

Particularidades cognitivas asociadas a la representación digital en estudiantes de Arquitectura

Cognitive particularities associated with digital representation in architecture students

Violeta Rangel Rodríguez

violerangel@gmail.com

Universidad de Los Andes
Facultad de Arquitectura y Diseño
Mérida, estado Mérida, Venezuela

Ramón Aníbal León Salazar

aleonsalmorro@gmail.com

Universidad de Los Andes
Facultad de Humanidades y Educación
Mérida, estado Mérida, Venezuela

Artículo recibido: 21/04/2017

Aceptado para publicación: 10/05/2017



Resumen

A la luz de la creciente penetración de las tecnologías digitales en el ámbito universitario, se presenta este estudio que revela las particularidades cognitivas asociadas a la representación digital en el diseño de estudiantes de arquitectura. La metodología combina protocolos de diseño y el método de la comparación constante de Glaser y Strauss (1967). Los datos provienen de verbalizaciones retrospectivas y registros de actuación, producto de un ejercicio de diseño. Los resultados revelan procesos cognitivos emergentes, en comparación con la teoría, y singularidades relacionadas con las nociones de transformación, recursividad, visualización y visibilización en la respuesta cognitiva.

Palabras Clave: cognición del diseño, representación digital, análisis de protocolo, verbalización retrospectiva, educación de arquitectos.

Abstract

In light of growing incorporation of digital technologies in the university, this study presents the cognitive particularities associated with the digital representation of designs in architecture students. The methodology used combines design protocols and the constant comparative method developed by Glaser and Strauss (1967). Data was collected from retrospective verbalizations and intervention records produced during a design exercise. Results reveal emerging cognitive processes, compared to theory, and singularities related to the ideas of transformation, recursion, visualization and visibility in the cognitive response.

Keywords: design cognition, digital representation, protocol analysis, retrospective verbalization, education of architects.

Introducción

Reemplazar la mediación de lápiz y papel por herramientas de naturaleza digital constituye el mayor desafío intelectual para los arquitectos y aprendices de esta era. Las nuevas tecnologías de modelado y simulación ofrecen mejorar el desempeño en la tarea de diseño, pero a cambio exigen apropiación de la **técnica y sus respectivas singularidades en estrategia**, contenido y significado.

Las consecuencias de asumir los modos digitales en la resolución de problemas de diseño se conocen parcialmente; razón por la cual, de los ambientes universitarios surgen iniciativas que buscan ahondar en los efectos de la gráfica digital en la cognición. Para Asanowics (2016) examinar la vigencia de los métodos tradicionales de enseñanza de la arquitectura en el nuevo panorama del diseño digital pasa por conocer el potencial y las limitaciones de las herramientas informáticas de representación en la composición arquitectónica. Asimismo, para Doyle y Senz (2016) es importante reconocer que el aprendizaje del diseño, como un proceso de desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior, ocurre junto a los medios de representación. Según estos autores la razón por la existe actualmente una brecha en el aprendizaje del diseño con representaciones digitales es porque se insiste en formar habilidades básicas para usar este medio de expresión, esperando que los estudiantes por sí solos las apliquen a proyectos de diseño. Al respecto, Doyle y Senz (2016) concluyen que los estudiantes a menudo no logran desarrollar una comprensión de los métodos de diseño en el entorno digital y la pedagogía no está alineada con la meta del aprendizaje sustantivo.

A continuación se presenta un estudio cualitativo que aporta elementos sobre la cognición en diseñadores noveles, especialmente refleja las particularidades de la respuesta cognitiva de un estudiante de arquitectura cuando resuelve problemas espaciales con representaciones digitales. La investigación se sustenta en la teoría cognitiva del diseño (Akin, 1986; Schön, 1992, Schön & Wiggins, 1992) y razonamiento visual (Arnheim, 1969; Goldschmidt, 1991; Lawson, 1979). Los procesos cognitivos se observan indirectamente por medio de informes orales retrospectivos y registros de actuación, según los criterios de Ericsson y Simon (1993). Los datos se analizan iterativamente según la comparación constante de Glaser y Strauss (1967) y los resultados que revelan características asociadas a la naturaleza virtual, iterativa y recursiva de la mediación gráfica digital se discuten con base en teorías de virtualidad y razonamiento repetitivo (Morin, 2006; Searle, 2004; Corballis, 2014).

Según la teoría cognitiva del diseño, los arquitectos desarrollan habilidades de resolución de problemas en comunicación interactiva con sus representaciones físicas, una forma de cooperación cognitiva para el aprendizaje y desarrollo intelectual (Schön, 1992; Schön & Wiggins; 1992). Aunque la mente tenga sus propias representaciones internas, las representaciones físicas, en este caso, cumplen con la función de comunicar las intenciones de diseño externamente y eso permite el razonamiento (Akin, 1986). Schön (1992) caracteriza esta función como una “conversación” de lo interno con lo externo en términos de evaluación reflexiva, exploración de ideas y modificación de ideas. Es así como en la construcción de ideas las señales gráficas que proporciona la representación se constituyen como pistas visuales para la asociación, conceptualización, relación, inferencias, recuerdo, reinterpretación o estrategias de resolución (Lawson, 1979).

Desde mediados de los años 90 del siglo XX, los estudios cognitivos del diseño se han enfocado en la comprensión de los procesos mentales y la relación con la representación. El trabajo de Goldschmidt (1991), considerado muy influyente al respecto, utiliza análisis de protocolo en arquitectos principiantes y expertos para desarrollar un modelo cognitivo basado en la acción de dibujar durante el proceso de diseño. La investigación revela que los procesos cognitivos observados desde la actividad de dibujar soportan las decisiones de diseño. El modelo propuesto por Goldschmidt (1991) se compone de *movimientos* y *argumentos*, siendo los primeros operaciones básicas que se corresponden con la entidad que se está diseñando y los segundos con declaraciones, juicios o criterios, sobre el diseño o aspectos que lo componen.

Sobre la tesis de Golschmitd (1991), y a fin de sistematizar lo que ven, atienden y piensan los diseñadores mientras trabajan, Suwa, Purcell y Gero (1998), a partir de las observaciones de Suwa y Tversky (1997) produjeron un esquema de codificación para analizar actuaciones en el diseño. Codificaron cuatro niveles de *acciones cognitivas*: físico, perceptivo, funcional y conceptual. Las acciones físicas se relacionaron con labores de representación, las perceptivas con la percepción de características visuales y las funcionales y evaluativas con los procesos mentales de significación.

Los resultados de esta investigación demostraron que las acciones de diseño se pueden definir de manera sistemática y, por lo tanto, se ha convertido en referente teórico para investigaciones subsiguientes.

Marx (2000) revela que la visualización intensiva y la respuesta inmediata del medio digital provoca una mayor frecuencia de imágenes mentales que cuando se utiliza lápiz y papel. Asimismo, Won (2001) descubre que cuando un diseñador representa con lápiz y papel las acciones de cómo ver, qué ver y el detalle de lo dibujado es más significativo que la imaginación. En cambio, cuando usa la computadora el resultado se invierte y las acciones de imaginar y cómo ver resultan más relevantes.

En la misma línea, Chen (2001) observa diferencias cognitivas entre novatos y expertos cuando usan representaciones digitales para diseñar. En los resultados sobresale que los diseñadores novatos demandan mayor cantidad de pistas visuales para la construcción de conceptos y realizan más evaluaciones, necesarias para determinar los pasos sucesivos en el proceso de resolución. Igualmente, reflejan mayor cantidad de ciclos de representación y percepción durante la generación de resultados intermedios de la solución.

Para Chen existe una gran diferencia entre ambos diseñadores y es elemental, el diseñador experto es capaz de obtener mucho más información de su memoria a largo plazo para auxiliar el proceso de razonamiento. Por el contrario, el diseñador con menos experiencia tiene menos conocimiento y necesita más memoria externa, es decir, mayor estimulación visual, más dibujo.

Bilda & Demirkan (2003) hallaron que la frecuencia de acciones de representación puede ser igual cuando se usa lápiz y papel y la computadora, siempre y cuando el diseñador este familiarizado con la herramienta digital; aporte que permitió contradecir la postura de que la mediación digital producía menor cantidad de pistas visuales. Del mismo modo, el trabajo de Gursoy y Ozkar (2010:614) demostró que las transformaciones de diseño, acciones mentales asociadas a la creación e interpretación de ideas, se producen en igual cantidad de ciclos de representación digital y manual. La ambigüedad de la representación, tradicionalmente vinculada a emergencia creativa, no es garantía para la producción de transformaciones de diseño, especialmente aquellas que conducen a nuevas ideas.

Asanowicz (2016) encuentra que cuando los estudiantes diseñan con herramientas digitales generan formas más complejas, como planos curvilíneos y transiciones singulares entre geometrías, que cuando usan herramientas tradicionales. Tal complejidad, vista también en las composiciones, esta relacionada estrechamente con el conocimiento acerca del software. Igualmente, advierte que las animaciones estimulan la percepción y mejoran la comprensión del objeto de diseño, producto de los cambios en los puntos de vista. Por último, muchos estudiantes se inclinaron por el diseño en el espacio digital directamente, sin el uso de un lápiz.

La naturaleza cambiante de las tecnologías digitales requiere que constantemente se estén observando los mecanismos de razonamiento visual que acompañan la cognición del diseño, sobre todo porque las herramientas digitales evolucionan con rapidez y, como se ha constatado, en cada actualización buscan mayor coherencia con el sistema perceptivo del diseñador.

Estas y otras aproximaciones han ido perfilando el conocimiento acerca de la mediación digital; no obstante, resulta necesario detallar el contenido cognitivo a fin de producir una referencia útil para su estudio, comprensión y enseñanza de una mediación informática eficaz para el diseño en los espacios universitarios.

Así pues, se presenta un estudio que busca dar respuesta a interrogantes como ¿Qué procesos cognitivos caracterizan a los estudiantes cuando representan digitalmente?, ¿Cómo se modifica la mediación en términos de representación?, ¿Cómo influye la virtualidad en la percepción de los contenidos de diseño? Y por último,

¿Puede la teoría del diseño mediado con lápiz y papel orientar la enseñanza del diseño con representaciones digitales?

Metodología

Los contenidos cognitivos de diseño se extrajeron de informes orales retrospectivos y registros de actuación generados por estudiantes de arquitectura luego de resolver un problema de diseño. En el corpus se integraron 12 verbalizaciones y 12 registros de actuación en 24 protocolos de diseño, analizados bajo un esquema iterativo constante hasta la saturación de la información. A los fines del análisis, los informes orales transcritos fueron segmentados en dos niveles. Un primer nivel, el contexto de la tarea en la fase temprana, se basa en el modelo de actividades cognitivas de la fase de ideación de Jin y Chuslip (2006) como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Procesos de la fase de ideación

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
Análisis del problema	Comprensión del problema, limitantes, necesidades. Establecer objetivos. Requerimientos y condicionantes. Criterios de solución.
Generar	Concepción de nuevas ideas.
Componer	Evolución de ideas iniciales en conceptos de diseño identificables.
Evaluar	Constatar decisiones en base a objetivos, requerimientos, condicionantes.

Nota. Cuadro elaborado con información de Jin y Chuslip (2006).

Un segundo nivel, acciones de dibujo y procesos cognitivos, se utilizó para observar los procesos derivados de las acciones de representación en cada actividad e iteración. Siguiendo la metodología de Ericsson y Simon (1980), para la primera iteración se utilizó un esquema de categorías iniciales construida para este estudio a partir de la teoría (Bilda & Demirkan, 2003; Chen, 2001; Suwa y Tversky 1996). Esto con el objeto de comprobar lo que se mantiene constante respecto a los referentes teóricos y descubrir lo nuevo en el contenido cognitivo externalizado por los estudiantes.

El grupo de estudio, resultado de una selección intencional, estuvo conformado de cuatro estudiantes universitarios del último año de la carrera de Arquitectura. Los participantes, tres mujeres y un hombre, demostraron poseer habilidades apreciables en la resolución de problemas de diseño, comunicación verbal y dominio de programas paramétricos de arquitectura (*Revit Architecture*).

La forma de verbalización retrospectiva, adoptada aquí, es indicada para estudios enfocados en el contenido de la información cognitiva en el diseño (Dorst, K & Dijkhuis, 1995). Sin embargo, este tipo de verbalización tiene algunas desventajas, entre ellas, la capacidad limitada de la memoria de trabajo del participante y la recuperación selectiva de la información sobre la base de una información acumulada. En este estudio las debilidades señaladas se compensaron utilizando un registro de actuación en formato de video (captura de pantalla) para acompañar la retrospectiva y favorecer el recuerdo.

Los datos se analizaron por comparación constante según Glaser y Strauss (1967), el resultado del primer análisis se tomó para el segundo y así sucesivamente, el producto de cada iteración se emplea en las iteraciones subsiguientes hasta saturar las comparaciones; identificando e integrando propiedades emergentes en categorías de dibujo, percepción y evaluación. Para agotar las posibilidades dentro de las variaciones personales, estilos de diseño y tipos de problema, en un mismo diseñador y entre diseñadores, se realizaron iteraciones de dos tipos: una interna, comparando las respuestas de un mismo participante, y otra externa, en la que se comparan las respuestas de participantes distintos.

Resultados y análisis

A continuación se presentan los resultados de la investigación en categorías que agrupan lo que ven, atienden y piensan los estudiantes de arquitectura mientras idean soluciones de diseño con herramientas digitales estructuradas de representación. Los contenidos se organizan en cuadros de procesos cognitivos y acciones de dibujo donde se muestra, simultáneamente, lo proveniente de la teoría y lo emergente del estudio.

1. Acciones de dibujo (AD)

Esta categoría describe las acciones técnicas de representación primaria de entidades geométricas, palabras, símbolos y componentes arquitectónicos en el computador. Se encuentra definida por tres tipos de acciones: dibujar, escribir y transformar como se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Acciones de dibujo

Iniciales de la teoría*		Constantes/emergentes		Código
Dibujar	Dibujo de líneas, puntos, paredes, componentes, etc.	Dibujar	Dibujar entidades: líneas, puntos, volúmenes, elementos arquitectónicos (paredes, techos, pisos, escaleras, rampas).	De
	Representar un símbolo		Insertar un símbolo.	Ds
Revisar	Escribir palabras para describir pensamientos.		Definir ejes y niveles constructivos.	Dnec
	Revisar forma, tamaño o textura.		Insertar puntos y planos de trabajo.	Dppt
Redibujar	Borrar	Escribir	Escribir palabras para describir pensamientos u objetos.	Ep
	Redibujar	Transformar	Borrar.	Tb
	Volver a dibujar		Mover, rotar, escalar.	Tmre

Nota. *Categorías iniciales definidas con base en Bilda y Demirkan (2003), Chen (2001) y Suwa y Tversky (1996).

En comparación con las categorías iniciales provenientes de la teoría, dibujar abarca un rango mayor de acciones, no sólo se limita al dibujo de líneas, puntos y elementos arquitectónicos sino que incluye volúmenes, ejes (AD-Dnec) y entidades auxiliares como puntos y planos de trabajo (AD-Dppt). Éstos, en general, se llaman *unidades de dibujo*. El redibujo se sustituye por acciones de transformación (AD-Tb, Tmre), éstas con la finalidad última de posicionar *in situ* una entidad en el espacio.

La Figura 1 muestra las acciones de dibujo para las cuatro actividades del proceso de ideación en todos los registros. Se aprecia que la acción dominante es el dibujo de entidades (AD-De) con mayor presencia en la composición y menor en la evaluación y generación de ideas. Este comportamiento sugiere que dibujar es una acción primaria y su relevancia varía según el objetivo cognitivo de cada actividad del proceso de ideación. Pero como se expone a continuación, otro tipo de acciones también de dibujo permiten establecer los vínculos semánticos.

Las transformaciones dinámicas de representación, de esencia recursiva, es un hallazgo que modifica la secuencia característica de la representación tradicional, dibujar-borrar-dibujar sustituyéndola por dibujar-transformar-evaluar como se describirá en los ítems siguientes.

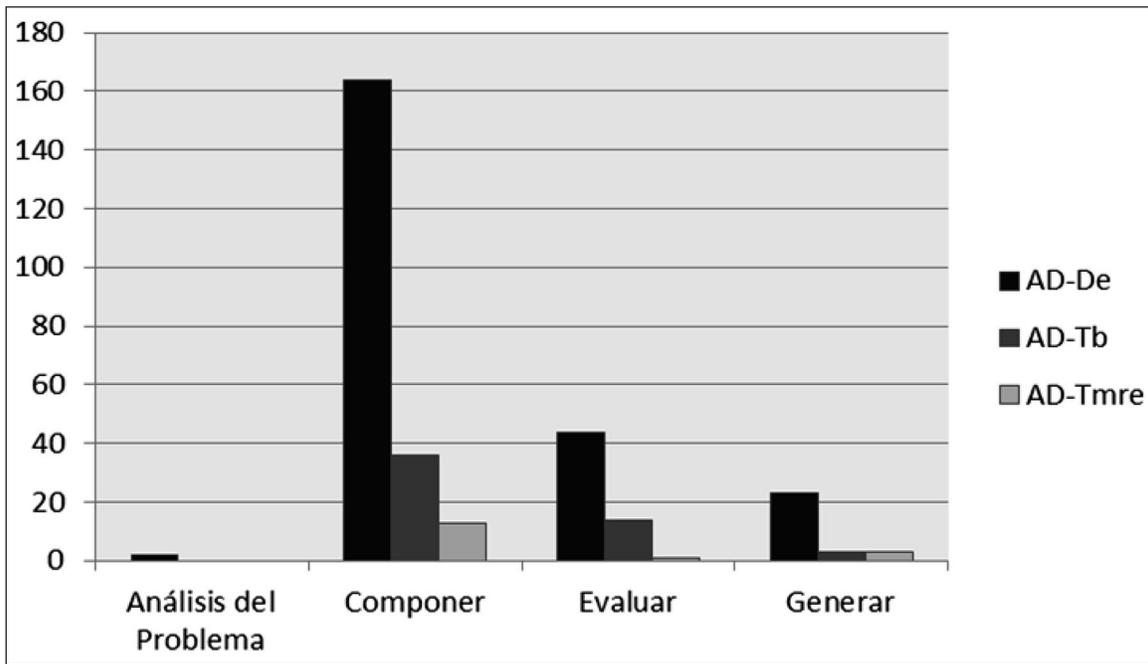


Fig.1. Acciones de dibujo

2. Procesos y acciones de transformación (AT)

La categoría de transformación dinámica emerge de las acciones de dibujo (AD). La transformación se relaciona con la posibilidad de aplicar cambios a unidades de dibujo o a subcomponentes de esas unidades, recursivamente. Estas acciones de representación originan nuevas ideas, o las estimulan, por acumulación de transformaciones sucesivas aplicadas ya sea al parámetro más pequeño de un componente o a una configuración arquitectónica en su totalidad.

Los procesos cognitivos asociados fueron del tipo transformar, ordenar y corregir, tal y como se indica en el Cuadro 3. Los primeros se relacionaron con acciones repetitivas de posicionamiento de unidades de dibujo en el espacio de trabajo y definición de propiedades intrínsecas de elementos, repetición que cesa al obtener la definición más ajustada a lo concebido mentalmente. Asimismo, los procesos de organización permitieron estudiar o definir diferentes configuraciones, y las transformaciones correctivas, se ejecutaron para probar opciones diferentes por edición de parámetros de dimensión o propiedades a los subcomponentes de cada elemento.

Cuadro 3. Procesos y acciones recursivas de transformación (AT)

Procesos	Código	Acciones emergentes
Transformación	Tpe	Disponer la posición espacial de objetos o entidades con transformadores: mover, rotar, escalar, vincular.
	TDp	Definir propiedades.
	TStip	Definir entidad por selector de tipos.
	TDacc	Deshacer/rehacer acción.
	TMsc	Definición sub-componentes de geometrías 3D: nodos, aristas, caras de sólidos o superficies.
	TM/C	Crear elemento arquitectónico a partir de caras en sólidos.

Procesos	Código	Acciones emergentes
Organización	Oce	Componer: simetría, patrón, copia, calca, equidistancia.
	Omob	Insertar/organizar/sustituir mobiliario, manipulación de tipos.
	Ocom	Insertar/organizar/sustituir componente, manipulación de tipos.
	OAg	Unir/agrupar entidades en configuraciones.
Corrección	Cdim	Editar dimensiones.
	Cp	Editar propiedades.
	Cre	Editar por recorte y extensión.

Las acciones de transformación separan visiblemente la ideación analógica de la digital. En la Fig. 2 se muestra la correspondencia dibujo-transformación durante la generación de ideas. Aquí se evidencia que a cada acción de dibujo (AD-De) le corresponde una transformación recursiva (AT-Tpe) casi en proporción de uno a uno al cambiar una idea por otra. Esta paridad sugiere que la representación con fines de diseño ocurre en términos de transformación y no de redibujo, como tradicionalmente se ha descrito.

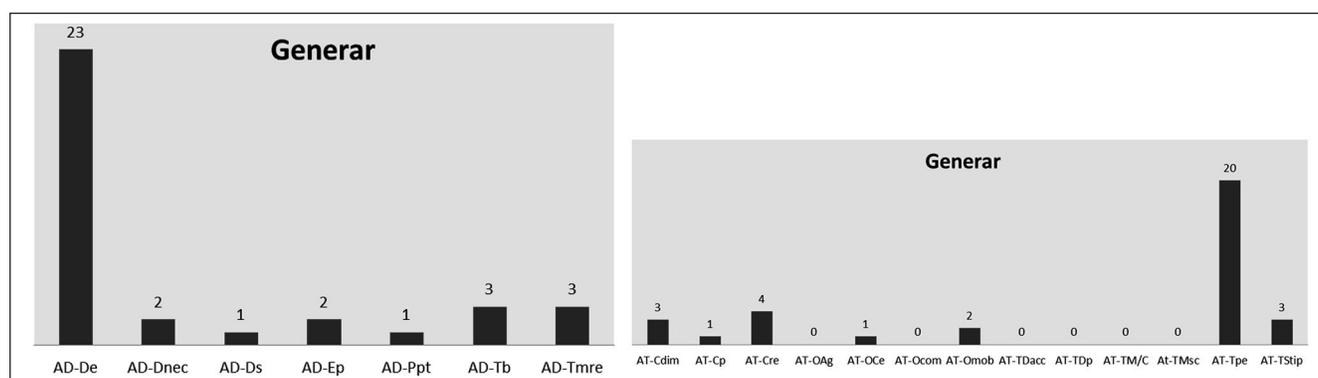


Fig. 2. Acciones de dibujo y transformación recursiva

Las acciones de transformación recursiva permitieron al estudiante explorar una idea por descomposición recursiva (Searle, 2004:72). La idea general la descompuso en ideas más simples y a cada una aplicó transformaciones sucesivas hasta alcanzar la definición de la representación externa de acuerdo con la imagen mental.

Además, los estudiantes indicaron que las acciones de transformación los mantienen conectados con la secuencia de razonamientos en un episodio de diseño. Se infiere, entonces, que el redibujo interrumpe la continuidad en el pensamiento en un momento determinado modificando el contenido de la respuesta cognitiva. También, es común que cuando el diseñador representa con lápiz y papel realice evaluaciones sobre la calidad de su dibujo, qué tan cercano está lo dibujado a lo imaginado. Estas valoraciones sobre habilidades de dibujo no se observaron, pero sí reflexiones acerca de recursos y estrategias digitales más rápidas y acertadas en el modelado.

3. Procesos y acciones de percepción (AP)

Los procesos y acciones perceptivas se circunscriben al ámbito de la atención, inferencia y emoción. La atención se asocia con la percepción de características de forma, tamaño o textura, y la inferencia con relaciones de proximidad, lejanía, alineación, intersección o conexión entre elementos o espacios, igualmente con las características de similitud, uniformidad, diferencia o contraste. El proceso de emoción se manifiesta por medio de la expresión de sensaciones o sentimientos acerca de lo representado.

El Cuadro 4 muestra las acciones y procesos cognitivos emergentes respecto a las categorías iniciales. Algunas acciones perceptivas permanecen en concordancia con los referentes teóricos como la atención a características (Ace, Acn), relaciones (Are) y descubrimientos (Ad). Lo emergente son inferencias de aspectos funcionales (Irf) y de procedimiento (Inacc), y otros asociados a la búsqueda (Abus) o control de tamaños por automatización (Apac). La atención sobre el tamaño de entidades se centra en valores numéricos y no en la proporción figurativa del dibujo como en la forma tradicional. En el segmento 17 y 18 del informe oral E1-L2 (estudiante 1, segunda iteración) se aprecia que el estudiante recurre al control automatizado de dimensiones para mantener la proporción de tamaños:

...ahí trate de modificar las dimensiones para cada uno de los apartamentos, para que quedara con el mismo esquema de los 50 m². En este caso lo que hice fue mover cada una de las paredes y moví y moví las líneas de referencia para tratar que todos me dieran las mismas dimensiones y pudiese, este, como que controlar ese tipo de medida... Y bueno, a cada una le coloqué una herramienta de, una *etiqueta de área* para poder saber si todos estaban en las mismas dimensiones.

Este es un recurso que funciona como transferencia perceptiva, una función que se atribuye porque libera a la memoria de trabajo de tareas visuales como proporcionar áreas o espacios.

Cuadro 4. Procesos cognitivos y acciones de percepción (AP)

Iniciales de la teoría*		Emergentes		
Procesos	Acciones	Procesos	Acciones	Código
Atención	Atender características de nueva representación	Atención	Atender características de representación existente.	Ace
	Atender nuevas características de representación existente		Atender características de nueva representación.	Acn
Relación	Crear o atender relaciones espaciales entre dos componentes espaciales o áreas		Atender relaciones espaciales entre dos componentes espaciales o áreas.	Are
	Crear o atender relaciones espaciales entre presente y pasado		Atender características durante búsqueda de componentes predefinidos.	Abus
Tácitos	Atender la ubicación de un objeto en el espacio de un componente		Controlar por cómputo de área el tamaño de los espacios.	Apac
	Descubrir relaciones organizacionales entre objetos o espacios	Descubrir relaciones organizacionales entre objetos o espacios a partir de representación.	Ad	
	Imponer el significado antes de describir las relaciones	Inferencia	Deducir una función potencial a partir de cambios al dibujo.	Irf
	Sentimiento acerca del espacio		Inferir acciones para aclarar decisiones o procedimientos	Inacc
	Enfatizar características acerca del espacio	Emoción	Expresar sentimiento acerca del espacio.	Ssn
	Enunciar características acerca del espacio.		Sec	
	Expresar significado emocional antes de describir la relación espacial.		Ss	

Nota. *Categorías iniciales definidas con base en Bilda Demirkan (2003), Chen (2001) y Suwa y Tversky (1996).

La Fig. 3, revela que los estudiantes son capaces de buscar, reconocer e interpretar características nuevas y existentes a partir de lo representado. Según la gráfica las acciones de dibujo puramente (AD-De) conducen los procesos de atención hacia características nuevas (AP-Acn) y existentes (AP-Ace), mientras que acciones de transformación del tipo AT-Tpe y AT-Stip conllevan procesos de descubrimiento (AP-Ad).

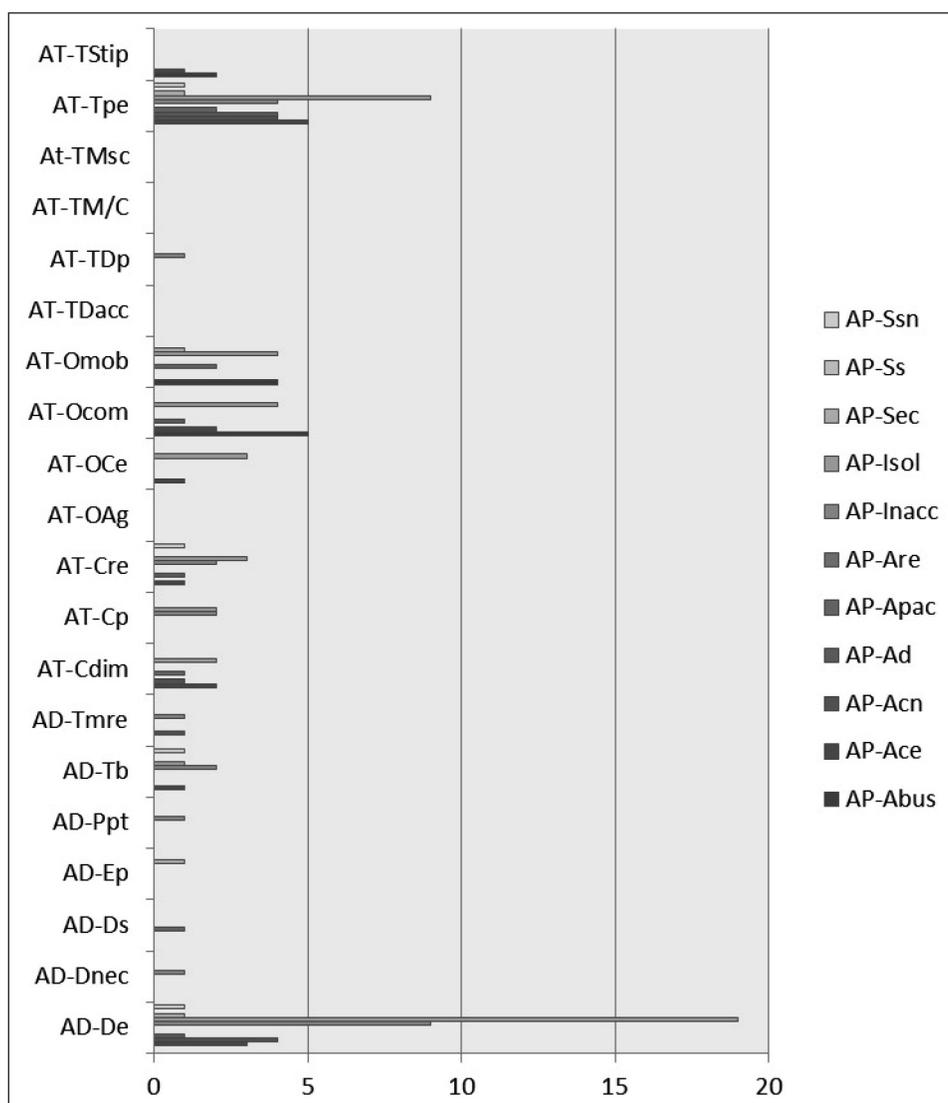


Fig. 3. Transformación y percepción

En la Fig. 4, se informa la coocurrencia entre los procesos recursivos (AT-Tpe) y el descubrimiento (AP-Ad), calculada en una proporción del 80%. El descubrimiento con transformaciones ocurre mayormente en actividades de evaluación de forma y función (AE-Eval), evaluaciones de requerimientos, condicionantes (AE-Crc) y conceptos de diseño (AE-Econ). Estas observaciones evidencian que la forma de percepción asociada a una consecuencia no intencional de movimientos en la representación, abre posibilidades hacia otros dominios que son relevantes para la solución, aunque no este pensando en ellos para un momento dado.

En resumen, el razonamiento perceptivo inducido por la representación digital se circunscribe mayormente a propiedades y funciones de la forma visible. Las entidades y sus relaciones geométricas se identifican y verbalizan claramente en los protocolos. La forma explícita de información digital, acerca de la geometría y topología de las entidades y elementos representados, dispone una condición especial para las inferencias y evaluación.

4. Procesos y acciones de visualización (AV)

Esta categoría emergente reúne las acciones y procesos en torno a la visualización. Como se detalla en el Cuadro 5, los estudiantes demostraron dos formas de visualización, una, exclusivamente mental, visualizar,

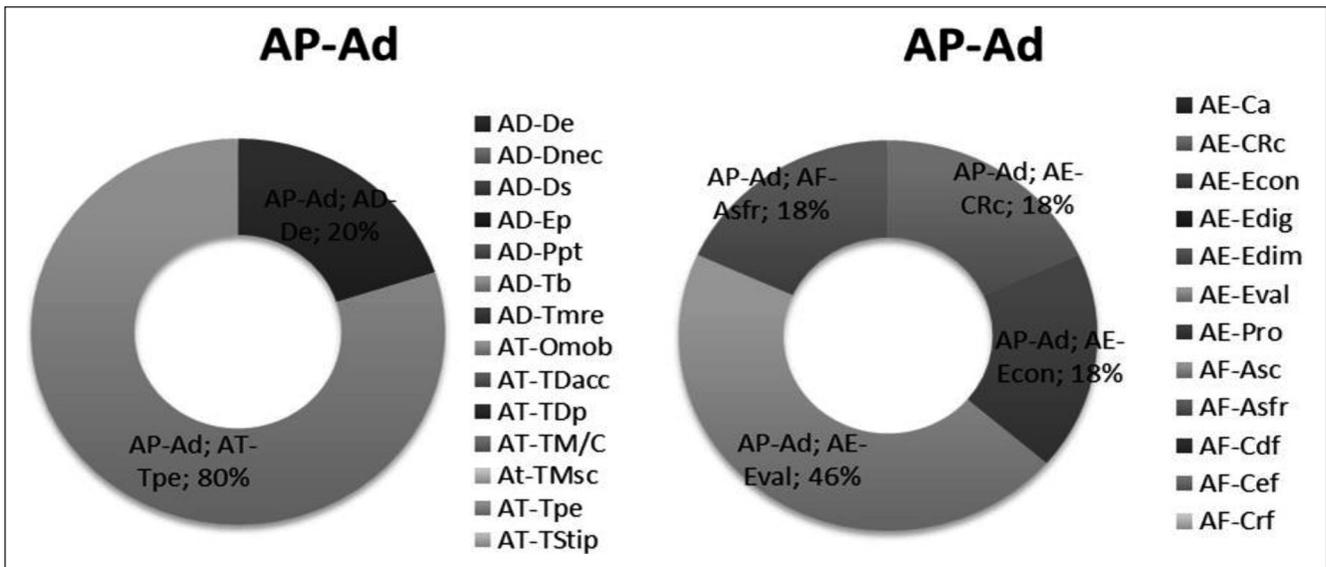


Fig. 4. Transformación y descubrimiento

relacionada con la acción de imaginar con rasgos visibles algo que no se tiene a la vista y otra, simulada, visibilizar, donde hace visible artificialmente lo que no se puede tener a simple vista.

Cuadro 5. Procesos y acciones de visualización

Procesos	Código	Acciones emergentes
Visualización	Vim	Visualizar imágenes de concepto de diseño.
	Vref	Visualizar referencias: imágenes de revistas, recuerdos, conocimiento arquitectónico.
	Vcon	Visualizar formas, técnicas constructivas o materiales.
Visibilización	V2D	Usar visualización en dos dimensiones.
	V3D	Usar visualización en tres dimensiones.
	Vaa	Usar modo de acercar/alejar.
	Vs	Seleccionar modo de sombreado con el objeto de visualizar características estéticas.
	Vsom	Activar sombras para percepción espacial.

La visualización se identificó en los informes a través de expresiones orales sobre algún proceso de formación de imagen mental de conceptos de diseño, referencias, recuerdos o asociaciones externas, en medio de una acción de representación. Los recursos de visibilización bidimensional, tridimensional, acercamiento-alejamiento, viraje con órbita, sombras o sombreado le permitieron al estudiante tener a la vista tanto geometría como propiedades de los elementos para valorar intenciones o decisiones.

Para ilustrar acciones de visibilización (AV-V3D) se cita el segmento 12 del informe oral E1-L2: *...Luego me fui a la "visualización" tridimensional porque quería ver realmente a nivel espacial, si ese tipo de cosas funcionaban, si esa forma de hexágono no era una forma rígida, ni se veía...este...extraño.* Aquí se menciona la acción AV-3D una sola vez, pero en el informe de actuación se observan secuencias continuas de visibilización tridimensional que finaliza cuando se alcanza la comprensión del objeto representado.

En la Fig. 5 se grafican las dos acciones visualización, mental (AV-Vim, AV-Vref, Vcon), y simulada (AV-3D, AV-2D) e ilustra el comportamiento durante los episodios de generación de ideas. Allí la visualización de imágenes mentales acerca del concepto de diseño domina la actividad y coocurre con la visibilización tridimensional (AV-3D) en un 75% de las veces.

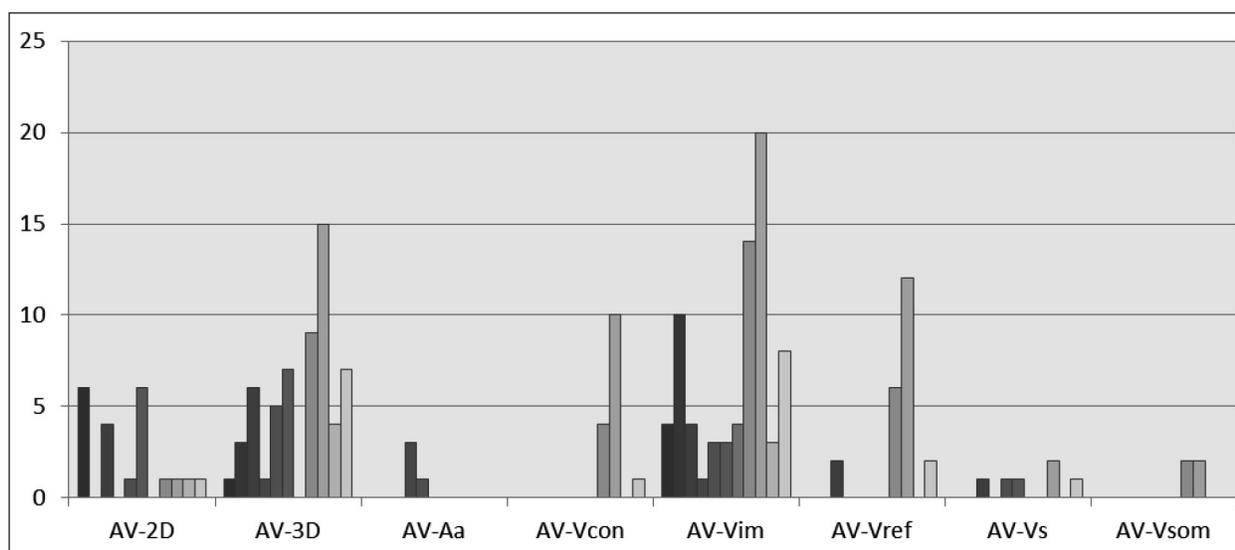


Fig. 5. Acciones de visualización y visibilización

Los recuerdos y las referencias externas igualmente coinciden con AV-3D, pero en un porcentaje del 86%. Es decir, la alternancia entre estos dos modos de ver estimuló al estudiante a la generación de imágenes mentales constructivamente así como su comprensión.

Por otra parte, en la interacción con la realidad artificial, el estudiante asume con naturalidad acciones que sólo son posibles en un entorno de simulación, como quitar de su vista una pared o probar materiales distintos instantáneamente. Para ilustrar el primer caso, en el segmento 23 del informe E2-L2 se verbaliza: *Cuándo me voy al 3D utilizo una herramienta de ocultar, para quitar ciertas paredes o elementos que me obstruyen la visión completa del elemento.* Aquí, la visibilización posibilita al estudiante ver o no, selectivamente, elementos o componentes de dibujo. Este comportamiento adoptado por el estudiante naturalmente puede atribuirse a la condición cultural de la era digital, en la que vive y desarrolla sus conocimientos.

En resumen, los protocolos reflejan que el sistema de percepción del estudiante asume con familiaridad la naturaleza simulada del objeto arquitectónico, reconoce las formas como elementos y no como geometrías que proyectan el objeto real. Igualmente ocurre con las relaciones, las cuales construye utilizando propiedades que interpreta bajo las condiciones tipológicas, topológicas y de desempeño del objeto virtualizado.

5. Procesos y acciones de evaluación (AE)

Esta categoría reúne las acciones y procesos que se llevan a cabo con el fin de valorar conceptos, decisiones o procedimientos de diseño considerando requerimientos y condicionantes así como criterios personales. El estudiante realiza evaluaciones para asegurarse que la porción de diseño, generada en un momento determinado, es relevante, útil y buena. Los protocolos evidencian tres tipos de procesos evaluativos: de evaluación, computación y de procedimientos, como se describen en el Cuadro 6.

El Cuadro muestra que al evaluar el estudiante juzga con elementos de valor alguna forma o función (AE-Eval), contrasta decisiones de acuerdo con requerimientos y condicionantes (AE-Ecrc), valora la viabilidad de un concepto (AE-Econ) e indica el valor de un procedimiento del entorno digital en la construcción de la solución (AE-Pro).

Evaluar se constituye, una vez más, como actividad determinante para el proceso de resolución de un problema arquitectónico (Eastman,1969). Estructuralmente, se exhibe como un proceso que anida acciones de diferentes categorías cognitivas.

Cuadro 6. Procesos cognitivos y acciones de evaluación

Iniciales de la teoría *		Emergentes		
Procesos	Acciones	Procesos	Acciones	Código
Evaluación	Hacer juicios sobre una función	Evaluación	Hacer juicios de valor sobre una función o forma.	Eval
	Generar solución funcional/resolver conflictos		Contrastar decisiones según requerimientos, condicionantes y criterios.	Ecrc
	Cuestionar/mencionar cuestiones de diseño emergente/conflictos		Evaluar viabilidad de un concepto de diseño (útil y relevante).	Econ
			Valorar la influencia de una característica del entorno digital en la construcción de la solución.	Edig
		Computación	Evaluar áreas y dimensiones a través de herramientas de medición, componentes o mobiliario.	Ca
		Procedimiento	Reflexión acerca de procedimientos o estrategias digitales.	Pro

*Categorías iniciales definidas con base en Bilda y Demirkan (2003), Chen (2001) y Suwa y Tversky (1996).

Como se aprecia en la Fig. 6, al evaluar, el estudiante recurre a varias acciones de representación (Ad-De, AT-Tpe-Cdim-Cre-Oce-Ocom) y de lo representado percibe características (AP-Ace-Acn), elabora inferencias (AP-Isol) y hace descubrimientos (AP-Ad).

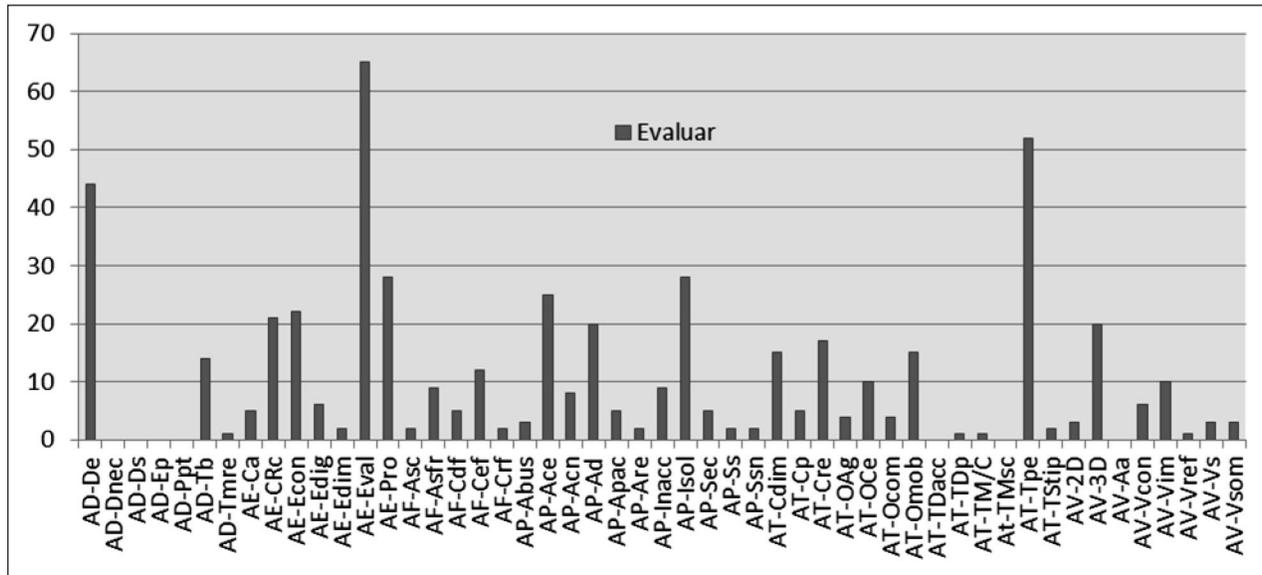


Fig. 6. Acciones cognitivas en la evaluación

Cada evaluación es el punto de partida para una siguiente evaluación, particularidad que favorece la exploración y definición de la solución. Desde la teoría tradicional las principales acciones de evaluación se han definido dentro una secuencia de atención, prueba y manipulación (Akin, 1986). Según los resultados de este estudio, el proceso evaluativo se caracteriza por el esquema de acciones cognitivas dibujar-percibir-transformar-evaluar.

Los informes orales evidencian que la evaluación es un proceso de valoración continuo e implica contrastar cada decisión con los criterios de diseño (AE-Econ) y requerimientos y condicionantes (E-Crc). Es un proceso

Violeta Rangel Rodríguez, Ramón Aníbal León Salazar. Particularidades cognitivas asociadas a la representación digital en estudiantes de arquitectura

en el que además, el descubrimiento (AP-Ad) promueve nuevas evaluaciones (AP-Ad), como ha de observarse en segmento 41 del informe E3-L3:

...De la vista 3d, no llegué hasta la pared simplemente, dije lo voy a mover desde la vista, así hasta el final de la plataforma de construcción, listo. De una vez me percaté de esto, mira dónde está la columna, dónde está la viga, mira que estoy pasando por elementos estructurales. Lo que hice fue, no, ya va, esta escalera primero no la quería tan grande, está escalera no la quería tan grande porque me está ubicando un cuarto del espacio, entonces la modifiqué. Igualito moví esto, moví ambas cosas, moví escalera y moví esto, entonces ya esto me está quitando todo el espacio. Abrí y por lo general, uno necesita escalera y para una persona, 2 personas mínimo, 70 cm, si es una de mayor dimensión, 1. 20, si es una escalera pública 1.80.

Los descubrimientos que nacen del proceso mismo de evaluación claramente están asociados a las acciones de atención (AP-Ace) e inferencias (AP-Isol). La evaluación mediada por la herramienta digital se mostró como un proceso cíclico y recursivo unido, por supuesto, a la propiedad recursiva de las entidades digitales en las acciones de transformación (AT).

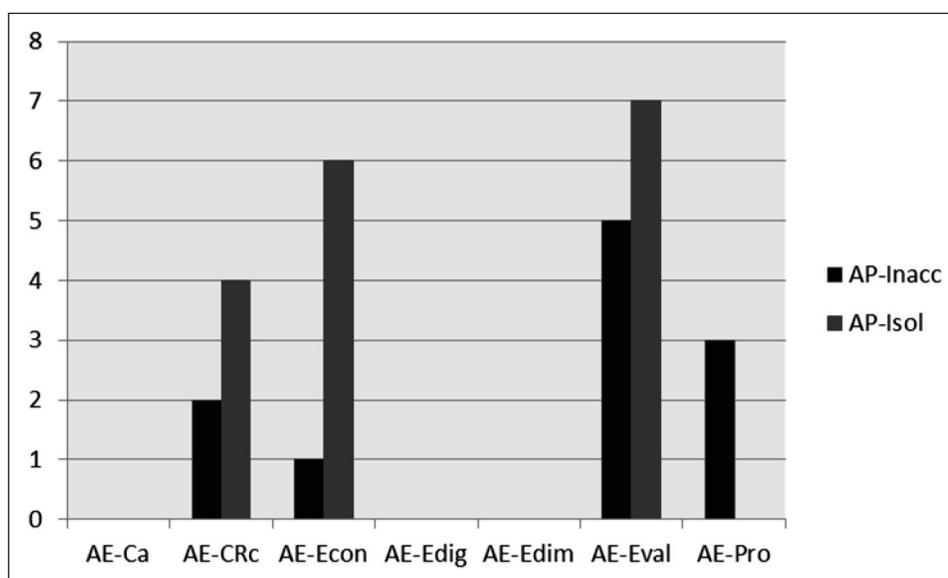


Fig. 7. Acciones de inferencia y evaluación

Como se muestra en la Fig. 7, las inferencias acerca del modo de resolución (AP-Isol) se suman a la evaluación de requerimientos y condicionantes (AE-CRC), conceptos de diseño (AE-Econ) y juicios de valor de forma y función (AE-Eval), con el objetivo de producir alternativas acertadas. En menor proporción, las inferencias acerca de procedimientos (AP-Inacc), se identifican con las decisiones que resultan de evaluaciones (AE-CRC, AE-Econ, AE-Eval) y con las procedimentales (AE-Pro). Las inferencias son, en muchas ocasiones, resultados intermedios hacia el proceso de toma de decisiones y participan activamente en la búsqueda de la solución y sus estrategias.

Se puede constatar, una vez más, que los procesos de pensamiento son cíclicos e iterativos; pero cuando las acciones de representación tienen esencia recursiva (AT), el estudiante aprovecha y transforma sus ciclos iterativos en recursivos para producir una respuesta que es producto de acumulación de modificaciones. Esto se hace explícito a través la verbalización, no obstante para su confirmación hay que acudir a los protocolos de actuación. La forma iterativa y recursiva pareciera un comportamiento natural en el pensamiento humano, en este estudio se observó este modo de razonamiento reiteradamente durante las actividades del proceso de ideación.

Conclusiones y Discusión

De acuerdo con los protocolos examinados, los estudiantes de arquitectura en la fase temprana del proceso de diseño dibujan para ellos mismos, para ayudarse a sí mismos a ver, razonar y entender sus ideas y su modo de trabajo. Los resultados demuestran en general que, por una parte, la forma estructurada y virtual de representación contribuye a la percepción y generación de nuevas ideas, y por otra, la naturaleza recursiva de las operaciones y objetos digitales se traslada a los procesos cognitivos haciéndolos recursivos.

En el entorno digital las acciones de dibujo y transformación conforman el acto de la representación. Dibujar, es la forma de introducir entidades o elementos en el espacio de representación y transformar es el modo de manipularlos. Las transformaciones de representación son de definición básica y recursivas. Las primeras (AD) las utiliza el estudiante cuando necesita definir, ubicar y orientar una entidad en el espacio de diseño. Las segundas (AT) son transformaciones dinámicas, las cuales se aplican repetidamente a una misma unidad de dibujo o conjunto de ellas para alcanzar una transformación de diseño.

Las transformaciones hacen que el redibujo, como se conoce tradicionalmente, desaparezca, redibujar resulta en una interrupción. Gero y otros (2015:130) consideran la interrupción es perjudicial para el desempeño de la tarea primaria. Las interrupciones obligan a efectuar cambios estratégicos para aumentar la eficiencia y compensar las posibles influencias negativas sobre la continuidad de procesamiento y memoria de trabajo.

Es paradójico que las transformaciones, por un lado, disminuyan las interrupciones y proporcione mayor velocidad de respuesta y estímulo a la exploración, y por el otro, reduzcan las posibilidades de retroalimentación por percepción visual, ya que eliminan del espectro visual la decisión anterior.

Sin embargo, la forma digitalizada promueve que ciertos procesos de retroalimentación ocurran sin apoyo de la forma externa. Tareas como el redibujo, atención constante a propiedades figurativas de forma y tamaño y valoraciones permanentes a destrezas de dibujo, salen de la memoria de trabajo cediendo su espacio a otras tareas y procesos. Esto es, el redibujo se convierte en transformación (AT), la percepción de tamaños y proporciones figurativas en reportes numéricos (AP-Apac) y la comparación entre lo pensado y lo representado termina sólo cuando el diseñador está satisfecho con la coherencia de los conceptos en la solución de diseño y no con la calidad de su dibujo.

El sistema de percepción en el entorno virtual funciona a través del reconocimiento de elementos y atributos del objeto real en la representación. Las relaciones se construyen a partir de la “lectura” e interpretación de propiedades geométricas y reglas de comportamiento asociadas en la unidades de dibujo. Las configuraciones arquitectónicas se perciben como conjuntos donde se sabe que todos los elementos comparten atributos específicos. El estudiante aprovecha esta característica e identifica con facilidad semejanzas, conexiones y estructuras organizacionales según reglas de pertenencia, que Arnheim (1969) definió como funciones perceptivas indispensables para la comprensión. La representación estructurada preserva la misma lógica y desempeño de la realidad arquitectónica en el modelo digital, razón por la cual apoya la percepción de pertenencia o no en la definición de aspectos funcionales.

Para un estudiante tener toda la información en un solo conjunto gráfico coherente, disminuye los tiempos de búsqueda y reconocimiento, y reduce la necesidad de utilizar etiquetas simbólicas durante la resolución del problema. Sin embargo, en el proceso de representación se producen movimientos mentales, no representados, y asociados a lo que el diseñador está viendo. Como consecuencia de esto se llevan a cabo inferencias de otras inferencias, manipulación viso-mental asistida por la gráfica que tiene consecuencias apreciables en el diseño, pero son iteraciones difíciles de registrar y observar.

Dos acciones hacen singular el orden perceptivo: visualizar y visibilizar. La visualización asociada al proceso de formación de imagen mental sobre conceptos de diseño (Vim, Vcon) o referencias externas (Vref) y la visibilización, que permite hacer posible intenciones en el diseño. Ambos recursos facilitaron la percepción de características (AP-Ace, Acn) y descubrimientos (AP-Ad), promoviendo la comprensión y elaboración de inferencias (AP-Ifr). Reconocer la visualización simulada o visibilización en los informes orales se considera un

aporte importante a la caracterización cognitiva en estudiantes, ya que se ha demostrado que los cambios de percepción visual, con el programa de modelado, estimula al diseñador a generar imágenes mentales, al igual que con lápiz y papel, pero en este caso son más fuertes y más frecuentes, resultado que confirma lo hallado por Marx (2000) y Won (2001).

La cognición en el entorno digital está sujeta a las condiciones que impone la virtualidad y la visibilización, cualidad de lo virtual, proporciona al estudiante la capacidad de comprender mayor cantidad de información, percibir propiedades emergentes que no previeron, convertir información oculta en evidente y promover la comprensión de características, tanto a gran escala como a pequeña escala. La virtualidad, en este sentido potencia las expresiones sensoriales y crea en el estudiante una sensación de inmersión (Ferrés, 2003:37). Igualmente, se comparte la teoría de que la virtualidad replantea de raíz los modos cómo los diseñadores se relacionan con sus razonamientos, dejando ver que la existencia aparente redimensiona la relación con los argumentos y la simultaneidad e instantaneidad con el tiempo (Martin-Barbero y Rey 2009).

Los procesos evaluativos, por su parte, se revelan como la segunda actividad más prolífica en el entorno digital y esto concuerda con la caracterización que hace Akin (1986) sobre arquitectos. La evaluación mediada digitalmente puede ser cíclica, iterativa o recursiva. En este estudio se encontró que este proceso coincide mayormente con acciones de transformación recursiva (AT), coocurrencia que la convierte en un proceso recursivo en si mismo. De acuerdo con los criterios de Morin (2006) y Corballis (2014), un proceso puede ser recursivo si los productos son recursivos y los efectos también lo son. Entonces, si el pensamiento es estimulado por transformaciones de representación recursiva el producto de esa transformación desencadena efectos recursivos en la cognición.

Definitivamente los ciclos de recursividad observados aquí diferencian la fase de ideación modelada por Jin y Chuslip (2006), en la que plantean una dinámica iterativa entre actividades cognitivas de análisis, generación, composición y evaluación. El aporte de este estudio al modelo cognitivo de Jin y Chuslip (2006) es que el “comportamiento” dinámico de los procesos cognitivos no se limita a la forma iterativa de repetición, sino que además ocurre recursivamente.

Particularmente, al evaluar, el estudiante utiliza en mayor proporción las transformaciones esenciales (AT-Tpe), compositivas (AT-Cre, Ocom), de dimensión (AT-Cdim) y tipos de mobiliario (AT-Omob) aprovechándolas como entrada para una siguiente evaluación. Las transformaciones con fines evaluativos de identificación de requerimientos y condicionantes coocurren con procesos perceptivos de atención a características representadas, nuevas y existentes, descubrimientos e inferencias.

Asimismo, durante la valoración y contraste de conceptos y limitantes de diseño coocurren acciones de visibilización 3D para comprender los efectos de las decisiones, hacer inferencias y establecer la secuencia de pasos a seguir. Por lo tanto, evaluar no sólo le permitió al estudiante orientar el proceso generativo, enmarcando los objetivos principales de la problemática arquitectónica, sino que se convirtió en un proceso constructivo que posibilitó la definición y clarificación de la solución.

Nuestros hallazgos dejan ver que el proceso de razonamiento visual en estudiantes cuando trabajan con herramientas digitales tiene fuertes raíces en la manipulación geométrica, razón por la cual es necesario profundizar en las condiciones de mediación paramétrica. Igualmente, habría que extender el análisis a otros niveles de formación, considerando que la penetración tecnológica no es selectiva y los estudiantes se atreven, cada vez más, a experimentar con representaciones digitales en los primeros semestres de la carrera de arquitectura.

Finalmente, interactuar con representaciones digitales modifica la intensidad del proceso cognitivo y su contenido, sobre todo si se supone que las representaciones externas no son solamente suministros o estímulos a la mente, sino que son tan intrínsecas a la cognición que la circunscriben, orientan y delimitan. Lo heredado de la cognición analógica valió para enmarcar la investigación y confirmar que los pensamientos de **diseño se construyen a partir del estímulo visual**, pero como se ha mostrado la forma cognitiva en el entorno digital obedece a una dinámica diferente. ©

Violeta Rangel Rodríguez. Arquitecto. Msc. en Ingeniería de Estructuras. Doctorando en Educación. Profesor asociado de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Los Andes en las áreas de dibujo digital y Modelado de Información para la Edificación (BIM)

Ramón Aníbal León Salazar. Doctor en Educación. Docente e investigador de la Facultad de Humanidades y Educación de la Universidad de Los Andes. Miembro del Centro de Investigaciones en Lectura, Escritura e Innovaciones Socioeducativas (CENDILES) y del Grupo de Investigaciones e Innovaciones Socioeducativas (GISE).

Referencias biblio-hemerográficas

- Akin, Ö. (1986). *Psychology of architectural design*. London: Pion.
- Arnheim, Rudolf (1969). *Visual Thinking*. Los Angeles: University of California Press.
- Asanowicz, Aleksander (2016). Digital Architectural Composition - 30 years of experience and experimentation. En H. Aulikki, T. Österlund, & P. Markkanen (Ed.), *Complexity and simplicity-Proceedings of the 34th eCAADe conference*, Vol. 1, págs. 195-203. Oulu: University of Oulu.
- Bilda, Z., & Demirkan, H. (2003). An insight on designers sketching activities in traditional versus digital media. *Design Studies* (24), 27-50.
- Chen, S.C. (2001). Analysis of the use of computer media by expert and novice designers. *Proceedings of the Sixth Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia* (págs. 71-80). Sydney: CAA-DRIA 2001.
- Corballis, M. (2014). *La mente recursiva*. Barcelona: Biblioteca Buridán.
- Doyle, S., & Senske, N. (2016). Between design and digital: bridging the gaps in architectural education. AAE 2016 International Peer-reviewed Conference. 1, págs. 192-209. London: Research Based Education 2016.
- Eastman, Charles M. (1969). *Explorations of the cognitive process in desing*. Carnagie Mellon University, Computer Science department. Pittsburgh: Computer Science department.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis: Verbal report as data*. Cambridge: MIT Press.
- Ferrés Prats, Joan (2003). *Educar en una cultura del espectáculo*. Barcelona: Paidós Ibérica.
- Gero, J., Jiang, H., Dobolyi, K., & Brooke, B. (2015). How Do Interruptions During Designing Affect Design Cognition?, J. Gero, & S. Hanna (Edits.), *Design Computing and Cognition '14*, 119-133.
- Goldschmidt, Gabriela (1991). The dialectics of sketching. *Creativity Research Journal*, 4 (2), 123-143.
- Jin, Y., & Chusilp, P. (2006). Study of mental iteration in different design situations. *Design Studies* (27), 25-55.
- Lawson, Edward Benn. (1979). Cognitive Strategies in Architectural Design. *Ergonomics*, 22 (1), 59-68.
- Marx, J. A. (2000). A proposal for alternative methods for teaching digital design. *Automation in Construction*, 9, 19-35.
- Morin, Edgar Nahum (2006). *El método 3. El conocimiento del conocimiento*. España: Ediciones Cátedra.
- Newell, Allen, & Simon, Herbert Alexander (1972). *Human Problem Solving*. N.J: Prentice-Hall.
- Shön, Donald Alan (1992). *La formación de profesionales reflexivos*. Hacia un nuevo diseño de la enseñanza y el aprendizaje en las profesiones. Barcelona: Edicione Paidos.
- Schön, Donald Alan, & Wiggins, Glenn (1992). Kinds of seeing and their functions in designing. *Design Studies*, 13 (2), 136-156.
- Searle, John Rogers (2004). *Mind, a brief introduction*. New York: Oxfors University Press.
- Won, P. H. (2001). The comparison between visual thinking using computer and conventional media in the concept generation stages of design. *Automation in Construction*, 10, 319-325