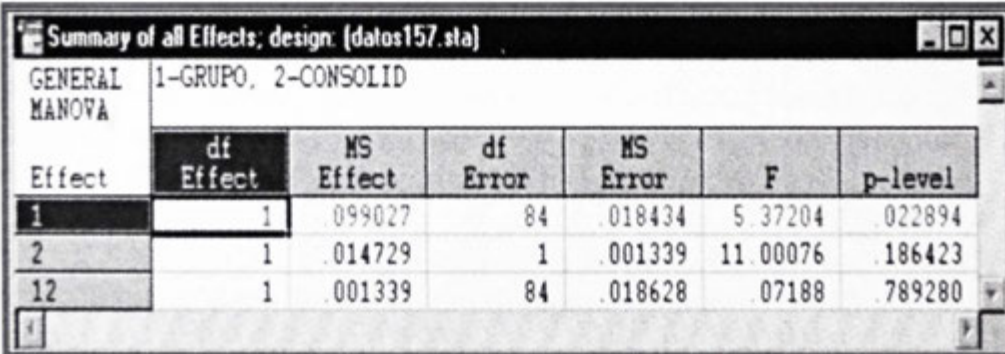
Gráfica 3.26. Muestra el ajuste de valores observados a la línea de regresión. El modelo muestra una fuerza grande de predicción de los valores de variable dependiente.

3.7.1 EFECTO DE LOS SIMULADORES USADOS DE MANERA INDIVIDUAL FRENTE A CONDICIONES DE NO USO.

- **Efectos en el juego de Agujeros en equilibrio**

Los resultados que hemos analizado muestran que el uso del simulador en la primera etapa, bajo la condición individual afectó la eficacia; es decir, que los estudiantes se preocuparon por buscar una estrategia de solución sin importar el tiempo. Los resultados se reflejan en una varianza sistemática asociada con la condición experimental identificable y con un nivel de significación muy cercano al 0.05. Este juego se puede resolver por acercamiento o por ubicación de zonas de equilibrio.

Al pasar al juego de Agujeros al Azar, nuevamente los resultados son muy similares a los tenidos en el primero, afectándose nuevamente la eficacia, más no la eficiencia.



Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.099027	84	.018434	5.37204	.022894
2	1	.014729	1	.001339	11.00076	.186423
12	1	.001339	84	.018628	.07188	.789280

Gráfica 3.27. Análisis de varianza de medidas repetidas que compara el aprendizaje entre la etapa de descubrimiento y la primera de consolidación.

Si el uso de simulador llevara a consolidar la estrategia de solución por manejo de distancia en el juego de Agujeros en Equilibrio se esperaría que los sujetos la usaran en la primera etapa del juego de Agujeros al Azar y un análisis de regresión relacionaría significativamente el éxito en la última etapa de Agujeros en equilibrio con la primera de Agujeros al Azar y el signo del factor Beta debería ser positivo.

Si por el contrario, se hubiera consolidado en el primer juego la estrategia de solución por ubicación de zonas de equilibrio, que no opera en el juego de Agujeros al Azar, la regresión entre la etapa de consolidación del primer juego y la primera de Agujeros al Azar sería significativa y el valor de Beta sería negativo, pues a una mayor eficacia o eficiencia en el primer caso correspondería una menor eficacia o eficiencia en el inicio del segundo juego.

Una dificultad adicional surgiría, si tanto el grupo A como el grupo B consolidan la misma estrategia. El análisis de regresión establecería diferencias entre las dos condiciones si consolidan una estrategia diferente y no daría diferencias si consolidan una misma estrategia.

La Gráfica 3.28 muestra que la eficacia del juego de Agujeros al Azar en etapa de descubrimiento es explicada por la eficacia en la tercera y en la segunda solución de Agujeros en Equilibrio y por eficiencia en la segunda solución del mismo juego. La eficiencia, en contraste no es explicada por ninguno de estos factores. El signo de beta es negativo en el primer modelo. Por tanto, se puede interpretar que los sujetos tanto del grupo A como del grupo B consolidaron mayoritariamente la estrategia de solución por zonas y que no hubo diferencias significativas entre quienes usaron el simulador y quienes no.

Regression Summary for Dependent Variable: EFICA1AA						
MULTIPLE REGRESS.	R= .39840254 R ² = .15872458 Adjusted R ² = .12794622 F(3,82)=5.1570 p<.00258 Std.Error of estimate: .03096					
N=86	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(82)	p-level
Intercpt			.068087	.007775	8.75773	.000000
EFICI3AE	-.371905	.106423	-.512341	.146610	-3.49459	.000769
EFICA2AE	-.175095	.104296	-.047989	.028585	-1.67883	.096992
EFICI2AE	.182430	.108982	.367531	.219559	1.67395	.097952
Regression Summary for Dependent Variable: EFICI1AA						
MULTIPLE REGRESS.	R= .17011901 R ² = .02894048 Adjusted R ² = .00554145 F(2,83)=1.2368 p<.29560 Std Error of estimate: .01017					
N=86	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(83)	p-level
Intercpt			-.205188	.222550	-.92198	.359209
EFICA3AE	-.116420	.109101	-.010109	.009473	-1.06708	.289030
GRUPO	.109749	.109101	.002226	.002213	1.00593	.317371

Gráfica 3.28. Análisis de regresión que relaciona el juego de Agujeros en equilibrio y la condición experimental como predictor de la eficacia y la eficiencia en el juego de Agujeros al azar en etapa de descubrimiento

Al llegar a resolver el juego de Agujeros en Equilibrio en etapa de consolidación, se encuentra, por las observaciones que se tienen de la media y varianza, que los sujetos que usaron el simulador tienden a ser más eficaces que los que no lo usaron, pero las diferencias no son significativas. Es decir, que el impacto de los simuladores es real y tiende a generar mayor consolidación, comparativamente, con quien no lo usa. Si se observa la Gráfica 3.27 la tasa de aprendizaje entre la primera y segunda solución del juego es significativamente superior para el grupo que usa simuladores, lo cual da fuerza a la conclusión; más aún, es tan fuerte

este factor que si se compara su efecto en la eficacia con el de evolución de la curva de aprendizaje, resulta superior.

Es importante que este juego sirva de entrenamiento para el uso del simulador, lo cual requiere de tiempo y comprensión.

- **En el juego de Agujeros al Azar**

Los datos muestran que una mayor eficacia en la tercera solución del juego de Agujeros en Equilibrio se relaciona significativamente con una menor eficacia y eficiencia en la etapa de descubrimiento del juego de Agujeros al Azar (Gráfica 3.28). Por tanto, se puede inferir que los sujetos tuvieron que invertir un esfuerzo sustancial corrigiendo la estrategia de acercamiento por zonas – que no opera en el nuevo juego - a la de manejo de distancias, y lo hicieron sin el simulador.

Cuando los sujetos del grupo B usan el simulador, ya tienen la experiencia de una solución basada en la estrategia de manejo de distancias, de tal manera que su efecto es el de consolidar esta estrategia y debilitar la de solución por zonas de equilibrio. La Gráfica 3.2, muestra un efecto del uso del simulador sobre la eficacia muy cercano al nivel de significación, se puede interpretar como una influencia positiva del simulador para consolidar una estrategia de solución efectiva. El hecho de que no haya diferencias en el efecto sobre la eficiencia muestra que los sujetos están en una etapa en que se preocupan más por la respuesta correcta que por el tiempo invertido en la solución, es decir, que el dominio de la estrategia no es completo.

En conclusión podemos afirmar que los simuladores usados de manera individual requieren un tiempo para su manejo, que fortalecen el uso de una estrategia efectiva y que, en primera instancia, afectan la forma de respuesta, no la velocidad de la misma.

3.7.2 EFECTO DE LOS SIMULADORES USADOS DE MANERA COLABORATIVA FRENTE A CONDICIONES DE NO USO

• Juego de Líneas en Equilibrio

Regression Summary for Dependent Variable: EFICA1LE						
MULTIPLE REGRESS.	R= .63121059	R ² = .39842681	Adjusted R ² = .38393107	F(2, 83)=27.486 p<.00000 Std Error of estimate: .07296		
N=86	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(83)	p-level
Intercept			-11.5673	1.587462	-7.28669	.000000
GRUPO	.625307	.085403	.1156	.015785	7.32184	.000000
EFICI2AA	.148923	.085403	.9288	.532615	1.74376	.084903

Regression Summary for Dependent Variable: EFIC1LE						
MULTIPLE REGRESS.	R= .50442800	R ² = .25444761	Adjusted R ² = .23648249	F(2, 83)=14.163 p<.00001 Std Error of estimate: .00073		
N=86	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(83)	p-level
Intercept			-.080355	.015780	-5.09236	.000002
GRUPO	.491656	.095075	.000811	.000157	5.17122	.000002
EFICI2AA	.158296	.095075	.008815	.005294	1.66496	.099692

Gráfica 3.29. Modelo que explica la eficacia y la eficiencia en la etapa de descubrimiento del juego de Líneas en equilibrio

Por las Gráficas 3.21, 3.22 y 3.28 se puede inferir que la estrategia de solución efectiva en la etapa 2 del juego de Agujeros al Azar ayudó sustancialmente a la solución del juego de Líneas en Equilibrio, pues los factores Beta en la Gráfica 3.28 son positivos para la relación entre eficacia y eficiencia en Agujeros al Azar en la segunda

solución y eficacia y eficiencia en el juego de Líneas en Equilibrio en la primera solución. Igualmente es importante observar que el factor grupo es un predictor importante para el éxito en la etapa de descubrimiento de Líneas en Equilibrio, es decir, que quienes tuvieron uso del simulador en Agujeros al Azar tuvieron consistentemente más éxito en la etapa de descubrimiento en Líneas en Equilibrio; fenómeno que se puede interpretar en términos de que hay una mayor transferencia de estrategias, en este caso positiva, al juego siguiente, como operó entre el primero y el segundo juego, pero con signo positivo.

Summary of all Effects; design: (datos157.sta)

GENERAL MANOVA		1-GRUPO, 2-CONSOLID				
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.155528	84	.007053	22.05257	.000010
2	1	.006909	1	.121950	.05665	.851239
12	1	.121950	84	.002072	58.85415	.000000

Summary of all Effects; design: (datos157.sta)

GENERAL MANOVA		1-GRUPO, 2-CONSOLID				
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.000008	84	.000001	12.3333	.000719
2	1	.000015	1	.000064	.2359	.712150
12	1	.000064	84	.000001	101.0585	.000000

Gráfica 3.30. Efecto de grupo y de consolidación de aprendizaje entre la primera y segunda etapas en el juego de Líneas en equilibrio tomando arriba eficacia y abajo eficiencia como variables dependientes

La Gráfica 3.30 muestra que entre la etapa de descubrimiento y la segunda solución del juego se operó un cambio en las variables dependientes fuertemente asociado con el uso del simulador, con un menor cambio por efecto de consolidación y una fuerte interacción entre uso de simulador y etapa de consolidación. Esto muestra que el simulador sirve de activador poderoso para el proceso de aprendizaje, acompañado de una transferencia de estrategias fuertes de solución del problema. Esto explica también el fenómeno de que al comparar las dos variables dependientes en la segunda y tercera solución, los resultados estadísticos muestren un fuerte impacto sobre la eficiencia, es decir, sobre la velocidad de respuesta, pero no sobre la eficacia cuyos cambios tienen a estas alturas una tasa similar en ambos grupos.

- **Juego de Líneas al Azar**

Al llegar al juego de Líneas al Azar, haciendo transición del juego de Líneas en Equilibrio, el fenómeno tiene rasgos similares a los presentados en la transición de Agujeros al Azar a Líneas en Equilibrio.

La Gráfica 3.31., muestra que la tasa de aprendizaje tanto en eficacia como en eficiencia estuvo fuertemente asociada con el uso del simulador, al igual que en el juego anterior y que la interpretación es similar: los simuladores de procesos son fuertes activadores del proceso de transferencia de estrategias y de construcción de estrategias complementarias cuando se opera con juegos entre los cuales hay estrategias comunes. La fuerte interacción con el factor consolidación es una prueba más del poder de estos instrumentos como catalizadores del aprendizaje en esta clase de escenarios.

Si se toma una visión de conjunto y se compara el uso individual y colaborativo de los simuladores a la luz de los datos interpretados hasta aquí, se podría formular la hipótesis de que los simuladores utilizados de manera colaborativa tienen mayor potencia. Sin embargo, la lógica del diseño no es suficiente para dar por probada esta hipótesis.

Summary of all Effects; design: [datos157.sta]

Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.073912	84	.007920	9.332176	.003017
2	1	.081171	1	.027846	2.914989	.337310
12	1	.027846	84	.007041	3.954857	.049992

Summary of all Effects; design: [datos157.sta]

Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.000020	84	.000000	45.48873	.000000
2	1	.000034	1	.000045	.74587	.546499
12	1	.000045	84	.000000	98.50031	.000000

Gráfica 3.31. Análisis de varianza de medidas repetidas para las variables dependiente eficacia -arriba- y eficacia -abajo- en el juego de Líneas al azar comparando etapa de descubrimiento con la segunda solución del juego.

3.7.3 EFECTO DE LOS SIMULADORES USADOS EN CONDICIÓN COLABORATIVA FRENTE A UNA CONDICIÓN INDIVIDUAL

La tercera fase de esta investigación compara la condición individual con la condición colaborativa. Los análisis estadísticos, en oposición a lo encontrado hasta el momento, no traen indicios de transferencia de estrategias del juego de Líneas al Azar al juego de Posición y Dirección. Los estudios anteriores (Maldonado y otros; 2000), muestran estos dos juegos como de clase diferente, lo cual genera una alternativa interesante por la comparación de la condición individual frente a la colaborativa, pues los sujetos tienen que entrar a

construir nuevas estrategias luchando con las que han construido hasta el momento, que por los indicadores tienen una gran fuerza de consolidación y en consecuencia requieren gran cantidad de energía de los sujetos para su reemplazo. Es de esperarse, que los sujetos gasten mucho esfuerzo probando las estrategias que traen, para luego dar inicio a la construcción de nuevas estrategias (Maldonado y otros. 1999).

Las diferencias en estas condiciones no son significativas a ningún nivel, lo cual da pie para afirmar que ambas condiciones son igualmente efectivas. La Gráfica 3.32 muestra que, a diferencia de los otros juegos, en el juego de Posición y Dirección, el factor que más influye en las diferencias de aprendizaje es la etapa de consolidación, no la condición individual o colaborativa.

Summary of all Effects, design: (datos157.sta)						
GENERAL MANOVA	1-GRUPO, 2-CONSOLID					
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.000001	58	.000294	.00	.953759
2	1	.002166	1	.000000	28847.13	.003748
12	1	.000000	58	.000051	.00	.969439

Summary of all Effects, design: (datos157.sta)						
GENERAL MANOVA	1-GRUPO, 2-CONSOLID					
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.000036	84	.000029	1.24130	.268399
2	1	.000012	1	.000000	25.00000	.125666
12	1	.000000	84	.000004	.11592	.734353

Gráfica 3.32. Análisis de varianza de medidas repetidas para el juego de posición y dirección comparando eficacia -arriba- y eficiencia -abajo- en la etapa de descubrimiento y segunda solución

El juego de Fichas Deslizables repite los resultados del juego de Posición y Dirección dando fuerza a la conclusión, de que en este estudio las condiciones individual y colaborativa no establecen diferencias de impacto en el uso de los simuladores de procesos en juegos de descubrimiento, en el dominio de razonamiento espacial.

Summary of all Effects; design: (datos157.sta)

GENERAL MANOVA		1-GRUPO, 2-CONSOLID				
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.026180	84	.037827	.692094	.407812
2	1	.052535	1	.015599	3.367830	.317627
12	1	.015599	84	.005002	3.118572	.081038

Summary of all Effects; design: (datos157.sta)

GENERAL MANOVA		1-GRUPO, 2-CONSOLID				
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.013678	84	.029427	.4648	.497250
2	1	.165217	1	.000411	402.3802	.031710
12	1	.000411	84	.010899	.0377	.846571

Gráfica 3.33. Análisis de varianza de medidas repetidas para el juego de fichas deslizables tomando como variables dependientes la eficacia -arriba- y la eficiencia -abajo- en etapa de descubrimiento y segunda solución del juego

4. ANÁLISIS DE LOS PROTOCOLOS AUTOMATIZADOS

El objetivo de este análisis es comprender la relación que puede existir entre el estudio de la simulación de la primera solución de un juego, en condición individual o colaborativa, y el proceso de solución del mismo en las dos siguientes.

Los datos registrados por el computador durante la segunda y tercera solución de cada juego corresponden a la información de dos jugadores de cada condición experimental (A o B) seleccionados al azar. Los investigadores utilizaron el simulador para repetir paso a paso los procesos seguidos.

El efecto del estudio del simulador se evalúa sobre el desempeño de los sujetos en la etapa 2 o segunda solución del juego.

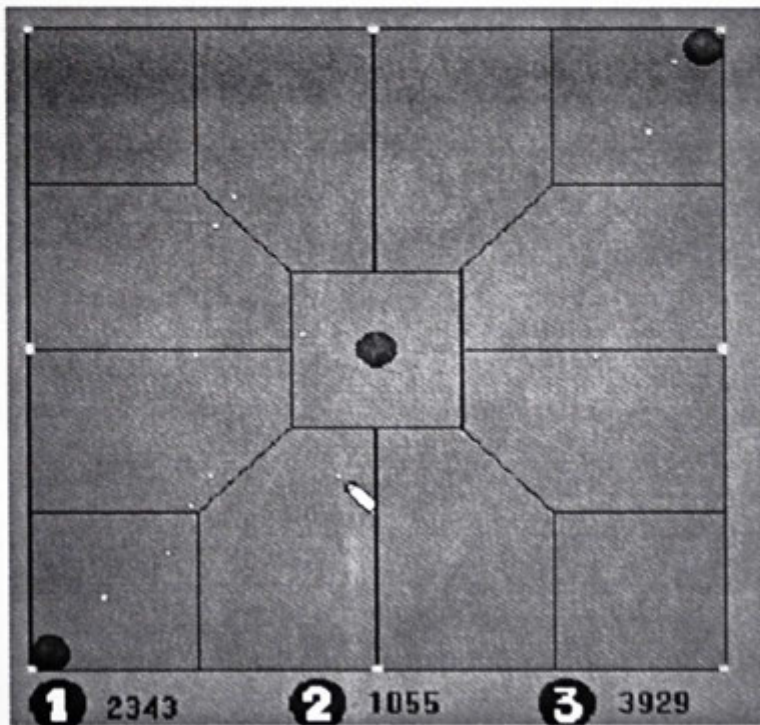
El análisis de la solución 3 permite identificar la persistencia de estrategias usadas en el juego 2, fenómeno al que denominamos consolidación.

4.1 AGUJEROS EN EQUILIBRIO

Los dos sujetos de la condición A juegan una vez, luego usan el simulador para analizar el proceso seguido en la solución en etapa de descubrimiento y valorar las estrategias empleadas. Los sujetos de la condición B no utilizan el simulador para analizar su etapa de descubrimiento; simplemente resuelven el juego consecutivamente tres veces.

Los sujetos de la condición A que observaron la simulación llegaron más temprano a la consolidación de estrategias. En investigaciones anteriores Maldonado y otros (1999) y (2001), encontraron que para resolver este juego los sujetos desarrollaban cuatro tipos básicos de estrategias:

- E1. Acercarse a un punto mediante el manejo de la distancia y la dirección
- E2. Partir el área mediante una diagonal
- E3: Explorar los vértices y el centro
- E4. Dividir el área en cuadrantes
- E5: Tomar un punto al azar y girar alrededor de el.
- E6: Explorar el área de manera aleatoria.



Gráfica 4.1. Problema 2 del sujeto 1 de la condición A en el Juego de Agujeros en equilibrio. El sujeto inicia, probando zonas de equilibrio y luego, se guía de manera consistente por los datos de distancia.

<i>Evento</i>	<i>Zona</i>	<i>Distancia a A1</i>	<i>Distancia a A2</i>	<i>Distancia a A3</i>	<i>Decisión</i>
1	V	2820	131	3316	
2	7	2290	1051	3960	ZI
3	1	3412	1225	3181	ZI ED
4	4	4241	1602	2423	ZI ED
5	8	3171	1162	3376	ZR ZI
6	8	3171	1162	3376	ZR ZI
7	8	3171	1162	3376	zr ZI
8	7	1656	1413	4466	zr ZI
9	7	1415	1660	4711	ZR ZI
10	IV	1091	2022	5066	zr ED
11	IV	120	2532	5582	ZR ED
12	II	5462	2412	754	ZR ED
13	II	5452	2403	769	ZR ED
14	II	5452	2403	769	zr ED
15	II	5454	2406	779	ZR ED
16	II	5920	2857	244	ZR ED
17	6	2343	1055	3929	ZI
18				100	

Tabla 4.1. *Datos del sujeto 1 de la condición A para el problema 3 del juego de Agujeros en equilibrio que corresponden a la grafica 4.1*

La simulación muestra que para resolver el juego en la segunda etapa todos los sujetos desarrollaron la estrategia E1 y que la siguen utilizando en el tercer juego de forma consistente. La reducción de eventos entre estas dos etapas es cercana a la tercera parte. Los datos de la Tabla No 4.1 y la Gráfica 4.1, ilustran la estrategia usada.

Los sujetos de la condición A, que jugaron una primera vez y luego observaron la simulación de su propio juego en la etapa de descubrimiento, invirtieron menos clics en la segunda etapa que los

de la condición B, que desarrollaron los tres problemas consecutivamente, sin hacer previamente el estudio de la simulación de su juego.

Los dos sujetos de la condición A y el sujeto 1 de la condición B aplican una estrategia fuerte en el segundo juego; en tanto el sujeto 2 de la condición B, cambia la estrategia de manejo de la distancia que utilizó en el primer juego y aplica búsquedas en las zonas de equilibrio sin tomar en cuenta el mensaje de distancia. La tabla No 4.2 compara los totales de eventos en los juegos seguidos por los cuatro sujetos

<i>PROBLEMA</i>	<i>CONDICIÓN A</i>		<i>CONDICIÓN B</i>	
	<i>Sujeto 1</i>	<i>Sujeto 2</i>	<i>Sujeto 1</i>	<i>Sujeto 2</i>
<i>Dos</i>	31	27	84	27
<i>Tres</i>	18	14	19	17
<i>Tasa de Aprendizaje</i>	0.41	0.48	0.77	0.37

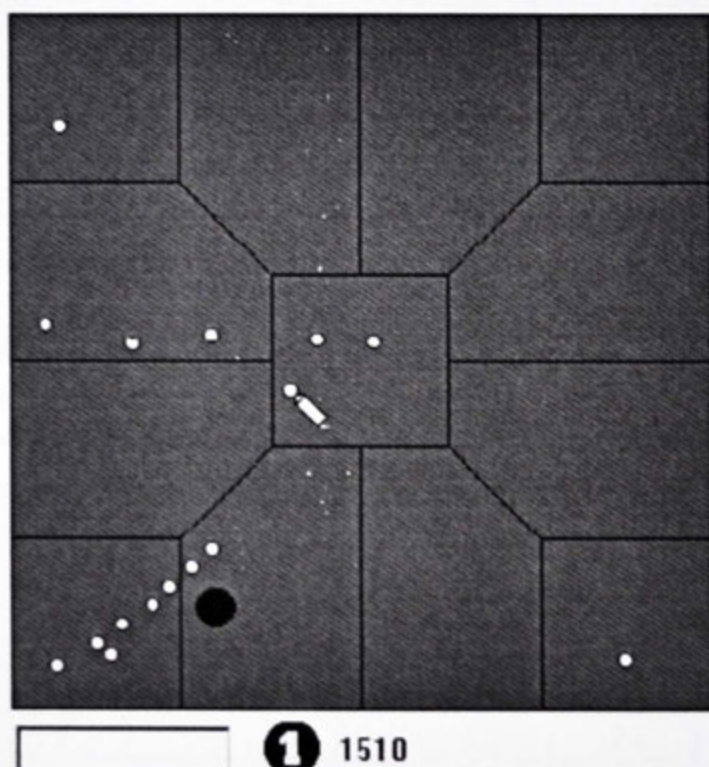
Tabla 4.2. *Número de eventos para los sujetos de las condiciones A y B en el desarrollo de los problemas 2 y 3 del juego de Agujeros en equilibrio y tasa de aprendizaje en el segundo y tercer juego*

El análisis de las cuatro simulaciones muestra muchos eventos en zonas que no son de equilibrio: el 50 % en el caso de los dos sujetos de la condición A. Sólo el sujeto 2 de la condición B realiza todas sus búsquedas en las zonas de equilibrio y hace caso omiso del mensaje de distancias.

En la etapa de consolidación, los sujetos desarrollan una eficacia muy similar, como se muestra en la Tabla 4.2. La eficacia de los sujetos de la condición A es superior a los de la condición B, pero la

diferencia entre los dos grupos es pequeña. El sujeto 1 de la condición B, que tuvo la menor eficacia en la segunda etapa del juego, muestra una tasa mayor de aprendizaje entre la segunda y tercera etapa.

Se calculó la tasa de aprendizaje como la relación entre la diferencia entre los clics en la segunda etapa y los clics en la tercera, dividida por el número de clics en la segunda. No se observan regularidades de la tasa de aprendizaje relacionadas con las condiciones experimentales.



Gráfica 4.2. Simulación de Agujeros al azar

4.2 AGUJEROS AL AZAR

En este juego las condiciones del juego anterior se invierten. Los sujetos de la condición A resuelven tres veces seguidas el problema de encontrar un agujero que se ubica aleatoriamente. Los sujetos de la condición B juegan, luego analizan la simulación de su juego y continúan con la segunda y tercera soluciones.

Después de ver la simulación, no se observan diferencias notorias entre los sujetos de los dos grupos. El sujeto dos de la condición B, que en la segunda solución del problema de Agujeros en equilibrio utilizó la estrategia de búsqueda en las zonas de equilibrio, afianza ahora la estrategia de manejo de la distancia, lo cual repercute en una menor eficacia, en comparación con sus pares que la habían afianzado en el juego anterior (Tabla 4.3).

<i>Evento</i>	<i>Zona</i>	<i>Distancia</i>	<i>Decisión</i>
<i>1</i>	<i>V</i>	<i>2084</i>	<i>ED</i>
<i>2</i>	<i>V</i>	<i>1889</i>	<i>ED</i>
<i>3</i>	<i>8</i>	<i>1746</i>	<i>ED</i>
<i>4</i>	<i>8</i>	<i>1740</i>	<i>ED</i>
<i>5</i>	<i>8</i>	<i>2088</i>	<i>ED</i>
<i>6</i>	<i>I</i>	<i>3299</i>	<i>ED</i>
<i>7</i>	<i>III</i>	<i>2943</i>	<i>ED</i>
<i>8</i>	<i>IV</i>	<i>741</i>	<i>ZR</i>
<i>9</i>	<i>IV</i>	<i>1085</i>	<i>ZR</i>
<i>10</i>	<i>IV</i>	<i>776</i>	<i>ZR</i>
<i>11</i>	<i>IV</i>	<i>568</i>	<i>ZR</i>
<i>12</i>	<i>IV</i>	<i>323</i>	<i>ZR</i>
<i>13</i>	<i>IV</i>	<i>187</i>	
<i>14</i>	<i>6</i>	<i>147</i>	

Tabla 4.3. Juego 2 del problema de Agujeros al azar del sujeto 1 de la condición A

Los sujetos de ambas condiciones convirtieron las estrategias que se desarrollaron en el primer juego en estrategias fuertes. Un ejemplo de la estrategia desarrollada se puede determinar a partir de la observación de los datos de la tabla 4.3 y la secuencia de eventos desarrollados por el sujeto, que se pueden visualizar en la gráfica 4.2: inicia probando zonas de equilibrio – estrategia propia del juego anterior – y luego continua con reducción de distancia

Es de notar que los sujetos de la condición B, logran nivelar el desarrollo de juego con sus pares de la condición A, en los problemas 2 y 3 (Tabla 4.4). En este nivel del proceso, el comportamiento de los cuatro sujetos es muy similar, tanto en valores absolutos como en tasas de aprendizaje. En la tercera solución del problema, los sujetos de ambas condiciones se acercan al nivel de máximo rendimiento; en efecto, utilizan el número mínimo de clics posibles y muestran un nivel mínimo de aprendizaje entre sesiones, comparado con el juego anterior.

Ambos grupos, en esta etapa de su evolución, han utilizado una vez el simulador con juegos entre los cuales hay estrategias comunes de solución. La estrategia consolidada es común a ambos juegos, es decir, en estos casos hubo transferencia completa y los sujetos llegaron a su nivel de máximo rendimiento.

<i>PROBLEMA</i>	<i>CONDICIÓN A</i>		<i>CONDICIÓN B</i>	
	<i>Sujeto 1</i>	<i>Sujeto 2</i>	<i>Sujeto 1</i>	<i>Sujeto 2</i>
<i>Dos</i>	14	7	13	12
<i>Tres</i>	3	9	4	8
<i>Tasa de Aprendizaje</i>	0,78	-0,22	0,69	0,33

Tabla 4.4. Número de eventos para los sujetos de las condiciones A y B en el desarrollo de los problemas 2 y 3 del juego de Agujeros al azar

4.3 LÍNEAS EN EQUILIBRIO

El problema consiste en hallar una línea que se encuentra en equilibrio. El programa habilita una de las cuatro posibles Líneas que se encuentran en equilibrio en el espacio delimitado por un cuadrado.

El programa proporciona al usuario información sobre:

- .. La tendencia con la que construyó la línea. Las tendencias de las Líneas son: vertical, horizontal, diagonal izquierda derecha y diagonal derecha izquierda.
- Igualmente, el programa informa al usuario si la tendencia de la línea construida corresponde a la tendencia de la línea oculta.
- .. La distancia de los dos clics con los que construyó la línea, con respecto a la que debe encontrar.

En el desarrollo de la experimentación, los sujetos de la condición A resolvieron una vez el problema de Líneas en equilibrio, luego analizaron la simulación de su propio juego y la de otro sujeto de la misma condición. El trabajo colaborativo tuvo como finalidad la observación y análisis de los juegos que habían realizado ambos sujetos. A continuación, cada sujeto resolvió dos veces más el problema de Líneas en equilibrio de manera individual. Los sujetos de la condición B resolvieron tres veces el problema de hallar una línea en equilibrio y no analizaron simulaciones. Evaluamos la incidencia de los simuladores estudiados de manera colaborativa, en la solución del problema.

Los resultados muestran que los sujetos de la condición A usaron la estrategia de dirección y distancia. El número de eventos que requieren para resolver el problema es mucho menor que el de los

sujetos de la condición B (Ver tabla 4.5). Los sujetos de la condición A manejan la información sobre la tendencia, lo que ayuda a reducir el número de eventos requeridos para encontrar la solución del problema, en contraste con los sujetos de la condición B que no la interpretan. El trabajo colaborativo con el simulador contribuyó a afianzar una estrategia fuerte para resolver el problema de hallar una línea en equilibrio.

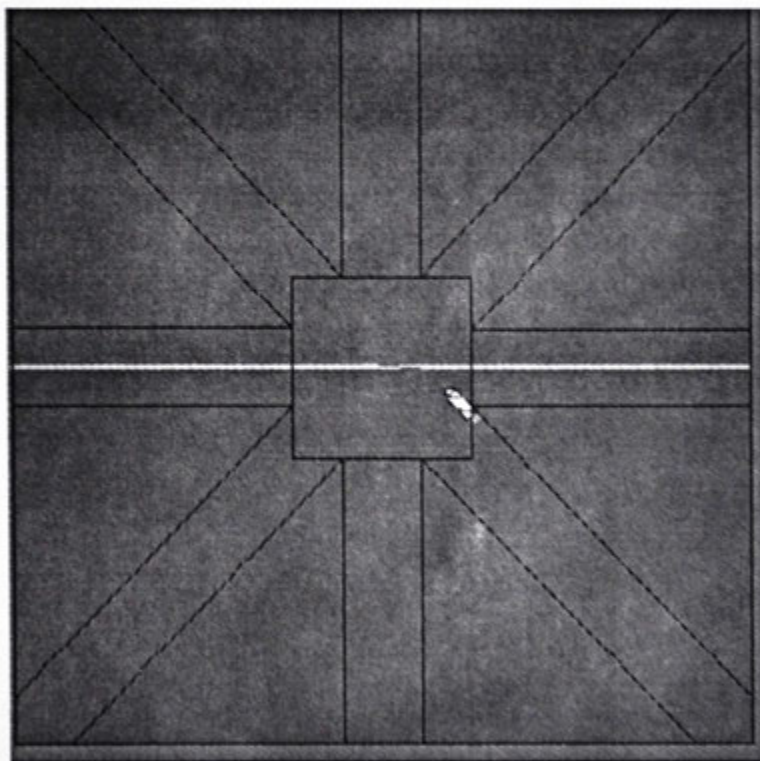
Los sujetos de la condición A intercambiaron interpretaciones de las estrategias usadas y compararon dos procesos diferentes que terminaron con la solución del problema. Los datos (Tabla No 4.5) permiten atribuir a esta experiencia un efecto muy notorio. La aseveración es relevante teniendo en cuenta que en los dos juegos anteriores los sujetos mostraron una eficacia muy similar.

Los sujetos de la condición B no contaron con el apoyo del simulador. Lo que muestran las simulaciones de sus juegos, es que consolidan una estrategia fuerte en una etapa más tardía, que se refleja en el número de eventos utilizado para resolver el problema, como se puede ver en los datos de la tabla No.4.5.

<i>PROBLEMA</i>	<i>CONDICIÓN A</i>		<i>CONDICIÓN B</i>	
	<i>Sujeto 1</i>	<i>Sujeto 2</i>	<i>Sujeto 1</i>	<i>Sujeto 2</i>
<i>Dos</i>	12	9	28	20
<i>Tres</i>	9	4	4	48
<i>Tasa de Aprendizaje</i>	0.25	0.55	0,85	-1,4

Tabla 4.5. *Número de eventos para los sujetos de las condiciones A y B en el desarrollo de los problemas 2 y 3 del juego de líneas en equilibrio*

El manejo de dirección y distancia es la estrategia que manejan los cuatro sujetos, como se puede observar en las respectivas simulaciones. Pero, a diferencia de los sujetos de la condición A, los de la condición B la mantienen sin realizar modificación alguna. Los de la condición A hacen variantes: el segundo sujeto de la condición A, primero ubica la tendencia adecuada y luego reduce la distancia hasta encontrar la solución, como se puede observar en la gráfica No.4.3. La colaboración parece tener influencia en el cambio y variedad de la estrategia utilizada.



Gráfica 4.3. *Juego 2 del sujeto 2 de la condición A de Líneas en equilibrio. Jugada óptima*

Mientras los dos sujetos de la condición A mantienen un progreso sostenido, el sujeto 2 de la condición B, muestra incremento de intentos fallidos entre la segunda y la tercera etapa.

Los sujetos de la condición A manejaron mejor el concepto de equilibrio, ubicaron las búsquedas en las zonas de equilibrio y desde la segunda etapa mostraron niveles de rendimiento muy altos.

Los sujetos de la condición B no lograron afianzar el concepto de línea en equilibrio antes del segundo juego y, por tal razón, la cantidad de eventos empleados para resolver el problema fue superior en esta etapa a la de los sujetos de la condición A. Un ejemplo de juego realizado por un sujeto de la condición B se puede observar en la Gráfica 4.4 en la cual se nota que el jugador no tiene presente la información que le brinda el sistema y sigue realizando búsquedas que no lo conducen a la solución del problema.

4.4 LÍNEAS AL AZAR

Los sujetos de la condición A no usaron el simulador y requirieron un número superior de intentos para encontrar la solución, en contraste con los dos sujetos de la condición B, quienes estudiaron la simulación de su primer juego en forma colaborativa. Los sujetos de la condición B manejaron el criterio de distancia y, uno de ellos, el de diferencia de ángulos, lo cual les permitió ser más efectivos que sus compañeros de la condición A

Los sujetos de la condición A no lograron construir una estrategia fuerte en la segunda etapa del juego. Lo hicieron en la tercera, pero no lograron alcanzar el nivel de la condición B.

Los sujetos de la condición A necesitaron más de 54 eventos para hallar la línea solución en cada uno de los juegos observados, en tanto que, los sujetos de la condición B que, habían utilizado los simuladores, requirieron menos de 22.

Un ejemplo es el juego realizado por el sujeto 1 de la condición A, quien requirió un gran número de eventos, como se observa en la gráfica No. 4.5

Un ejemplo del juego seguido por los sujetos de la condición B se puede ser observado en la gráfica No. 4.6.

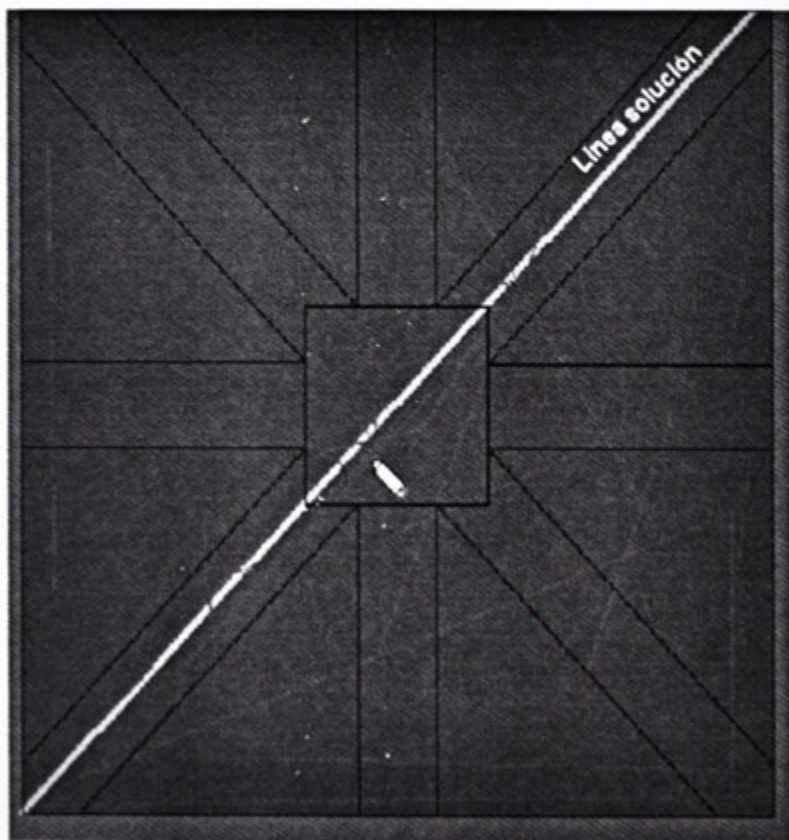
<i>Evento</i>	<i>Distancia click1</i>	<i>Distancia click2</i>	<i>Tendencia</i>	<i>Zona click1</i>	<i>Zona click2</i>	<i>Decisión</i>
1	127,5	352,5	<i>Horizontal</i>	e0	d3	tr ZI TI
2	562,5	562,5	<i>Horizontal</i>	d3	e6	TR ZI TI
3	307,5	307,5	<i>Horizontal</i>	e0	d3	TR tr ZI TI
4	167,5	52,5	<i>Horizontal</i>	e0	e3	tr
5	97,5	187,5	<i>Horizontal</i>	e3	e0	π TR tr
6	202,5	232,5	<i>Horizontal</i>	e3	e0	ZR TR
7	322,5	217,5	<i>Diag.izq.</i>	d3	e3	ZI TI
8	202,5	127,5	<i>Horizontal</i>	e3	e0	
9	0	0	<i>Acierto</i>	e3	e0	

Tabla 4.6. *Problema 2 del sujeto 2 de la condición A en el juego de Líneas en equilibrio.*

En etapa de consolidación, las diferencias de resultados entre los dos grupos son todavía notorias. Este juego puede resolverse con estrategias que son comunes al juego de Líneas en Equilibrio. Hay indicios de que el estudio colaborativo del simulador facilita la generalización o la construcción de nuevas estrategias. A diferencia del impacto obtenido por los simuladores estudiados en forma individual en los juegos de Agujeros en Equilibrio y Agujeros al Azar, en

los que los grupos igualaron su rendimiento en etapa de consolidación, el efecto combinado del simulador con la condición colaborativa es más notorio en la segunda etapa y persiste en la etapa de consolidación. Es importante anotar también que la complejidad de los juegos de Líneas es mayor que la de los Juegos de Agujeros.

El grupo A muestra una tasa de mayor aprendizaje, lo cual hace pensar que el estudio de la simulación en forma colaborativa tiene mayor efecto facilitador que su estudio en forma individual.



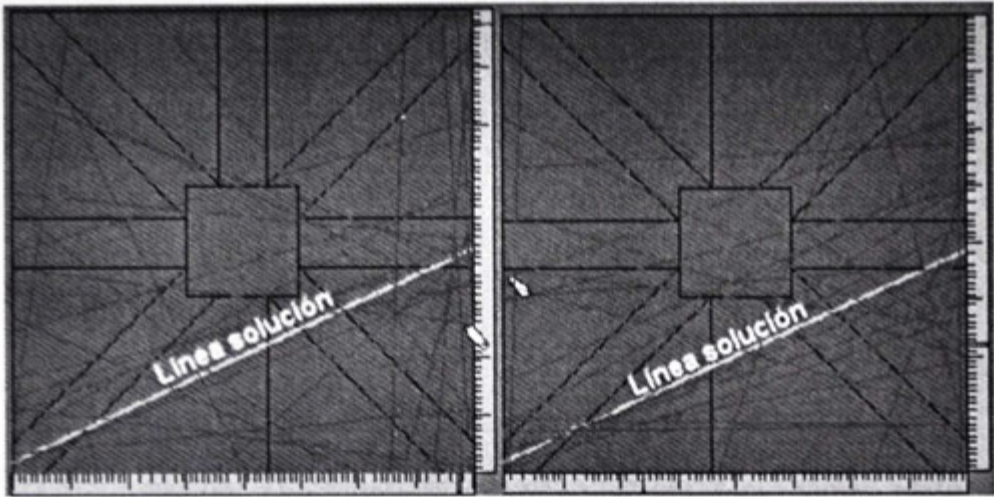
Gráfica 4.4. *Juego 3 del sujeto 2 de la condición B de Líneas en equilibrio. La línea azul es la solución y las rojas intentos fallidos.*

4.5. COMPARACIÓN ENTRE LOS JUEGOS DE LÍNEAS EN EQUILIBRIO Y LÍNEAS AL AZAR

Al invertir las condiciones en este experimento, los resultados también se invirtieron, lo cual es argumento para atribuir a los simuladores estudiados en forma colaborativa, un efecto fuerte en los procesos de aprendizaje en juegos de descubrimiento. Estos resultados hacen pensar que la condición colaborativa del uso de los simuladores, afecta la dimensión metacognitiva del aprendizaje, representada, en este caso, por la valoración de estrategias de solución de problemas. El estudio del simulador en forma colaborativa hace que la curva de aprendizaje evolucione más rápido: los sujetos que no estudian simuladores desarrollan estrategias fuertes en la tercera etapa, mientras que los que los usan lo hacen en la segunda.

<i>PROBLEMA</i>	<i>CONDICIÓN A</i>		<i>CONDICIÓN B</i>	
	<i>Sujeto 1</i>	<i>Sujeto 2</i>	<i>Sujeto 1</i>	<i>Sujeto 2</i>
<i>Dos</i>	54	78	8	22
<i>Tres</i>	34	32	18	14
<i>Tasa de Aprendizaje</i>	0,37	0,58	-1,25	0,36

Tabla 4.7. Número de eventos para los sujetos de las condiciones A y B en el desarrollo de los problemas 2 y 3 del juego de Líneas al azar.

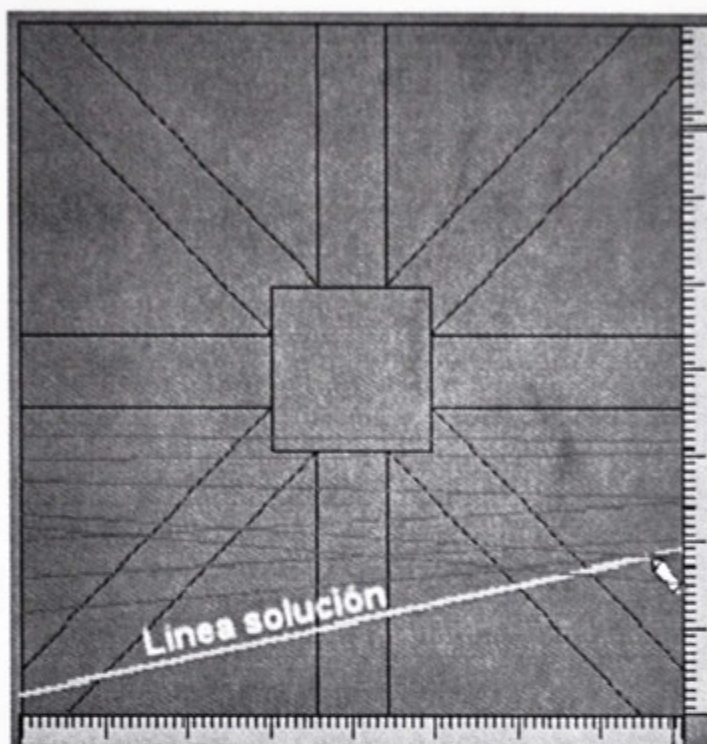


Gráfica 4.5. Juegos 2a y 2b del sujeto 1 de la condición A en el juego de Líneas al azar. La línea azul es la solución y las rojas, intentos fallidos.

4.6 POSICIÓN Y DIRECCIÓN

Este juego presenta un cambio en la clase de información que se ofrece al usuario. Puede ser resuelto con base en la información gráfica que proporciona el sistema. En los juegos anteriores la retroalimentación está constituida por información numérica o por expresiones verbales. Sin embargo, el sistema da información numérica sobre la posición horizontal y vertical de cada evento que el jugador realiza, con respecto a una coordenada 0,0, que se encuentra en el extremo superior izquierdo del espacio de juego.

En el desarrollo de este juego, los sujetos de la condición A jugaron y estudiaron la simulación del juego en colaboración con un compañero, al igual que en los dos juegos anteriores. Los sujetos de la condición B jugaron e hicieron la simulación del juego individualmente, de la misma forma que en los juegos de Agujeros. Por lo tanto todos resolvieron dos veces más, el mismo juego.



Gráfica 4.6. *Juegos 2 del sujeto 1 de la condición B del juego de líneas al azar. La línea azul es la solución, las rojas intentos fallidos*

Al desarrollar los problemas 2 y 3, los sujetos de la condición A emplearon menos eventos que los sujetos de la condición B, lo cual permite afirmar que afianzaron una estrategia fuerte que les permitió resolver el problema de manera más eficaz. (Tabla 4.8). Sin embargo, las tasas de cambio o de aprendizaje no muestran regularidades. El sujeto 2 de la condición A presenta una tasa negativa entre la segunda y la tercera etapa, lo cual indica que hubo fluctuaciones en su rendimiento. Los otros tres sujetos tienen tasas altas de cambio, lo cual significa que existe una evolución notoria y el aprendizaje aún sigue evolucionando.

En trabajos anteriores, se encontró que los sujetos tienden a aplicar estrategias utilizadas en experiencias anteriores y que cuando estas son incorrectas continúan usándolas por períodos relativamente largos (Maldonado y Andrade, 2001). El análisis de su propio proceso

y la contrastación con el de otra persona puede generar la consolidación de formas de búsqueda productivas y debilitamiento de las no productivas. Esta idea es compatible con los resultados de la investigación desarrollada por Fonseca (1999), quien encontró que los sujetos que trabajaban colaborativamente cometían menos errores al construir un mapa conceptual que aquellos sujetos que lo construían individualmente y que los sujetos que trabajaron colaborativamente eran más exitosos en una evaluación de retención de conceptos que aquellos que habían trabajado individualmente.

<i>PROBLEMA</i>	<i>CONDICIÓN A</i>		<i>CONDICIÓN B</i>	
	<i>Sujeto 1</i>	<i>Sujeto 2</i>	<i>Sujeto 1</i>	<i>Sujeto 2</i>
<i>Dos</i>	41	32	88	320
<i>Tres</i>	68	8	10	169
<i>Tasa de Aprendizaje</i>	-0,68	0,75	0,88	0,47

Tabla 4.8. *Número de eventos de los sujetos de la condición A y B en el juego de posición y dirección.*

Los resultados de la investigación desarrollada por Maldonado y otros. (2001) muestran que los cuatro primeros juegos corresponden a un sistema, no así el de posición que corresponde a otro. Los cuatro sujetos tenían una experiencia consolidada de manejo del simulador; pero, al enfrentar este juego, las estrategias aplicadas anteriormente no generaron resultados positivos y se vieron forzados a estructurar otro esquema para interpretar el nuevo problema. La información ya no correspondía a distancia con respecto a la solución, sino a la posición y, al no ser interpretada como tal por los sujetos, les implicaba un desempeño en el que se empleaban demasiados eventos infructuosos. En estas circunstancias, la

contrastación de las estrategias de búsqueda usadas por dos sujetos redundó en mayor eficacia, en tanto que la sola revisión del trabajo individual no logró igualar estos resultados.

Los sujetos de la condición A consolidaron antes el concepto de observador en el espacio bidimensional y por tal razón requirieron un menor número de eventos para resolver el problema.

Los sujetos de la condición B, en especial el segundo, interpretaron la información de las ventanas 2 y 3 por separado. Intentaron encontrar la solución con una sola figura semejante a una de las dos ventanas, sin integrar las dos figuras con la posición del observador en un sistema único en la ventana 1

4.7 FICHAS DESLIZABLES

Comparando los juegos desarrollados por los sujetos de la condición A y los de la condición B, se observa que los de la condición A desarrollaron un juego mucho más eficaz –invertieron menos eventos- que los de la condición B. Si bien el nivel de eficacia es mayor en el grupo A, la tasa de aprendizaje no se muestra muy superior en el grupo B. Más aún, el sujeto 1 de la condición A combina tasa alta de eficacia con tasa alta de aprendizaje. La curva de aprendizaje, con excepción del sujeto 2 de la condición A, no logró estabilizarse en las tres etapas observadas. Estos datos muestran que el juego presentó mayor dificultad que los anteriores.

Los resultados obtenidos con el juego de Posición y Dirección hacían esperar un mayor rendimiento para el grupo que estudió los simuladores de manera colaborativa, es decir que los sujetos de la condición B en el desarrollo de los problemas 2 y 3 de este juego, hubieran requerido menos movimientos que los de la condición A. Al parecer, la experiencia previa de los sujetos de la Condición A tuvo más efecto que la condición colaborativa en ese juego. Los resultados de Maldonado y otros. (2001) muestran transferencia de

estrategias entre los juegos de Posición y Dirección y Fichas Deslizables cuando se resuelven en esta secuencia. Esto hace pensar que los sujetos del grupo A que venían del juego anterior con mayor rendimiento tuvieron mejores aprendizajes precurrentes para resolver el juego y que los del grupo B no tuvieron estrategias eficaces para compartir y así la colaboración en un juego complejo como este, no repercutió en mayor eficacia en la solución del problema.

4.8 CONCLUSIÓN

El análisis cualitativo de la secuencia de experimentos presentados aquí con cuatro sujetos, da pie para hacer las siguientes afirmaciones:

1. En algunos sujetos, el estudio de la simulación del juego de descubrimiento tiene un efecto observable sobre la eficacia en la siguiente solución del mismo juego. Para otros, este efecto, es equivalente a jugar por segunda vez. Para una mejor comprensión, esta observación puede ser contrastada con el análisis estadístico. De ser así, la simulación jugaría un papel orientado a eliminar pasos en la aplicación de la estrategia exitosa en la etapa de descubrimiento, antes que llevar a descubrir estrategias más eficaces. La potencial ventaja estaría asociada con la ayuda a la memoria de largo plazo que hace posible volver a visualizar sus jugadas previas. Es importante anotar también, que el uso del simulador implica aprendizaje y que en los dos primeros juegos los sujetos aprendieron a usarlo, al tiempo que analizaban las simulaciones a nivel individual.
2. Los resultados permiten atribuir un efecto muy fuerte al estudio de la simulación de la primera solución sobre el desempeño en la segunda. Los sujetos, ya entrenados en el uso del simulador, contrastan dos procesos. Esta comparación de su

propio proceso de solución con el de otro, genera un cambio positivo en términos de eficacia que es más fuerte que la sola solución del juego por segunda vez. Aparecen algunas similitudes entre analizar colaborativamente el primer juego y jugar por segunda vez.

3. Los protocolos muestran la simulación como un mecanismo que fortalece la transferencia de estrategias entre juegos. Este fenómeno puede explicar los resultados obtenidos al comparar el juego de Posición y Dirección con el de Fichas deslizables.
4. Los datos hacen pensar que la colaboración en el caso del juego de Fichas Deslizables, fue menos productiva que en los otros juegos, por cuanto los sujetos del grupo B tuvieron menos estrategias eficaces para compartir, que en los otros juegos. Lo cual hace pensar que en solución de problemas la colaboración actúa en la medida en que los miembros tengan estrategias válidas para compartir.

CONCLUSIONES

La investigación pone de relieve la trascendencia del estudio de procesos de solución de problemas, utilizando dispositivos digitales que permitan su reproducción y análisis. Los avances en la teoría de agentes inteligentes artificiales abren la perspectiva de que los datos, que en muchos casos desbordan la capacidad normal de procesamiento del ser humano, se conviertan en fuentes para hacer generalizaciones y, en consecuencia, construir conocimiento pedagógico.

A continuación resumimos lo que, a nuestra manera de ver, constituye el conjunto de aprendizajes más importantes de la presente investigación, cuyos objetivos se centraron en analizar el potencial del uso de simuladores de procesos para habilitar la construcción de estrategias específicas de solución de problemas en escenarios de descubrimiento, potenciar la generalización de las mismas entre juegos diferentes, identificar la evolución de la variedad de estrategias y contrastar las condiciones de uso individual y colaborativo de los simuladores.

1. El estudio muestra un impacto fuerte del uso de simuladores de procesos sobre la eficacia, cuando el estudiante inicia la construcción de estrategias, ayudando así a identificar errores y aciertos y validar sus hipótesis. El hecho de ver reflejado su comportamiento en un dispositivo, objetiva sus procesos de

aprendizaje y lo estimula a construir conocimiento sobre su propio proceso cognitivo, es decir, a desarrollar metacognición. El resultado se concreta en estrategias de solución de problemas ya validadas o para validar. Este proceso de construcción va acompañado de la aparición de elementos estimulantes valiosos, que se reflejan en retos personales que, como ocurre con el software desarrollado, son reforzados por los activadores de juicios de metamemoria, ya investigados en un trabajo anterior (Maldonado y otros, 1999).

2. El efecto de los simuladores es sensible a la historia previa de los sujetos, con lo cual se constituyen en impulsores de la generalización de estrategias. Si en experiencias previas ha resuelto problemas cuyas estrategias son comunes o componentes de las estrategias del nuevo juego que enfrenta un sujeto, el efecto se ve reflejado, en primera instancia, en la eficacia y rápidamente en la eficiencia de la solución. La caracterización de los juegos es un punto importante en el análisis de la dinámica de solución de problemas, y puede constituir un componente fundamental para la asesoría pedagógica provista de un agente artificial, que sirva como asesor, o bien, para los profesores mismos cuando monitorean o asesoran procesos.
3. El segundo efecto relevante de los simuladores de procesos, es suscitar la generalización de estrategias cuando existen estrategias diferentes entre los juegos, lo cual hace que, en estos casos los sujetos gasten un tiempo sustancial refutando la estrategia antigua para construir la nueva. Pirolli y Recker (1994) formulan la teoría de que los sujetos, cuando enfrentan un problema nuevo, primero prueban estrategias antiguas; luego, prueban ideas nuevas hasta construir una estrategia válida. Los resultados de este trabajo con esta interpretación son consistentes.

4. Los resultados hallados en el análisis de protocolos, muestran que en juegos muy complejos el uso del simulador no resulta y su dominio parece requerir una inversión sustancial de esfuerzo. Esto hace pensar que se requiere de ayuda especial, lo cual puede constituir una buena oportunidad para invitar al desarrollo de niveles más avanzados del agente simulador y de su interfaz, así como para incorporar la orientación y asesoría de un profesor.
5. La condición de uso individual o colaborativo entre pares, es más débil que el impacto del simulador en sí. Esto no lleva a suponer que no es suficiente enfrentar, sino que sería preciso mejorar la metodología de uso del mismo. Es muy razonable que sea más efectiva la colaboración, si se mejora la asistencia al estudiante. Esta ayuda puede venir del mismo sistema al mejorar su capacidad analítica y de asesoría así como el interfaz o de un experto humano, capaz de interactuar en el razonamiento pedagógico, como sería el caso de un profesor.
6. La condición colaborativa parece ser más motivante para el estudiante. El contenido de las negociaciones de saber al parecer, establecen condiciones motivacionales para que los estudiantes lleguen a ser más eficientes y, posiblemente conduzcan implícitamente a la generación de retos por contraste.
7. El simulador es, además, un excelente instrumento para caracterizar los procesos de aprendizaje. En manos de un profesor que desee caracterizar el trabajo de sus estudiantes, puede ser una ayuda poderosa.
8. El análisis de protocolos muestra de manera consistente que a medida en que se avanza en la solución de los problemas, la variedad de estrategias se reduce, dando lugar a mejores resultados de eficacia y eficiencia, hecho que es consistente con estudios previos (Maldonado y otros 2000).

9. En esta investigación se llevó a cabo un trabajo muy sistemático, a partir de juegos estudiados previamente. Por tanto, es aconsejable extender su aplicación a otras clases de problemas. En tal perspectiva, se desarrollaron dos programas como nuevos prototipos: uno sobre aplicaciones de la geometría generativa al diseño y otro sobre historia de los objetos. Una etapa siguiente, es aplicar los procesos de simulación a la solución de problemas de comprensión de texto, en una narrativa estructural.

BIBLIOGRAFIA

- Asimov, Isaac (1990). Cronología de los descubrimientos. Editorial Ariel. Barcelona
- Becker, Beril (1963). Los Grandes Inventos de la humanidad. Editores Eduardo Plata y Janes. Buenos aires.
- Besson, Jean Louis (1986). El libro de los descubrimientos y los inventos. Ediciones Altea. Madrid.
- Bressand, Albert; Distler, Catherine (1995). La planète relationelle. Paris: Flammarion.
- Briggs, L.J. (1968). Sequencing of Instruction in Relation to Hierarchies of Competence. American Institutes for Research, Pittsburgh. PA.
- Bush, V (1943). As We May Think. En Grief, I (comp). Computer-Supported Cooperative Work. San Mateo: Morgan Kafman, 1987.
- Calvino, Italo. 1989. Seis Propuestas para el próximo milenio. Buenops Aires: Siruela.

- Celades, José (1967). Manual Práctico de Engranajes. Marcombo S.A. Ediciones Tecnicas. Barcelona.
- Dabas, Elina y Najmanovich, Denise (comp). Redes. El lenguaje de los vínculos. Buenos Aires: Editorial Paidós SAICF, 1995.
- Davidson, J.; Deuser, R and Stenberg, R.. (1994). The role of Metacognition in Problem Solving. In: Metcalfe, Jane and Shimamura, Arthur P. (Eds). Metacognition. Cambridge, MA: The MIT Press. 207-226.
- De Bon, Edward. (1975) Eureka. Como y Cuando se realizaron los grandes inventos. Editorial Labor S.A. Barcelona.
- Delacote, Goéry. 1997. La realidad aumentada. En: *Prospects*. Vol. XXII, N° 2, June 1997, Paris.
- Delval, Juan. 1990. Los fines de la educación. Madrid: Siglo Veintiuno de España Editores. (1993), pag.84
- Derry, Thomas (1977). Historia de la Tecnología. Editores Siglo Veintiuno Editores. México. v.1-2-3
- Derry, S.J.; and Murphy, D.A. (1986). Designing Systems That Train Learning Ability. : from Theory to Practice. Review of Educational Research, 56(1), 1-39.
- Dillenbourg, Pierre (1999). Collaborative Learning: Cognitive and Computational Approaches – In Advances in Learning and Instruction Series. Amsterdam.
- Dillenbourg, P., and Traum, D. (1996). Grounding in Multi – Modal Task Oriented Collaboration. In P.Brna, A. Paiva and J. Self Eds. Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence in Education. (Lisbon, Portugal, September 20 – October 2). Pp. 415-425.

- Dillenbourg,., Baker, M.(1995). The Evolution on Research on Collaborative Learning. In E.Spada, and P. Reiman Eds, Learning in Human and Machines: Towards an Interdisciplinary Learning Science(pp. 189 – 211). Oxford: Elsevier
- Eco, Umberto (1962). Historia Ilustrada de los Inventos de la Piedra Tallada a los Vuelos Espaciales. Fabril Ediciones. Buenos Aires
- Edwards, D; Mercer, N. 1988. El conocimiento compartido. Barcelona: Paidós/ Ministerio de Educación y Ciencia.
- Eisenkolb, A.; Musto, A.; Schill, K.; Hernández, D.; Brauer, W. (1998). Representational Levels for the Perception of the Courses of Motion. In Lecture Notes in Artificial Intelligence. Spatial Cognition. Vol 1404. Karl F. Wender. Eds.
- Erickson, K. V and Simon, H. (1980). Protocol Analysis: Verbal Reports as Data. Cambridge, MA: MIT Press. Revised Edition 1993.
- El libro mundial de los inventos (1992). Ediciones junior;Grupo Grijalbo. Barcelona.
- Enciclopedia de los inventos (1981). Vidorama. Barcelona.
- Enciclopedia Universal Ilustrada (1980). Editorial Espacacalpe S.A. Barcelona. v.26.
- Fagin, R., Halpern, J, Moses, Y. and Vardi, M.Y. (1995). Reasoning About knowledge. Cambridge, Massachussetts: The MIT Press.
- Flavel, J.H. (1981). Cognitive Monitoring: In Dickson, W.P.(De.)Children´s Oral Communication Skills. New York: Academic Press.

- Gagne, R.M. (1985). *The Conditions of Learning and a Theory of Instruction*. New York, N.Y.: Holt, Rinehart and Winston (fourth edition).
- Gehrke, Jorg and Hommel, Bernhard. (1998). *The Impact of Exogenous Factors on Spatial Coding in Perception and Memory*. In *Lecture Notes in Artificial Intelligence. Spatial Cognition*. Vol 1404. Karl F. Wender. Eds.
- Gokhale, Anuradha. (1995). *Collabotative Learning Enhances Critical Thinking*. In *Journal of Technology Education*. Volume 7, number 1 Fall. <http://borg.lib.vt.edu/ejournals/JTE/jte-v7n1/gokhale.jte-v7n1.html>
- Greeno, J. G. (1980). *Indefinite goals in Well- structured Problems*. *Psychological Review*, 83, 479-491.
- Hanspeter et al (1998). *Behavioral Experiments in Spatial Cognition Using Virtual Reality*. In *Lecture Notes in Artificial Intelligence. Spatial Cognition*. Vol 1404. Karl F. Wender. Eds.
- Havelock, E.A. (1963). *Preface to plato*. Harvard University Press.
- Heim, M. 1987. *Electric Language. A Philosophical Study of Word Processing*. New Heven: Yale University Press.
- Historia de los Inventos*(1986). Salvat Editores. Barcelona
- Johnson, Norman. (1998). *Collective Problem Solving: Functionality beyond the Individual*. In *Simulation of Social Agents*. Kerstein Dautenhaha, Editor. <http://ishi.lanl.gov>
- Klush, Matthias (1999). *Intelligent information Agents. Agent Based Information Discovery and Management on the Internet*. New York, N.Y.: The Springer Verlag Ed.

- Kotosky, K. Hayes, J.R., and Simon, H.A. (1985). Why are Some Problems Hard? Evidence from the Tower of Hanoi. *Cognitive Psychology*, 17, 248-294.
- Lepow, Höll, Zeng y Mehdorn, (1998). Spatial Orientation and Spatial Memory Within a "Locomotor Maze" for Humans. In *Lecture Notes in Artificial Intelligence. Spatial Cognition*. Vol 1404. Karl F. Wender. Eds.
- Lévy, Pierre. 1997. Education and training: New Technologies and Collective Intelligence. En: *Prospects*. 102. UNESCO. Vol XXVII, n°2, june,1997, pgs. 271- 287.
- Ligorio, B. (1997). Social Influence in a Text-Based Virtual Reality. Unpublished master's thesis in social Psychology, School of Education and Psychology, University of Geneva, Switzerland.
- Maldonado G.,L.F y Andrade L., E. (1996) Ambiente Computarizado para el Aprendizaje Autodirigido del Diseño- ACA2- Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, Proyecto de Investigación convenio Colciencias UPN.
- Maldonado, L.; Fonseca, O.; Ibañez, J.; Macias, D.; Ortega, N.; Rubio, M. (1999). *Metacognición y Razonamiento Espacial en Juegos de Computador*. U.P.N. - IDEP. Editorial, Magisterio. Bogotá, Colombia.
- Maldonado, L.; Ortega, N.; Fonseca, O.; Rubio, M.; Ibañez, J. y Macias, D. (2001). *Razonamiento Espacial y Aprendizaje Significativo: Influencia de la Riqueza de Conexiones entre Conceptos sobre la Solución de Problemas y el Papel de la Simulación en la Formación de Docentes*. U.P.N – Colciencias. Editorial Magisterio. Bogotá, Colombia.

- Maldonado G.,L.F. (1989). The effect on Performance and Learner-Sequencing Decisions of Instructional Curriculum Maps in a Hypertext Environment. Doctoral Dissertation, Florida State University. Dissertation Abstracts International.
- Mecklenbraüker Silvia, Worner Wippich y Wogener Monika y Saathoff Jorg (1998). Spatial Information and Actions. In Lecture Notes in Artificial Intelligence. Spatial Cognition. Vol 1404. Karl F. Wender. Eds.
- Messadie, Gerald (1998). Los Grandes Inventos de la humanidad. Alianza Editorial. Madrid.
- Miyake, N. (1986). Constructive Interaction and the Iterative Process of Understanding. *Cognitive Science*, 10,151-177.
- Mott, Robert I. (1992). Machine Elements in Mechanical Design. McMillan Publishing Company. New York.
- Nelson T. O., y Narens, I. (1990). Metamemory: a theoretical Framework and new Findings. En Metcalfe, J. y Shimamura, AP. (Eds). *Metacognition*. Cambridge, MA: The MIT Press. Preface.
- Newell, A. y Simon, H.A.(1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- O'Keefe, J., & Nadel, L. (1978). *The Hipocampus as a Cognitive Map*. Oxford: Clarendum Press.
- Ong, Walter. 1977. *Interfaces of the Word. Studies in the Evolution of Consciousness and Culture*. Ithaca: Cornell University Press.
- Ossowski, Sascha (1999). *Coordination in Artificial Societies: Social Structure and its Implications for Autonomous Problem-Solving Agents*. New York, N.Y.: The Springer Verlag Ed.

- Pea, R.D. and Hawking, (1987). Children's Planning Process in a Chore – Scheduling Task. In Friedman, S. L., Scholnick, E.K., and Cocking, R.R. (Eds). Blue prints for Thinking: The Role of Planning in Psychological Development. New York: Cambridge University Analogies. Child Development, 51, 28 – 38.
- Perrault, J.(1992). Las máquinas de Comunicar. Barcelona: Gedisa.
- Pirolli, P. y Recker, M. (1994). Learning Strategies and Transfer in the domain of Programming. Cognition and Instruction,3,235,275.
- Piscitelli, Alejandro. (1995). Ciberculturas. En la era de las máquinas inteligentes. Barcelona.
- Ploetzner et al. (1997). Modeling the Knowledge - Based Exchange of Information During Collaborative Problem Solving on the Basis of Deductive Self -Diagnosis. In Proceedings of the Eight world Conference of Artificial Intelligence in Education (pp.223-230). Amsterdam: IOS Press
- Redish, A. David (1999). Beyond the Cognitive Map: from Place Cells to Episodic Memory. Cambridge, Massachussetts: The MIT Press.
- Schweizer, K.; Herrmann, T.; Janzen, G.; Katz, S. (1998). The Route Direction Effect and Its Constraints. In Lecture Notes in Artificial Intelligence. Spatial Cognition. Vol 1404. Karl F. Wender. Eds.
- Scientific American (1994). Historia de la Técnica. Editorial Prensa Científica. Barcelona.
- Segrelles, V. (1984). Inventos que conmovieron al mundo. Ediciones Auriga. Madrid.
- Spotts, M.F. (1998). Elementos de Máquinas. Prentice Hall. México.

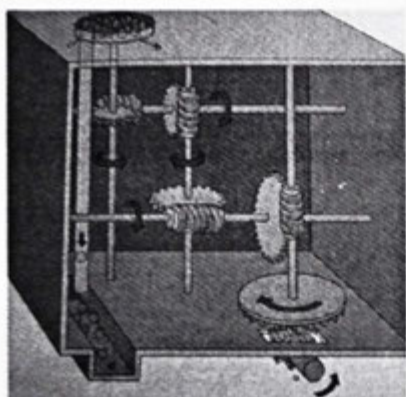
- Stenberg, E.R., and Nigro, G. (1980). Development Patterns in the solution of Verbal Processes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 27, 159-223.
- Stenberg, E.R., and Rifkin, B. (1979). The Development of Analogical Reasoning Processes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 27, 195-232.
- Strandh, Sigvard (1982). *Máquinas: Una Historia Ilustrada*. Hermann Blume. Madrid.
- Tedesco, Juan Carlos. 1995. *El Nuevo Pacto Educativo*. Madrid: Grupo Anaya.
- Townsend, Dennis P. (1992). *Dubley's Gear Handbook; The Design, Manufacture and Application of Gear*. Mc Graw Hill. New York.
- Wartenberg, F.; May, M.; Péruch, P. (1998). Spatial Orientation in Virtual Environments. In *Lecture Notes in Artificial Intelligence. Spatial Cognition*. Vol 1404. Karl F. Wender. Eds.
- Werner, S.; Saade, C.; y Lüer, G. (1998). Relations between the Mental Representation of Extrapersonal Space and Spatial Behavior. In *Lecture Notes in Artificial Intelligence. Spatial Cognition*. Vol 1404. Karl F. Wender. Eds.
- Wydra, F. (1980). *Learner – Controlled Instruction*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Zanini, G. (1986). *El libro de los Descubrimientos*. Ediciones Lodice. Madrid.

ANEXO A

DOMINIO DE CONOCIMIENTO DEL HIPERTEXTO «HISTORIA DE LOS ENGRANAJES»

HISTORIA DE UN OBJETO

1 LOS ENGRANAJES A TRAVÉS DE LA HISTORIA



Desde tiempos remotos el hombre se ha interesado por modificar el ambiente, mejorar su vida y dominar la naturaleza. Han surgido problemas, desafíos y retos que han obligado a la mente humana a generar soluciones. De este modo surgieron los utensilios primitivos que a través del tiempo se han especializado y refinado para llegar a los que se conocen, como «las

herramientas». Estas son el recurso en la evolución de la solución de los problemas de cada pueblo.

En el mundo antiguo, desde los sumerios (inicio teórico de la civilización) hasta las altas culturas clásicas como los griegos y los romanos, se realizaron estudios más avanzados en áreas como: la agricultura, el riego de cultivos, la construcción, la vivienda y la obtención de recursos para las nacientes sociedades. Además se realizaron estudios por físicos, matemáticos, astrónomos, filósofos

etc., trabajos escritos y prácticos que se convertirían en la base del desarrollo de las máquinas y de la ingeniería mecánica.

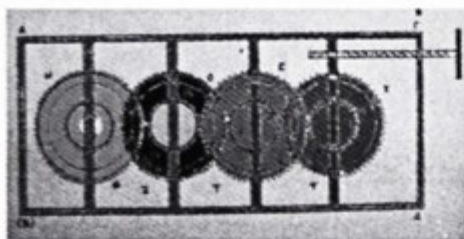
De estos resultados surge lo que se conoce como los elementos básicos para el desarrollo de las máquinas como: la cuña, la rueda, el plano inclinado, la palanca y el tornillo. Los ingenieros de la Escuela de Alejandría combinaron palancas con ruedas dentadas, tornillos y cuñas para así construir las primeras máquinas. Entre las primeras aplicaciones figuraron los ingeniosos aparatos escénicos construidos para asombrar al público de los anfiteatros griego y romano. Luego se consideró la posibilidad de utilizar estas máquinas simples como parte de otras más complejas. El término elemento de maquinaria no se utilizó hasta el siglo XIX, cuando la ingeniería mecánica empezó a estudiarse desde el punto de vista cinemático. Los primeros elementos de maquinaria consistían principalmente en combinaciones de ruedas dentadas y tornillos.

2 LA RUEDA DENTADA

Se tiene poco conocimiento sobre el origen de las ruedas normal y dentada. Probablemente ambos elementos estuvieron relacionados; la rueda normal debió usarse durante unos mil años antes de que se pintara o mencionara por escrito y probablemente lo mismo sucedió con la rueda dentada. Se conservan pocos escritos sobre este tema, aunque debieron existir muchas descripciones que se perdieron. Las descripciones que aparecen en el documento *Problemas Mecánicos* son consideradas como la prueba más antigua de la existencia de ruedas dentadas, pero los historiadores no están convencidos de que Aristóteles, autor del escrito, las llegara a usar ya que el texto no menciona nada sobre su fabricación.

Es probable que Arquímedes, considerado como el inventor del tornillo, utilizara engranajes de tornillos y ruedas en las máquinas de guerra.

Hacia el año 60 d de C. Heron descubrió varias aplicaciones de la rueda dentada. Una variedad recibe el nombre de Baroulkos (levantapesos) y se describe en la *Mecánica* y en la *Dioptra*, dos libros de Heron, en versiones ligeramente diferentes. También calcula el número de dientes de las diversas ruedas. Con una fuerza de cinco talentos, este aparato podía levantar un peso de 1000 talentos (25 toneladas). este cálculo es, desde luego, puramente teórico y además Heron no contempló la fricción entre los dientes de las ruedas dentadas. Las ilustraciones de la época muestran los dientes de las ruedas dentadas con forma de sierra y no se visualiza claramente como se engranaban. También se observa que la forma del diente no era la corriente de la época, sino que lo normal era los dientes con formas triangular o trapezoidal.



La ilustración del Baroulkos de Heron representa un tornillo conectado a la última rueda dentada del engranaje. Se cree que el tornillo sinfín lo inventó Arquímedes, pero su primera utilización en una máquina es

obra de Heron al que se debe una detallada descripción de un mecanismo para tallar la rosca de un tornillo sinfín. En la antigüedad se conocía el arte de la agrimensura a base de medir ángulos y establecer niveles de un modo científico. Heron da una descripción detallada de un instrumento geodésico al que llama dioptra que servía para medir ángulos vertical y horizontalmente basándose en los mismos principios que el moderno teodolito. Heron se valía de una varilla roscada para ajustar la regla de mira en ambas direcciones. Cuando se redescubrió la obra de Heron durante el Renacimiento

los ingenieros se dedicaron a encontrar nuevas aplicaciones para el engranaje de tornillos y la varilla roscada. Leonardo la utilizó en varios diseños, entre ellos una máquina para tallar la rosca del tornillo. Heron también construyó varios tipos de prensas, todas ellas de tornillo y algunas combinaban el tornillo con la palanca. En su *Naturalis Historia*, Plinio el Viejo considera los diseños de Heron como invenciones totalmente nuevas en la historia de la prensa.

Las prensas inventadas por Heron se difundieron rápidamente por toda la zona mediterránea gracias a las descripciones de Plinio, convirtiéndose en prototipos para diseños posteriores, a partir de la Edad Media y hasta los tiempos modernos. La primera prensa de imprimir, construida en 1430 por Johann Gutemberg, era una copia más o menos fiel de la prensa de tornillo de Heron. También se usaba este tipo de prensa para acuñar monedas, tarea que exige mucha presión. El tornillo empleado en los aparatos de Heron ha sido, además, el modelo para un gran número de aparatos mecánicos que aparecieron hacia el final de la Edad Media.

3 LOS ENGRANAJES DE HERON

Heron diseñó un gran número de máquinas cuyo principal elemento fue el tornillo. Muchos de estos diseños se mantendrían casi inalterados hasta los tiempos de la revolución industrial. El odómetro, un instrumento para medir la distancia recorrida por un vehículo, consistía en cuatro engranajes de tornillo montados uno tras otro acoplándose a una de las ruedas del vehículo. En los trabajos de Heron se describen varias versiones diferentes. Una de ellas disponía de un disco con orificios, similar al que se usa para marcar un número de teléfono; cuando el disco giraba uno de los Agujeros caía enfrente de un orificio fijo, abierto en el fondo de una caja llena de bolas de piedra, una de las bolas caía en un recipiente y luego se contaban

las bolas caídas. Se cree que el odómetro fue el primer instrumento de registro. Otra versión pensada para la bitácora de un barco tenía el primer eje conectado a una pequeña rueda de palas. Leonardo da Vinci desarrolló la idea de Heron diseñando un instrumento no muy diferente del que usaban los agrimensores a finales del siglo XIX.

4 EL DIFERENCIAL

Una aplicación interesante de la rueda dentada y el diferencial fue el llamado carruaje que apunta al sur, inventado en china en el siglo III d de C. Aunque esta fecha se ha discutido mucho, hay quienes la remontan a mil años antes. Se trata de un carruaje con dos ruedas, que llevaba una escultura de madera con forma humana cuyo brazo debía señalar hacia el sur cualquiera que fuera la dirección del carro. El brazo se movía mediante diferenciales conectados que compensaban la diferencia del ángulo de rotación entre las dos ruedas del vehículo cada vez que este giraba. La estatua estaba montada en el eje saliente de este aparato, y por esto apuntaba siempre al sur, cualquiera que fuera la dirección que el carro tomara. El aparato compensaba básicamente las diferencias entre los ángulos de rotación de las ruedas, su construcción exigía un perfecto conocimiento de las propiedades del diferencial y el cálculo de las razones de rotación de engranajes compuestos. Debido a la complejidad de este mecanismo se considera que debió basarse en cálculos teóricos.

En la antigüedad la rueda dentada desplazó la transmisión por correa. En su lugar cuando era necesario transmitir fuerza, se empleaban engranajes con dientes de madera. Se supone que también fue Arquímedes quien inventó la rueda dentada pero parece mucho más probable que, simplemente, propagara el invento. La

importancia de la rueda dentada reside en el hecho de que, mediante combinaciones de ruedas de diámetros pequeños y grandes, es posible llegar a una velocidad adecuada para el trabajo de cualquier máquina.

Vitrubio y Heron conocían perfectamente la teoría de los engranajes. Por ejemplo el primero describe como se podía emplear un cabrestante que hacía girar un buey, para hacer funcionar una noria. Los dientes dispuestos alrededor de la circunferencia del cabrestante se enganchaban a los de una rueda más pequeña fijada a un eje horizontal que movía a la noria. Por lo tanto el cabrestante, que giraba muy despacio impulsado por el buey, hacía que la noria diera vueltas a una velocidad relativamente alta. Con el engranaje, una rueda de pequeño diámetro y reducido número de dientes que empujaba a otra mayor con un número más elevado de dientes, aumentaba la fuerza de rotación aunque disminuía la velocidad

Las máquinas que utilizaban poleas y ruedas dentadas siguieron utilizándose después de la decadencia del imperio romano. Tales elementos pueden hallarse, por ejemplo, en las grúas medievales, los molinos de agua y de viento, etc. La construcción de ruedas dentadas en metal fue la base que llevó al desarrollo de los mecanismos de relojería. También en el cercano oriente un matemático llamado *Al Jazari* se interesó mucho por las máquinas destinadas a la captación de agua. La primera máquina que describió Al Jazari, consistía en una mecanización bastante elemental del Shadoof utilizando energía animal. Se utilizaba un engranaje con sector que permitía al balancín que subía el agua hasta el canal de irrigación y volver a caer una vez que se vaciara su contenido. Éste tipo de engranaje no aparece en occidente antes del Siglo XIV.

Los engranajes aparecieron en las norias o cadenas de cangilones, piezas esenciales para la extracción de agua, a menudo denominadas por su nombre árabe *sakieh*⁷; la rueda que sustentaba

los cangilones giraba alrededor de un eje horizontal y era adecuada para que la accionara el hombre. El Sakieh es probablemente el más extendido y útil de todos los ingenios hidráulicos heredados y mejorados por el Islam medieval. Se trataba de una cadena de vasijas movida por uno o dos animales mediante un par de engranajes. Los animales arrastraban una barra de tiro mientras describían un círculo, haciendo girar un eje cuyo piñón encajaba con un engranaje vertical. Dicho engranaje transmitía la acción sobre la cadena o guimalda de vasijas a un par de cuerdas donde iban suspendidos los cazos o vasijas de barro. El Sakieh resultaba idóneo para extraer cantidades moderadas de agua desde pozos relativamente hondos. De allí surgió la necesidad de transmitir este movimiento giratorio de un eje vertical a uno horizontal. El sakieh se difundió por el viejo mundo y fue para muchas comunidades la única máquina que poseían, con ruedas dentadas.

Vitrubio en el siglo V d.C. presentó el diseño de un molino de agua, con ruedas dentadas. En esta máquina utilizó una rueda de paletas verticales y una linterna para impulsar las ruedas del molino. El clásico molino harinero de rueda vertical contenía un engranaje con rueda de linterna que transmitía el movimiento rotacional. En el molino de harina, dos engranajes que formaban un ángulo recto, situados en un extremo del eje de la rueda variaban la velocidad de rotación y transformaban el movimiento del plano vertical de la rueda, en un movimiento rotacional en el plano horizontal que hacía girar la piedra.

En el siglo IX, en Francia, se modificaron los tradicionales molinos harineros hidráulicos de manera que en vez de moler trigo (el único uso romano de la combinación de rueda hidráulica y engranaje), las piedras molieran malta para preparar la cerveza. Posteriormente se aplicaron unos mecanismos que transformaban un movimiento rotacional horizontal en uno vertical.

En el siglo XI los mecanismos con ruedas dentadas que cambiaban el giro de un eje de un movimiento horizontal a uno vertical, habían logrado que las piedras de molinos rodaran unidas a un extremo para triturar el material. En el siglo XII las piedras giratorias sirvieron para extraer productos más refinados como el aceite de oliva. Los molinos fueron adoptados por la industria del curtido; reducían la corteza de roble a polvo, paso previo para la lixiviación. Es posible que ya en el siglo XII se utilizaran rodillos hidráulicos para exprimir caña de azúcar y semillas de mostaza, en el siglo XIV, la semilla de amapola y la obtención de tintes.

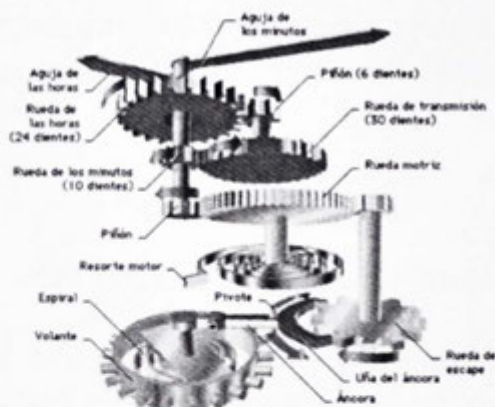
Aunque el movimiento de rotación de las ruedas hidráulicas podía aplicarse a muchas tareas, en algunos casos se requería de un movimiento lineal. Por ejemplo, muchas industrias utilizaban movimientos de aporreo y martilleo. Entre ellas estaban las de lavado de paño de lana, la de trituración de menas para fundición, la del forjado del hierro y la de separación de fibras de las plantas de lino.

La rueda de agua más corriente, la vertical, ofrecía dos variantes, de propulsión inferior y superior. La primera rueda estaba sumergida en la corriente de agua que la hacía girar. La segunda era accionada por el agua del cazo, que vertía agua en lo alto de la rueda, impulsándola tanto por el momento del flujo como por la gravedad de la caída del agua. En ambos casos, el impulso era recogido por un eje horizontal y transmitido por mecanismos contruidos en madera a un eje vertical. De las dos versiones, la de mayor rendimiento era la de propulsión superior.

Los engranajes metálicos se utilizaron para diversos instrumentos de astronomía pero sólo se popularizaron con la llegada de los relojes mecánicos. Los relojeros trataron de lograr su eficiencia y crearon los engranajes en contraposición a las ruedas provistas de dientes. Leonardo Da Vinci dedicó gran parte de su tiempo a calcular relaciones de engranajes y formas ideales de dientes, es así como

a uno de sus sucesores del siglo XVI, Turiano, se le atribuye una máquina de corte para confeccionar los engranajes del gran planetario, que debía construirse para el emperador Carlos V. Pero tanto la teoría como la máquina de cortar dientes con precisión para la producción a gran escala, tuvieron que esperar un siglo más. En las máquinas a vapor de finales del siglo XVIII y en muchas otras del siglo XIX, sobre todo en el medio rural, se encontró una técnica intermedia: ruedas dentadas de fundición provistas de muescas dentro de las cuales se ajustaban a presión dientes de madera, mejor diseñadas que las simples varillas anteriores, pero igualmente fáciles de sustituir cuando se gastaban. El rendimiento de estos engranajes fue por supuesto limitado en comparación con los engranajes actuales.

5 EL RELOJ MECÁNICO



El componente distintivo del reloj mecánico es la rueda de escape que controla el movimiento constante de las manecillas. Los demás componentes como las ruedas dentadas con ejes y el peso que hace mover la maquinaria se conocían desde tiempos muy antiguos. Se cree que los

primeros relojes mecánicos aparecieron hacia finales del siglo XIV pero no fue sino hasta el siglo XVIII cuando se hicieron confiables y se construyeron con materiales de buena calidad. Los primeros relojes fueron construidos con hierro y materiales que estaban lejos

de brindar las cualidades de resistencia y durabilidad para las cada vez más exactas y complicadas que los relojes de la época requerían. Estaban contruidos por medio de procedimientos inadecuados y perdían resistencia y exactitud con el tiempo, por lo que estos relojes no eran muy exactos y, además, los elementos motores como la cuerda, tampoco estaban muy desarrollados. Sólo hacia 1730 Benjamin Huntsman empezó a experimentar en la producción de acero, en vez de hierro para las piezas de maquinaria, lo que significó un gran avance en la construcción de maquinaria y en muchos campos de la ingeniería mecánica.

Técnicamente, el reloj mecánico se deriva de los antiguos elementos de maquinaria, pero sus raíces espirituales están en la vida regular de los monasterios. Se ha comentado que no sería exagerado decir que los monasterios ayudaron a dar a las empresas humanas el ritmo regular y colectivo de la máquina. Un reloj no sólo marca horas, también sirve para sincronizar las acciones. Más adelante salió del monasterio y contribuyó a regular las vidas de artesanos y comerciantes. La medición del tiempo se convirtió gradualmente en una esclavitud, hasta llegar a ser la guía suprema de las acciones humanas. El reloj, y no la máquina de vapor, es la clave de la era moderna industrial¹⁰.

6. ELEMENTOS DE MÁQUINARIA EN LA ERA DEL VAPOR

Durante los tiempos en que la energía se obtenía del viento y del agua, la madera era el principal material empleado para construir máquinas. Con el progreso de la energía a vapor y las técnicas asociadas, el hierro se convirtió, por varias razones, en el material predominante sólo hasta el siglo XIX.

7 ELEMENTOS DE MÁQUINAS FABRICADOS POR MÁQUINAS

En el principio, los elementos de la industria relojera se fabricaban a mano. El relojero usaba herramientas sencillas para tallar a mano los dientes de las ruedecillas, los ejes y otros detalles. Uno de los primeros intentos de fabricarlos a máquina fue el de Christopher Polhem (1661-1751), en el taller de Stjernsund, Suecia, a principios del siglo XVIII. El taller se fundó en 1699, principalmente con el fin de producir utensilios cotidianos, como vasijas metálicas, cabezas de martillos, etc.

Con toda probabilidad el éxito de venta de utensilios animó a Polhem a fabricar ruedas dentadas para relojería, que se mencionaron por primera vez en documentos fechados en 1708. El nieto de Polhem, Reinhold Räckersköld, que más tarde dirigió los talleres, describió como una máquina hidráulica manejada por un solo hombre, limaba simultáneamente los dientes de todas las ruedas, grandes y pequeñas, después de haber recortado los discos de latón, tallado los radios, los cubos centrales y fabricados los ejes o árboles dentados, limándolos entre limas paralelas.

La máquina así descrita se construyó probablemente en 1729. No resultó dañada en un incendio, y se siguió usando hasta después de 1760. En la actualidad, se exhibe en el Museo Nacional de la Ciencia y Tecnología de Estocolmo y, sin duda, es una de las primeras máquinas herramientas automáticas. En el mismo museo se conservan otras dos de las máquinas de Polhem: una de ellas, de gran tamaño, construida para cortar ruedas dentadas de relojes de torres; la otra es un modelo de manejo manual. Por diversas razones, la producción mecanizada de ruedas dentadas no resultó el éxito que Polhem había esperado¹³. Uno de los factores fue el orgullo profesional de los relojeros, que consideraban que un reloj de primera calidad debía estar hecho completamente a mano, y no les agradaban los productos a medio acabar. Luego de muchos

esfuerzos de hombres de ciencia, se empezó a estudiar y analizar una ciencia que hasta el momento no había sido abordada con suficiente intensidad y ahínco. Polhem fundó una escuela y un laboratorio para enseñar la mecánica básica, los mecanismos y el alfabeto mecánico. Luego de varios años de labores se inscribió en la escuela Cal Johann Cronstedt que estudió mecánica e ingeniería entre 1729 y 1731 y habiendo analizado la obra de Polhem, resumió y sistematizó su alfabeto mecánico y su legado para las generaciones posteriores.

Un hombre de letras necesita tener en la cabeza, todas las palabras necesarias para componer una sentencia o un artículo. Del mismo modo es necesario que un ingeniero conozca todos los movimientos sencillos. Si un ingeniero al montar máquinas e inventos no conociera todos los movimientos sencillos del alfabeto mecánico y tuviera que buscarlos de manera dispersa en notas, artículos o libros, su trabajo progresaría con demasiada lentitud. Las máquinas no son más que palabras compuestas de letras o cuerpos compuestos de miembros aplicados en el lugar más apropiado para la utilidad de la máquina, de manera que consigan el efecto deseado. Luego de estos estudios y trabajos surgieron personajes de gran capacidad de análisis que trabajaron en el desarrollo de la ingeniería mecánica. Entre los cuales sobresalieron Jean Nicolas Pierre Hachette que publicó el primer libro de texto sobre las funciones sistematizadas de los elementos de maquinaria, Andre Marie Ampère, matemático y físico, clasificó la mecánica en estática y cinemática, Robert Willis enseñó en Cambridge la cinemática de los elementos de maquinaria y en 1841 publicó estas conferencias en forma de libro titulado *Principios de Mecánica* que se convirtió en uno de los primeros manuales de ingeniería mecánica y alcanzó una gran difusión. Uno de sus seguidores fue Ferdinand Redtenbacher, profesor de matemáticas aplicadas en el politécnico de Karlsruhe que hizo notables esfuerzos por simplificar los métodos de Willis. Tuvo un joven alumno llamado

Franz Reuleaux que fue uno de los más grandes físicos y estudiosos de la mecánica y que dejó para el siglo XX las bases de la construcción de maquinaria y las principales leyes de la estática y la cinemática.

Reuleaux en su análisis de la función de los elementos de la máquina, distinguía, entre otras cosas, entre pares elementales y cadenas cinemáticas. En el primer grupo están, por ejemplo, el tornillo y la tuerca, el árbol y el cojinete, y la rueda dentada conectada a una cremallera. De aquí en adelante el desarrollo de la mecánica, la ingeniería mecánica y en especial de los engranajes tuvo un impulso inmenso gracias al dominio y mejoramiento de los procesos de fabricación así como el dominio de la electricidad para los procesos industriales.

8. LAS MÁQUINAS, HERRAMIENTAS DEL SIGLO XX



Gracias a la rápida expansión industrial, los talleres mecánicos de principio de siglo disponían de un buen suministro de máquinas herramientas y máquinas automáticas. Existían tornos, taladradoras con múltiples brocas, fresadoras, moldeadoras y esmeriladoras, para fabricar y dar el acabado a todo tipo de herramientas.

Una característica típica de los talleres de principio de siglo XX era el eje que transmitía la energía a cada máquina por medio de una correa. Los ejes estaban movidos por grandes máquinas de vapor. Hacia 1890 se habían diseñado pequeñas máquinas de vapor compactas que generaban la suficiente

frecuencia para mover un torno, una taladradora o algo similar. La idea consistía en distribuir el vapor de una caldera central por medio de tuberías que iban a cada máquina. Los partidarios de este sistema sostenían que la eficacia total superaba con mucho a la del sistema de transmisión por correa, ya que en este se perdía mucha energía por fricción. Sin embargo, a principios del siglo, la energía térmica estaba en crisis ya que la electricidad ofrecía la posibilidad de un método superior para transmitir energía. A finales del siglo XIX empezaron a aparecer máquinas con motores eléctricos que se establecieron de modo definitivo en cuestión de 10 años.

A la par con la nueva fuente de energía se desarrollaron nuevos sistemas de transmisión, aumentando la eficiencia de los sistemas de transmisión por banda o correa e introduciendo en una gran cantidad de actividades las transmisiones de engranajes.

En 1926 se dio un gran paso adelante con la introducción del primer metal duro para tallar materiales; este producto alemán, bautizado con el nombre de Widea, era una aleación de cromo, tungsteno y titanio o molibdeno, con sus carburos (compuestos de carbono). Las aleaciones son de dos tipos: en una, todos los componentes están fundidos; en la otra, los componentes pulverizados se calientan a una temperatura en la que algunos de ellos se funden aglutinando el conjunto.

Durante los años setenta se aumentaron aun mas las propiedades talladoras y la duración de estas aleaciones gracias a nuevos procesos metalúrgicos, además las herramientas hechas con estos metales están recubiertas con una capa de menos de una milésima de milímetro de espesor de carbono de titanio y óxido de aluminio. Esto ha significado una revolución en la tecnología del metal. Con los instrumentos de acero de carbono, trabajar una pieza de acero lleva menor tiempo; un instrumento de coromant (un metal duro

aparecido en 1976) puede hacer el trabajo en minutos. Estos avances han contribuido a la fabricación de engranajes.

Actualmente los países más avanzados en la ingeniería mecánica y producción de engranajes son: Alemania, Suecia, Francia, Inglaterra, Japón y E.E.U.U., los cuales han producido la gama actual de sistemas de transmisión de movimiento, incluida la importante familia de la transmisión por engranajes.

Hoy en día los engranajes se fabrican en máquinas herramientas especializadas, controladas por computadores para producir engranajes de alta calidad. Gran diversidad de materiales es utilizada dependiendo de la aplicación específica, por ejemplo, plásticos y materiales compuestos tales como: polipropileno, poliestireno, fibra de carbono y Nylon, que son utilizados para robots, máquinas pequeñas, automatización, juguetería etc., mientras que para transmitir grandes potencias en máquinas industriales, aviones, turbinas, cajas de velocidades y reductores, se utilizan los materiales metálicos.

Generalmente los engranajes son de diversos tipos de acero, desde acero al carbono de construcción hasta aceros aleados y tratados térmicamente para mejorar sus propiedades de tenacidad, resistencia y dureza. Para mejorar la resistencia y la tenacidad se usa el recocido y el temple, con el fin de que el cuerpo del engranaje sea resistente a las cargas estáticas y dinámicas que se le imponen en el trabajo, así como aumentar su resistencia a la fatiga y a las vibraciones que son las condiciones extremas del trabajo pesado. Para mejorar la dureza también se utiliza el temple, que endurece la superficie del engranaje, pero el tratamiento más utilizado es la cementación, que consiste en elevar la temperatura de la pieza en un horno y somerla a una atmósfera controlada de carbono y otros elementos, con el fin de que la superficie adquiera gran dureza al formarse carburos de hierro que le proporcionan a la cara del diente

gran resistencia al desgaste. La construcción con medios computarizados de producción genera mejores acabados, así como tolerancias más exactas para perfeccionar el trabajo de la pieza, su duración, su lubricación y su buen comportamiento en un gran rango de temperaturas.

Las principales características de los engranajes son: el diámetro primitivo, el paso y el número de dientes. Con estas tres características básicas se trabajan todos los engranajes normalizados según las convenciones de la AGMA (American Gear Manufacturers Association) que es la entidad más reconocida mundialmente para este tipo de reglamentación.

La necesidad de construir los engranajes radica en la transmisión de movimiento constante para la sincronización de procesos en las máquinas. Es constante dado que cada diente de un engranaje actúa contra otro para no permitir el deslizamiento de las ruedas. También se utilizan por su capacidad de transmitir grandes potencias y grandes torques en todo tipo de máquinas. Las relaciones de transmisión se pueden variar para aumentar o reducir la velocidad y también para aumentar o reducir el torque. El torque y la velocidad son inversamente proporcionales, por lo que una transmisión con engranajes se calcula según la velocidad angular en el punto de aplicación y de ahí hasta el motor calculando las velocidades, torques y potencias requeridas. Las desventajas de los engranajes son su alto peso, su dificultad de construcción, su alto consumo de potencia y el ruido que producen al funcionar, sobretodo los engranajes cónicos de dientes rectos porque el contacto es entre cara y cara de los dientes, mientras que los engranajes con dientes helicoidales, espirales o hipoidales tienen un contacto sesgado entre las caras de los dientes por lo cual el ruido es menor y la fricción no es de choque de caras sino deslizamiento de caras suavizado además por una película lubricante, cuando se tiene un sistema de lubricación convenientemente diseñado. Otra de las razones para

la utilización de dientes no rectos es que al entrar en contacto, hay dos o más dientes transmitiendo el movimiento por lo que el esfuerzo está distribuido de manera más uniforme y no como en los de dientes rectos que es un diente contra otro en choque cuando engranan.

9. TIPOS DE ENGRANAJES

Los diferentes tipos de engranajes se clasifican según la forma del cuerpo, la forma del perfil del diente y la posición relativa entre los ejes donde se colocan.

Engranajes cilíndricos de dientes rectos

Engranajes de cuerpo cilíndrico con dientes paralelos al eje del engranaje, producen mucho ruido y el contacto es de choque. Se utiliza para conectar ejes paralelos.

Engranajes cilíndricos de dientes helicoidales

Engranajes de cuerpo cilíndrico con dientes en forma de hélice, produce un menor ruido y el contacto es en línea. Se utiliza para conectar ejes paralelos.



Engranajes cónicos de dientes rectos

Poseen un cuerpo cónico y tienen dientes convergentes hacia el vértice del cono. Se utilizan para conectar ejes perpendiculares que se cruzan.

Engranajes cónicos de dientes helicoidales

Poseen un cuerpo cónico y tienen dientes en forma de hélice. Se utilizan para conectar ejes perpendiculares que se cruzan.

Engranajes de dientes espirales

Son engranajes con dientes en forma de espiral. Pueden ser de forma cónica o cilíndrica.

Engranajes de dientes hipoidales

Son engranajes con dientes en forma de hipoidal. Pueden ser de forma cilíndrica, cónica o corona.

Transmisiones sinfín - Corona

Poseen una corona de forma generalmente cilíndrica y un sinfín en forma de tornillo. Genera grandes relaciones de transmisión y alto calentamiento.

Las investigaciones contemporáneas en Educación y Ciencia Cognitiva muestran una creciente interrelación. En especial se observa un paralelismo entre los estudios sobre agentes artificiales y psicología cognitiva con proyecciones en ideales educativos.

La simulación de los procesos de solución de problemas de descubrimiento en entornos virtuales constituye el tema central de esta publicación. El estudio individual de los procesos de solución de problemas usando simuladores se diferencia en su dinámica, frente al estudio colaborativo de los mismos.

El lector encuentra aquí un estado del arte sobre aprendizaje, colaboración e informática y los resultados de una investigación sistemática sobre el tema.

