



Universidad de Los Andes
Facultad de Humanidades y Educación
Doctorado en Educación

Tesis:

Procesos cognitivos asociados a la representación digital en el diseño arquitectónico

Requisito para optar al título de Doctor en Educación

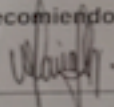
Tesista: Violeta Rangel Rodríguez
Tutor: Dr. Aníbal León

Junio, 2016

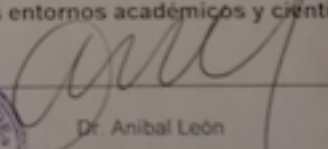
VEREDICTO

DEFENSA DE TESIS DOCTORAL

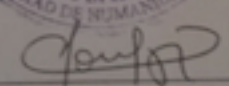
Los suscritos, miembros del jurado designados por el Consejo Directivo del Doctorado en Educación de la Facultad de Humanidades y Educación y por el Consejo de Estudios de Postgrado de la Universidad de Los Andes, reunidos para conocer y evaluar la defensa pública de la Tesis Doctoral, titulada: "Procesos cognitivos asociados a la representación digital en el Diseño Arquitectónico", elaborada por la Arq. Violeta Carolina Rangel Rodríguez, titular de la cédula de identidad N° 6.810.103, como requisito parcial para optar el Grado de Doctor en Educación, luego de revisarla y llevarla a su discusión en acto público, celebrado en el Salón de Reuniones del Doctorado en Educación de la Facultad de Humanidades y Educación de la Universidad de Los Andes, el día 15 de julio de dos mil dieciséis, a las 09:00 am, emitieron el siguiente veredicto: **Aprobado por cuanto cumple con los requisitos establecidos en la Normativa Universitaria y en el Reglamento del Doctorado en Educación, con respecto a los estudios Doctorales. En virtud de la calidad de esta investigación y de la Tesis Doctoral y de los aportes importantes en el estudio de la cognición de la representación digital en el Diseño Arquitectónico, el jurado recomendando su Publicación y difusión en los entornos académicos y científicos.**


Dra. María Helena Luengo

Facultad de Humanidades y Educación
Universidad de Los Andes


Dr. Anibal León

Facultad de Humanidades y Educación
Universidad de Los Andes
Tutor


Dra. Beatriz González

Universidad Nacional Experimental Los Llanos – Barinas
Lector Externo

Mérida, 15 de julio de 2016

Índice General

Resumen.....	10
Introducción	11
Capítulo 1. El problema de investigación	18
1.1 Planteamiento del problema.....	18
1.2 Objetivos.....	24
1.2.1 Objetivo general.....	24
1.2.2 Objetivos específicos	24
1.3 Justificación	25
Capítulo 2. Marco Teórico: Diseño, cognición y representación Digital	27
2.1 Antecedentes.....	27
2.2 Diseño como actividad cognitiva.....	36
2.3 Modelos cognitivos del diseño arquitectónico y la ideación	44
2.4 Representación externa y cognición del diseño	52
2.5 Representación y cognición en el entorno digital	59
2.5.1 Acciones de representación y percepción	62
2.5.2 Percepción y transformaciones de diseño	67
2.5.3 Dibujo digital	71
2.5.4 Acciones de representación estructurada	74
2.5.4.1 Representación de la forma.....	75
2.5.4.2 Parámetros y atributos.....	78
2.5.4.3 Entidades.....	81

2.5.4.4 Operadores de comportamiento en entidades	86
2.6 Resumen del capítulo	90
Capítulo 3. Marco Metodológico: Análisis de protocolos de diseño.....	93
3.1 Objeto de estudio	95
3.2 Método de análisis de protocolo en el diseño	96
3.3 Participantes	100
3.4 Técnicas y procedimientos para la recolección de datos	100
3.4.1 Informes orales y verbalización	101
3.5 Análisis y procesamiento de la información	104
3.5.1 Transcripción de la verbalización	104
3.5.2 Segmentación	105
3.5.3 Categorías de iniciación	106
3.6 Método de la comparación constante.....	109
3.7 Estudio de protocolos de diseño	111
3.7.1 Sesiones de informes orales	113
3.8 Estudio piloto	114
3.8.1 Registro de datos.....	115
3.8.2 Resultados y discusión.....	117
Capítulo 4. Resultados: Protocolos de diseño: actividades, acciones y procesos.....	122
4.1 Protocolos retrospectivos de diseño.....	124
4.2 Sistema categorial: procesos cognitivos emergentes	130
4.2.1 Acciones cognitivas de dibujo	135
4.2.2 Procesos cognitivos y acciones de percepción.....	138
4.2.3 Procesos cognitivos y acciones de función	143

4.2.4 Procesos cognitivos y acciones de evaluación.....	146
4.2.5 Procesos cognitivos y acciones de visualización.....	150
4.2.6 Procesos cognitivos y acciones de transformación recursiva	153
4.3 Espacios cognitivos de registro definido	157
4.3.1 Espacio de análisis del problema	157
4.3.2 Espacio cognitivo de generación	161
4.3.1 Espacio cognitivo de composición.....	164
4.3.1 Espacio cognitivo de evaluación.....	169
4.4 Resumen del capítulo	171
Capítulo 5. Conclusiones y Discusión	175
5.1 Relaciones cognitivas entre espacios, acciones y procesos	175
5.2 De los procesos perceptivos y las acciones de representación	177
5.3 De los procesos evaluativos y el progreso de la solución	192
5.4 Transformaciones de representación y transformaciones de diseño	200
5.5 Virtualidad y visualización, singularidades del orden perceptivo	205
Referencias.....	213
Anexos	223

Índice de figuras

Figura 1: Dimensiones de la investigación	18
Figura 2: Modelo del proceso de diseño de Sanoff.....	32
Figura 3: Actividades cognitivas del proceso de diseño	35
Figura 4: Modelo multi-almacen de Atkinson y Shifrin	37
Figura 6: Modelo de actividad cognitiva del diseño conceptual.....	41
Figura 7. Procesos de evaluación e iteración en boceteo: Daniel Liberskind	42
Figura 8: Imagen vectorial y mapa de bits.....	62
Figura 8: Imagen vectorial y mapa de bits.....	68
Figura 10: Operador geométrico.....	69
Figura 11: Parámetros geométricos de geometrías básicas.....	70
Figura 12: Modelado con operadores	71
Figura 13: Concepto de Familia.....	72
Figura 14: Restricciones de comportamiento al elemento pared.....	74
Figura 15: Restricciones de comportamiento en escaleras	75
Figura 16: Relación bidireccional de los elementos techo y pared.....	76
Figura 17. Relación bidireccional entre información y pared.....	77
Figura 18: Elemento controlado por operadores.....	78
Figura 19: Atributos de tipo.....	80
Figura 20: Operadores de alto nivel.....	81
Figura 21: Esquema de iteraciones de muestreo.....	92
Figura 22: Procesamiento de información de protocolos	97
Figura 23: Instante de la tarea.....	108

Figura 24: Iteraciones y categorías emergentes	119
Figura 25: Transformación recursiva, atención y reconocimiento de la función	125
Figura 26: Orden cognitivo y criterios de segmentación	125
Figura 27: Acciones de transformación simple.	128
Figura 28: Acciones perceptivas por actividad	132
Figura 29: Acciones de descubrimiento por protocolo	133
Figura 30: Acciones de función por protocolo.	136
Figura 31: Acciones de evaluación e inferencias.....	139
Figura 32: Acciones de dibujo, transformación recursiva y evaluación	140
Figura 33: Acciones de visualización	143
Figura 34: Acciones de transformación	145
Figura 35: Acciones cognitivas y análisis del problema.....	150
Figura 36: Acciones cognitivas y generación de ideas.	152
Figura 37: Acciones dibujo y transformación en la generación	154
Figura 38: acciones cognitivas y actividades de composición.....	156
Figura 39: Dibujar y transformar en la composición	158
Figura 40: Acciones perceptivas en la composición.....	159
Figura 41: Acciones cognitivas en la actividad de evaluación	160
Figura 42: Acciones de transformación recursiva y percepción en la actividad de evaluación .	161
Figura 43: Correspondencia entre dibujo de entidades y transformaciones de posición	171
Figura 44: Relación de las acciones de dibujo y transformación con procesos perceptivos y semánticos.....	171
Figura 45: Acciones funcionales.....	172
Figura 46: Dibujo, transformación y acciones perceptivas.....	175

Figura 47: Máximos de acciones perceptivas y de visualización	177
Figura 48: Acciones perceptivas y la dimensionalidad del espacio.....	178
Figura 49: Acciones de dibujo e inferencias.....	179
Figura 50: Relaciones dibujo y transformación en el rango de la atención	182
Figura 51: Totales de acciones cognitivas	184
Figura 52: Relación dibujo y procesos semánticos.....	186
Figura 53: Acciones cognitivas en evaluaciones iterativas.....	187
Figura 54: Dinámica recursiva en el proceso de ideación	194
Figura 55: Mapa cognitivo de la mediación digital	202

Índice de cuadros

Cuadro 1. Categorías de acción para el análisis del proceso	21
Cuadro 2. Categorías y descriptores para el análisis de la representación digital	24
Cuadro 3. Operadores sobre unidades de diseño	28
Cuadro 4. Actividades cognitivas en la fase de ideación.....	40
Cuadro 5. Categorías de iniciación y esquema de codificación.....	99
Cuadro 6. Tareas de diseño	106
Cuadro 7. Registro verbal, actividad y acción cognitiva	109
Cuadro 8. Acciones y procesos cognitivos anidados	122
Cuadro 9. Verbalización, actividad generación	123
Cuadro 10. Actividades generar-componer y acciones de visualización.....	124
Cuadro 11. Categorías emergentes de dibujo	127
Cuadro 12. Procesos cognitivos emergentes en acciones perceptivas	130
Cuadro 13. Procesos cognitivos emergentes en acciones funcionales.....	134
Cuadro 14. Procesos cognitivos emergentes en acciones evaluativas	137
Cuadro 15. Procesos cognitivos emergentes en acciones de visualización	141
Cuadro 16. Procesos cognitivos emergentes en acciones de transformación recursiva	145
Cuadro 17. Episodios de razonamiento funcional	173
Cuadro 18. Referentes analógicos y formales.....	176

Índice de tablas

Tabla 1. Tiempos de verbalización y protocolos de actuación	117
Tabla 2. Participación de acciones de dibujo	127
Tabla 3. Participación de acciones de percepción	133
Tabla 4. Participación de acciones de función.....	135
Tabla 5. Participación de acciones de evaluación.....	140
Tabla 6. Participación de acciones de visualización	144
Tabla 7. Participación de acciones de transformación recursiva	148

Resumen

Se presenta una investigación sobre cognición del diseño que profundiza en el conocimiento de los procesos cognitivos asociados a la representación digital. El argumento principal discurre en torno al papel de las representaciones en la resolución de problemas de diseño. Las singularidades de la herramienta digital y su influencia en la cognición se observan en la fase de ideación. Los resultados cualitativos se obtuvieron a partir del análisis de protocolos de diseño de estudiantes y el análisis comparativo constante de los datos. En el análisis aparecen nuevas definiciones y propiedades que sugieren nuevas categorías cognitivas en el orden sensorial y perceptivo. Del estudio se desprende que las herramientas digitales promueven de manera diferente las acciones de dibujo, la percepción de las características visuales y espaciales, la organización del diseño, la ideación de soluciones alternativas y las formas de evacuación. Sumado a esto, las nociones de virtualidad y visualización, características de la naturaleza del medio digital, tendrían importantes implicaciones cognitivas en la enseñanza de la arquitectura contemporánea.

Introducción

“Las tecnologías no son planificadas, emergen y toman la cultura de forma envolvente. Cada vez y con más frecuencia vemos que las prácticas tradicionales son transformadas por las nuevas tecnologías; las prácticas se adaptan a los cambios. El efecto de esas adaptaciones se va conociendo gradualmente cuando las prácticas ya se han modificado, las consecuencias pueden no ser las esperadas, si en la transformación se han separado del conocimiento.”

Yehuda Kalay, 2004.

La era digital ha provocado en el diseño arquitectónico una revolución intelectual. Los dispositivos, formatos y sistemas de procesamiento desafían día a día las funciones del pensamiento, con las cuales la mente del diseñador construye representaciones y actúa en consecuencia. Al compás de esta mediación se dilatan los límites para la generación, almacenamiento y gestión de la información que sumados a la virtualidad, como potencialidad inherente del medio, habilita de emulación y simulación cualquier acción de diseño.

Básicamente, se trata de un relevo instrumental que tiene consecuencias cognitivas derivadas de la naturaleza de la técnica, por experiencias inmersivas e interacciones con inteligencia artificial.

Para el diseñador los instrumentos de representación son sus medios de razonamiento. Con ellos establece la ilación cognitiva que le permite ver y comprender las geometrías con las que trabaja, explora ideas, desarrolla conceptos, hace inferencias y finalmente resuelve problemas. Por ello a los arquitectos se les enseña a pensar de forma gráfica y el acto de dibujar se convierte en su acción más elemental. Representar significa, en este sentido, llevar la imaginación a una forma tangible. Es un impulso que surge de la necesidad de prever los resultados de un proceso de razonamiento que busca alcanzar la mejor decisión.

Dibujar en el diseño se distingue por el hecho de que no es algo que se le proporciona al diseñador *a priori*, sino que lo produce dinámicamente a partir de “cero” en su proceso de diseño. Al poner las ideas en el papel, o en la pantalla del computador, los diseñadores ven nuevas características y relaciones que sugieren formas de mejorar o revisar sus propuestas; una

conducta que los estimula a continuar dibujando. Concretamente, dibujar ofrece una ayuda física para almacenar y recuperar pensamientos, y por ello se convierte en una fuente visual de inspiración para nuevas ideas y estrategias de razonamiento.

El dibujo no solo es valioso por ser el vehículo de comunicación entre el diseñador y sus pensamientos, sino también porque su proceso de creación resulta indispensable cuando se quiere comprender cómo funcionan los diseñadores.

La naturaleza representacional del proceso de diseño ha sido estudiada de varias formas. Entre las más influyentes están la investigación de Shön (1992) que ensayó la representación en términos de las formas de ver y el sistema apreciativo del objeto representado; y la de Goldchmidt (1991) que plantea una dialéctica basada en la reinterpretación figurativa y las referencias funcionales no figurativas. En ambas investigaciones esta dicotomía entre el pensamiento analítico y sintético ha servido para entender que el razonamiento visual, característico del diseño, no solo es atribuible a la visión sino también a la capacidad humana para transformar el conocimiento en estructuras de representación que permiten modificar ese conocimiento.

Actualmente es innegable la penetración de las tecnologías de representación al ámbito académico y a una velocidad mayor de la que se podría desear. Muchos estudiantes están adoptando empíricamente, debido a la perspectiva laboral, herramientas de la arquitectura digital, situación que ha originado en algunos sectores de la docencia universitaria una legítima preocupación. La inquietud se debe principalmente a que no se vislumbra en los programas de estudio su consideración. Por ello, se plantea hoy en día, la necesidad de una revisión de los conceptos tradicionales de teoría del diseño arquitectónico bajo la nueva condición que implica la existencia de una representación digital. Igualmente pasa con las nociones de cognición externa del diseño, en vista de que el estudiante adopta las herramientas de la computación para representar y pensar.

Las teorías tradicionales y la nueva naturaleza del pensamiento del diseño deberán encontrarse en una nueva forma de teorizar el proceso de diseño. En el ambiente académico de las escuelas de arquitectura se espera el impostergable debate entre la tradición teórica -que sin exagerar se puede ubicar en la tradición clásica- y la emergente condición "moderna" de un

proceso de diseño donde su naturaleza ha mutado por la presencia incuestionable de los medios digitales.

A la luz de estas consideraciones, observadas empíricamente desde la experiencia docente, surge la necesidad profesional de conocer con mayor grado de profundidad la esencia del comportamiento cognitivo del diseño digital. Inscrita en el campo de la cognición del diseño esta investigación busca comprender los procesos cognitivos aquellos asociados a la representación digital y que participan en la resolución de un problema de diseño. Vista más ampliamente esta es una investigación sobre cognición y representación con fines educativos. Se busca finalmente aportar elementos teóricos que contribuyan a la teoría y docencia del diseño, especialmente en el espacio donde se desarrollan de las habilidades de pensamiento de un diseñador.

La teoría cognitiva del diseño se ha construido sobre el estudio de la tarea con la mediación del lápiz y papel (Goldschmidt, 1991; Shön & Wiggins, 1992) y “poco” se ha descrito para el caso digital. El paradigma cognitivo del diseño, sustentado en el razonamiento visual con medios tradicionales ha brindado criterios para la investigación y la pedagogía del diseño en las últimas décadas. La caracterización clásica de Schön (1992) del razonamiento visual en el diseño como un diálogo con los materiales del problema y el proceso de “impertinencia” de imágenes visuales es una postura muy influyente, que esta asociada igualmente al lápiz y papel. Como teoría pedagógica, esta caracterización general de Shön, tiene todavía una presencia casi universal para escuelas de profesionalización de la arquitectura.

Los estudios cognitivos del diseño desde finales de los años 60, del siglo XX, se enfocaron en la comprensión de los procesos mentales. De allí, surgen los instrumentos de la psicología cognitiva para el registro de algunos aspectos intrínsecos de la actividad de diseñar. La necesidad de exteriorizar los pensamientos, por ejemplo, revela que la actividad del diseñador es un diálogo con sus imágenes mentales, al tiempo que explora y reestructura el espacio del problema (Shön & Wiggins, 1992; Simon & Newell, 1972). Igualmente, el producto de las acciones físicas, sean estas una representación diagramática o pictórica, deja a la vista los resultados del trabajo mental. Las conclusiones parciales de las investigaciones iniciales dejaron claro que los diseñadores realizan inferencias y las registran externamente, además de que *a posteriori* las usan como señales visuales para nuevas inferencias (Goldschmidt, 1991, 1994; Goel 1995;

Lawson, 1979; Suwa, Purcell & Gero, 1998; Shön & Wiggins, 1992; Thomas y Carroll, 1979; Verstijnen, Hennessey, Leeuwen, Hamel, & Goldshmidt, 1998).

En investigaciones precedentes sobre el diseño digital se le concede a la herramienta un balance cognitivamente favorable. Desde el punto de vista de la percepción, se ha demostrado que la visualización digital apoya a la comprensión de la forma arquitectónica constituyéndose en un buen andamio para el razonamiento visual (Bilda & Demirkan, 2003; Bilda & Gero, 2006; Chen, 2001; Marx, 2000; Won, 2001). Igualmente desde la virtualidad, como propiedad intrínseca del medio, parece potenciar la capacidad de multiplicar realidades, derivada de los límites “infinitos” de representación que dejan más espacio a la composición de nuevas configuraciones (Kalay Y. , 2004).

Igualmente, se afirma que la visualización inmediata e intensiva producto de la interacción con el medio digital produce un aumento en la frecuencia de imágenes mentales, aquellas que influyen en la velocidad de percepción y en los procesos internos de “hacer y ver” al dibujar (Marx, 2000; Won, 2001). Junto a la velocidad, la acción recíproca de representación permite a los diseñadores ser más eficaces en las tareas de establecer relaciones espaciales, organizar el diseño, producir soluciones o evaluar alternativas, así como concebir el problema de diseño e identificar características funcionales (Kasapoğlu, 2005).

En esta investigación se demuestran estas y otras propiedades cognitivas de la mediación digital. Los hallazgos demostraron que el diseño es la consecuencia de un conjunto de operaciones viso-mentales de tipo perceptiva, funcional y evaluativa conducidas por acciones de dibujo y transformación recursiva.

La tesis se organiza en cuatro capítulos que consecutivamente contienen: el planteamiento del problema, el marco teórico, el marco metodológico y la discusión de resultados.

En el capítulo 1 se expone el planteamiento del problema y la situación de investigación. Se deja ver la *contingencia digital* que vive la academia, producto del relevo instrumental que introduce el cambio tecnológico. Se subraya la importancia de la representación como objeto de estudio en el diseño y se hace énfasis en su proceso e instrumentos. Se aborda el tema de la naturaleza del medio digital y se construyen inferencias sobre los posibles efectos del formato en la actividad exploratoria e iterativa así como en las acciones de experimentación, desarrollo y refinamiento de ideas.

Estudiar los procesos cognitivos asociados a las acciones de dibujo digital en estudiantes de arquitectura permitirá, por una parte, entender la cognición externa mediada digitalmente al mismo tiempo que observar la sensibilidad de cognición a una mediación más estructurada. Por otra, comenzar una discusión académica sobre la cognición externa digital con referentes empíricos y no con simples extrapolaciones de conceptos heredados del diseño tradicional o la experticia. Por esta razón se propone encontrar un sistema categorial que permita finalmente caracterizar la actividad cognitiva de la ideación mediada por representaciones digitales.

El capítulo 2 proporciona los fundamentos teóricos que ayudaron a sustentar los hallazgos del estudio. Especialmente, se expusieron aquellos argumentos útiles para contextualizar la problemática dentro de la ciencia cognitiva del diseño y precisar el conjunto de teorías que servirán como referencia para explicar la forma cognitiva de la mediación digital. En el capítulo se desarrollan tres dimensiones estructurales que surgieron del planteamiento del problema: diseño, cognición y representación digital

El diseño como proceso de solución de problemas es abordado desde la estructura, dinámica y modelos cognitivos que son ampliamente aceptados por la comunidad científica. En un diálogo argumentativo se ponen en conversación los autores y de ello se obtienen las conclusiones más relevantes para los objetivos esta investigación.

La cognición se aborda especialmente desde los aportes teóricos de la investigación del diseño tradicional. Las explicaciones sobre el diseño como proceso parten de la teoría cognitiva del diseño, que Charles Eastman, en 1969, acuñó con el término *Design Cognition*. Como una continuación de la teoría cognitiva de procesamiento de información humana, Eastman usa la expresión Cognición del Diseño para definir el estudio del procesamiento de la información en el diseño. Se exponen las posturas sobre los paradigmas teóricos y empíricos que tratan de explicar las actividades y procesos en la solución de problemas de diseño. En este mismo contexto, se presentan modelos cognitivos de la ideación, momento del proceso altamente cognitivo y por ello objeto de este estudio.

Por último, en este capítulo, se discute la cognición digital desde la adopción digital y la contingencia cognitiva, la singularidad de las acciones de diseño en el dibujo digital, y los modos de ver proceder en este entorno. Igualmente, se realiza una descripción técnica de la herramienta digital, a fin de develar características que permitan comprenderla como instrumento cognitivo.

En el capítulo 3 se informan las estrategias metodológicas para estudiar la representación digital en la fase de ideación. El diseño metodológico comprende el uso paralelo del análisis de protocolos de Ericsson y Simon (1993) y el análisis comparativo constante de Glaser y Strauss (1967). En la literatura el método de análisis de protocolo es comúnmente utilizado para observar la cognición del diseño. En el texto se explican las condiciones y justificación de la verbalización retrospectiva como recurso válido para la obtención de datos en la investigación orientada a los contenidos de diseño. Se presenta un procedimiento de segmentación y evaluación anidada para las verbalizaciones transcritas. En este sentido, se acude al modelo cognitivo de Jin Y Chuslip (2006) y a las categorías de acción de Suwa y Tversky (1997). El diseño iterativo de obtención y análisis de datos, permitió, agotar las posibilidades producto de variaciones en estilos de diseño o tipos de problema por estudiante y entre estudiantes. El proceso iterativo para la obtención de categorías se obtuvo por saturación, es decir, cuando una constante cognitiva abundaba en repetición.

Este capítulo contiene además la primera parte del estudio empírico, un estudio piloto, que representa la validación del diseño metodológico. En este acercamiento se comprueba que el diseño propuesto permite recoger información sobre procesos cognitivos asociados a la representación; así como otros datos para suponer que la cognición mediada digitalmente tiene profundas diferencias con la mediada analógicamente.

Se formulan conclusiones acerca de la experiencia y sus resultados, que inicialmente permiten capitalizar las relaciones más significativas entre la naturaleza de la herramienta, expresada en acciones de representación digital, y los procesos cognitivos en fase de conceptualización. En este sentido, se reconoce que la interacción digital reconfigura los contenidos de las categorías consideradas para la representación tradicional y aporta sus propias categorías con propiedades y definiciones.

En el capítulo 4 se presentan los resultados del estudio de protocolos de diseño. Se demuestra que la cognición digital no puede pensarse en términos de la cognición analógica. El sistema categorial emergente define el comportamiento cognitivo en términos de procesos de percepción, función, evaluación, transformación recursiva y visualización asociados a acciones de representación estructurada. Las categorías de iniciación fueron redefinidas y las nuevas se

revelaron a partir de acciones asociadas al orden sensorial y perceptivo, y definidas como transformación recursiva y visualización.

Se caracterizaron las actividades de la fase de ideación como espacios cognitivos de registro definido, que son unidades concretas de procesamiento. En cada uno de estos espacios, precisados por actividades cognitivas de análisis del problema, generación de ideas, composición y evaluación, concurren una cantidad de procesos cognitivos que se superponen, desencadenan, yuxtaponen y subyacen unos dentro de otros. Los resultados revelan que La interacción con representaciones digitales puede modificar la intensidad del proceso cognitivo, sobre todo si se supone que las representaciones externas no son simples insumos y estímulos a la mente interna.

En el capítulo 5 se discuten los resultados y elaboran conclusiones haciendo énfasis especial en los procesos perceptivos, las particularidades de la evaluación, la iteración, la recursividad y las transformaciones de representación y de diseño y por último la naturaleza de la mediación. Se debate sobre la cognición externa y el “comportamiento” de los procesos cognitivos para cada actividad de la fase de ideación. La primera diferenciación surge en torno a la noción de representación, y para el caso digital la definición lleva implícita la recursividad como propiedad inherente del medio y su forma de mediación.

Lo heredado de la cognición analógica valió para enmarcar la investigación y confirmar que los pensamientos de diseño se construyen en respuesta a las características visuales y espaciales producidas en la representación, pero no caracteriza la forma cognitiva en el entorno digital. El mapa cognitivo construido refleja las relaciones y contenidos de orden cognitivo que tiene lugar en la interacción con la representación estructurada durante la resolución de un problema de diseño.

Para concluir se piensa que la tecnología digital habilita al estudiante para nuevas prácticas, interviene como elemento importante en el desarrollo de las competencias y es un factor real de la cultura profesional en su conjunto. Las posibilidades de extender los límites comunicativos y las formas de expresión en el diseño enriquecen los espacios de interacción con el objeto y con el diseñador mismo. Se habla de lo digital como un espacio intersubjetivo, del diseñador con él mismo, donde construye la experiencia de diseño, elabora la comprensión y acuerda el consenso de la solución a la problemática arquitectónica que enfrenta.

Capítulo 1

Problema de investigación

La era digital ha provocado en el diseño arquitectónico una revolución intelectual. Los dispositivos, formatos y sistemas de procesamiento desafían día a día las funciones del pensamiento, con las cuales la mente del diseñador construye representaciones y actúa en consecuencia. Al compás de esta mediación instrumental se dilatan los límites para la generación, almacenamiento y gestión de la información que sumados a la virtualidad, como potencialidad inherente del medio, habilita de emulación y simulación cualquier acción de diseño.

Desde la perspectiva tecnológica se propone una nueva dimensión para observar las destrezas y habilidades cognitivas de un estudiante de arquitectura. Por lo tanto, los procesos de operatividad y el conocimiento deberán comprenderse junto a las nuevas interfaces que promueven más interacción, incrementan la visualización y aceleran la exploración (Won, 2001). Se habla entonces del trabajo con sistemas convergentes y altamente estructurados que potencian los procesos cognitivos y modifican la dinámica de las tareas de diseño.

Estos instrumentos de naturaleza distinta a los tradicionalmente utilizados podrían orientar el conocimiento desde su propia operatividad, conceptos y significados. Argumento sobre el cual gravita la discusión en este trabajo. Se piensa que el instrumento de mediación digital influye en la cognición y se espera ocurra una reconfiguración intelectual del diseñador como sujeto hábil para la mediación y comunicación digital.

En este primer capítulo se exponen los aspectos más relevantes de la problemática de estudio, se presentan los objetivos de investigación, así como un conjunto de argumentos que evidencian la necesidad de abordar y analizar aspectos de la cognición en el diseño digital.

1.1 Planteamiento del problema

La tecnología aporta a la cultura arquitectónica contemporánea nuevas herramientas y modos de creación, producción y comunicación, de una edificación. Los desarrollos tecnológicos en el campo del proyecto arquitectónico proponen reemplazar las formas tradicionales de representación (lápiz y papel) por nuevos instrumentos de formato digital. Este relevo instrumental puede significar para el diseñador una reconfiguración de sus procesos de

pensamiento; como una consecuencia directa de la apropiación de una técnica y sus respectivas singularidades en estrategia, contenido y significado (Bila & Demirkan, 2003).

Los arquitectos, como todos los diseñadores, tienen una estrecha relación con sus representaciones, condición esta que ha caracterizado el acto de diseñar como un proceso de razonamiento a través de símbolos gráficos (Goldshmidt, 1991). Dibujar, por consiguiente, se constituye como un tipo de acción dialógica que se establece para gestionar transformaciones de pensamiento, a fin de reconocer conflictos y posibilidades, revisar y refinar ideas, generar conceptos o, sencillamente, pasar de lo invisible a lo visible en una situación de diseño (Eastman C. , 1969, 2001; Goel V., 1999; Goel & Pirolli, 199; Newell, Shaw, & Simon, 1967; Rowe P., 1987; Purcell, Gero, Edwards, & McNeill, 1994).

Shön (1992) define esta inseparable relación como una “conversación con el dibujo”, un diálogo del diseñador con su trabajo, una reflexión en acción, un proceso de razonamiento donde la interacción con el medio es esencial en la dialéctica. Dibujar entonces permite anticipar y proyectar los pensamientos, y el dibujo se constituye como un conjunto de pistas visuales que disparan la producción de imágenes mentales e inducen procesos cognitivos (Do & Gross, 1996; Goldshmidt, 1991; Lawson, 2010; Suwa & Tversky, 1997).

Según Goldshmidt (1991) tener la posibilidad de “ver la información es particularmente útil para cierto tipo de razonamiento, ya que se logra acceso directo y explícito de contenidos permitiendo inferir lo que no está explícito y aprovecharlo” (pág. 127). Esto explica por qué las rutinas de realización e interpretación de dibujos conducen los procesos de generación, transformación y refinación de imágenes sobre diferentes aspectos del objeto diseño, sobre todo en las fases tempranas del proceso de solución. Y es así, como en un estudiante de arquitectura las habilidades cognitivas de asociación, reconocimiento, elaboración de conceptos, razonamiento experimental o reinterpretación, se construyen sobre la capacidad de "leer" y "escribir" dibujos arquitectónicos con fluidez (Eastman C. , 2001).

El informe de Eastman (1969), para el departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Carnegie Mellon, explica la dependencia visual en la resolución de problemas de diseño y afirma que:

“Es claro que las operaciones particulares que realiza un diseñador no dependen de la organización verbal de la información, sino más bien de sus bocetos y dibujos. El cómo se

utiliza dicha información en un problema puede influir en el tipo de procesamiento que ha de tener lugar, y la representación de la información, externa o interna, puede afectar significativamente la generación de soluciones” (pág. 19).

De estos argumentos se infiere que la representación externa es un vehículo cognitivo que media entre el diseñador y los modos de expresión, visualización y percepción de la información visual en todas las fases del proceso de diseño. Aproximación que da pie para suponer que la utilización de un instrumento de mediación de naturaleza distinta, al que dio origen a las afirmaciones citadas, puede tener implicaciones en la noción de cognición externa.

Estudiar los procesos cognitivos asociados a las acciones de dibujo digital durante la concepción de ideas de diseño en estudiantes de arquitectura permitirá, por una parte, conocer qué procesos se desencadenan exclusivamente por las acciones de representación digital y así observar la sensibilidad de la cognición a un medio de representación más estructurado. Por otra parte, se tendrá una noción más cercana de la realidad cognitiva y no simples extrapolaciones de conceptos heredados del diseño con herramientas tradicionales de lápiz y papel. Ambas consideraciones se analizarán con el fin de aportar conocimiento a la teoría del diseño y a la muy nombrada necesidad de re-conceptualizar los procesos educativos del diseño en términos de la tecnología digital.

Inicialmente se puede creer que el dibujo digital es una analogía del dibujo manual; una postura que asumen varias escuelas de arquitectura del país y por la función que hasta ahora han tenido las herramientas digitales: digitalizadores del dibujo manual. Sin embargo, las nuevas propuestas de representación y mediación digital son más estructuradas y orientadas al conocimiento específico del oficio de arquitecto. Estos instrumentos requieren de habilidades y procedimientos propios que “indudablemente conducen de manera diferente la respuesta cognitiva” (Oxman R. , 2007, p. 101). Sobre la base de la consideración anterior, se puede insinuar que entre las acciones de redibujo de la representación manual y la digital existen diferencias procedimentales con influencia cognitiva. Con la técnica manual, una misma idea se dibuja varias veces y el procedimiento permite conservar un registro de trazos que refleja la evolución de sus pensamientos o su uso posterior. Con la técnica digital, por el contrario, el redibujo no existe, lo que sucede es la modificación de una acción que hace desaparecer del espectro visual el registro decisiones y su posible uso posterior.

Como consecuencia la desaparición del registro reduce la posibilidad de revisar, retroalimentar y evaluar el proceso de resolución de un problema de diseño. Convirtiéndose el hecho de desaparecer la información física de la vista en un inconveniente para el diseñador porque deberá hacer más uso de la memoria, y para el docente del diseño porque no tiene la prueba física de la evolución del diseño. No obstante, se ha demostrado que aun cuando se pierde información para reflexión, el dibujo automatizado permite otras formas de reflexión los cuales pueden asistir la toma de decisiones, aumentar la confiabilidad e impulsar la transición de una idea a otra (Gursoy & Ozkar, 2010). El balance definitivo aún no se tiene, por lo que estas y otras dualidades de procedimiento y operatividad resultan necesario estudiar.

De investigaciones revisadas sobre la resolución de problemas de diseño con herramientas digitales, se obtuvieron argumentos que proporcionan mayor detalle sobre esa y otras experiencias digitales. Madrazo (1999) introduce que las representaciones digitales favorecen una mejor comprensión de la forma y a su vez estimulan el razonamiento visual en la conceptualización. Marx (2000) y Won, (2001) apoyando los planteamientos de Madrazo y de sus propios trabajos, concluyen que la visualización intensiva y la respuesta inmediata de los medios digitales influyen en la frecuencia de generación de imágenes mentales, en mayor medida que con los medios convencionales de lápiz y papel. Estas aproximaciones ponen en evidencia que el razonamiento visual del diseñador puede ser potenciado por la mediación digital así como su capacidad cognitiva.

En investigaciones como la de Bilda y Demirkan (2003) se ha indicado que las posibles variaciones en la cognición del diseño son producto de la apropiación de características particulares del medio de representación. Los autores encuentran que los atributos visuales de las representaciones digitales pueden interferir en la identificación de condiciones, variables y relaciones durante la solución del problema de diseño. Comportamientos similares hemos podido apreciar en nuestras aulas de clase durante ejercicios de diseño, dejando a la vista que los estudiantes sucumben a la seducción visual que producen los modelos virtuales. Este hecho, desafortunadamente, desvía la atención de los aspectos esenciales de la problemática representada concentrándola muchas veces en la espectacularidad de la representación (Rangel, 2003).

En la actualidad se puede hablar de una *contingencia digital* que experimenta el diseño en el ámbito académico y que a nuestro parecer se concreta en las particularidades de la tecnología. Una de ellas es el alto nivel de concreción de la herramienta de representación digital. Esta característica se ha considerado como la mayor limitación para las fases tempranas del proceso de diseño, y algunos estudios han intentado demostrar que “disminuye” la *ambigüedad perceptual*, es decir, reduce la posibilidad de obtener contenidos de diseño que normalmente se logran a partir de trazos ambiguos como los del dibujo a mano. En este sentido Rivka Oxman (2007) afirma que una parte esencial del proceso de diseño consiste en resolver las ambigüedades, y estos procesos de resolución son cognitivos y no una consecuencia perceptual exclusivamente.

En el trabajo señalado anteriormente, Oxman observa transiciones importantes en los procesos de transformación de la forma durante emergencia creativa y puntualmente se refiere a que con la representación computacional el diseñador no vuelve a dibujar, sino que aplica determinadas operaciones para la evolución de la forma de diseño. Esta contingencia revela que la adopción de la herramienta digital supone el conocimiento operativo del medio y no su grado de concreción. En palabras de Gracia Carrasco (2005), y al referirse a la imagen digital, afirma que en ocasiones esta concentra toda la virtualidad de la tecnología en sus concreciones instrumentales.

Diseñar manualmente o digitalmente es la misma actividad cognitiva, ambas comparten el sistema simbólico y notacional, sin embargo, las características operativas de sus instrumentos son diferentes, así como puede ser el cuerpo conceptual y su significación. Dado que en un entorno digital cada trazo de dibujo está vinculado a un motor de cálculo, que almacena información sobre forma, dimensión y topología de un objeto geométrico, el razonamiento visual se construye sobre elementos de mayor grado de concreción y sintonía con la realidad. Igualmente, es importante hacer énfasis en la idea de que la visualización inmediata de operaciones y su resultado aportan mayor velocidad a las nuevas conexiones para la reinterpretación y valoración de las ideas.

A pesar de estas prestaciones el resultado de incorporar herramientas digitales en tareas de diseño no siempre ha sido el esperado. Los estudiantes procuran la analogía directa desde las herramientas de dibujo manual, atribuidas a sus propiedades abstractivas (Won, 2001). El hecho

puede tener, básicamente, dos explicaciones: una, que a lo largo de su educación los diseñadores siempre han utilizado dibujos a mano alzada como herramienta cognitiva, y otra, que los programas comerciales de dibujo pueden no ser lo suficientemente flexibles como el lápiz para las abstracciones. Todo esto sumado a ejercicios habituales de los diseñadores como hacer garabatos o gestualizar con el lápiz, acciones que también participan en el pensamiento y el razonamiento visual (Bila & Demirkan, 2003).

Estas explicaciones sobre el nivel de abstracción, que investigaciones reportan necesario para la fase conceptual (Goel V. , 1995), permiten inferir que en la dinámica cognitiva del diseño digital se pueden encontrar variaciones para dos procesos importantes. El descubrimiento inesperado, que se refiere al desarrollo de nuevas ideas no asociadas a las señales visuales de un dibujo existente y, la reinterpretación que consiste en la transformación y adaptación de ideas ya expresadas en un dibujo (Goldshmidt, 1991; Suwa, Gero, & Purcell, 1998).

La cognición del diseño, como la conocemos actualmente, está ligada a dibujos a mano alzada. Dibujando y mirando los diseñadores encuentran analogías visuales, recuerdan ejemplos relevantes y descubren nuevas formas basadas en configuraciones geométricas no exploradas. Estas acciones aparentan no compartir una misma dinámica en el diseño digital, razón por la cual consideramos necesario atender los efectos de su creciente penetración en los espacios educativos así como la adopción de los nuevos procesos como una simple digitalización del dibujo manual. Ambas acciones pueden ser consecuencia de una interpretación equivocada del papel de las herramientas digitales en la pedagogía y didáctica en las escuelas de arquitectura.

Los argumentos y reflexiones presentadas revelan que el razonamiento en el diseño afronta transformaciones desencadenadas por la cultura tecnológica. La interacción con representaciones digitales puede modificar la intensidad del proceso cognitivo y sus contenidos, sobre todo si se supone que las representaciones externas no son simples insumos y estímulos a la mente interna, sino que son tan intrínsecas a la tarea que la guían, limitan, e incluso la determinan. La problemática se asumiría asociada al formato, operatividad y base conceptual del medio, al suponer que el comportamiento cognitivo estaría influenciado por la forma de cómo es percibida y manipulada la información. Por estas características se puede sospechar que los modos de razonamiento visual, el manejo de la información y su procesamiento estarían sujetos a la naturaleza del medio y sus formas de mediación.

Esta situación induce algunos cuestionamientos que se intentaran responder en la investigación:

1. ¿Qué procesos cognitivos resultan de la mediación digital estructurada durante la generación de ideas de diseño?
2. ¿Cómo influye el formato digital en la percepción de los contenidos de diseño?
3. ¿Cuáles acciones de representación desencadenan procesos cognitivos de transformación de ideas?
4. ¿Qué sugiere la visión microscópica de una mediación con herramientas digitales estructuradas a la reconceptualización de los procesos educativos en las escuelas de arquitectura?

1.2 Objetivos

El trabajo de investigación se propone examinar los procesos cognitivos asociados a la representación digital en las fases tempranas del diseño, cuando estudiantes resuelven un problema arquitectónico. Se desea verificar, si la cognición es sensible a la mediación digital y como propósito principal se busca comprender el comportamiento de los procesos cognitivos ante el nuevo orden instrumental-tecnológico, así como develar su potencial contribución en el desarrollo intelectual del estudiante de arquitectura.

1.2.1 Objetivo General de la Investigación

Analizar los procesos cognitivos asociados a la representación digital del diseño en estudiantes de arquitectura.

1.2.2 Objetivos Específicos de la investigación

- Develar los procesos cognitivos asociados a las acciones del dibujo digital durante la fase de ideación de un estudiante de arquitectura.
- Categorizar las acciones cognitivas de representación digital asociadas a cada actividad de generación, composición y evaluación de alternativas de diseño.
- Establecer relaciones y vínculos entre las acciones cognitivas de representación digital y procesos cognitivos de diseño conceptual.

- Identificar los elementos de la mediación digital con representaciones estructuradas que permitan sugerir la caracterización del comportamiento cognitivo.
- Contextualizar los conocimientos de diseño en el entorno educativo universitario.

1.3 Justificación de la investigación

Las condiciones tecnológicas de la era digital se discuten actualmente en el seno de las instituciones de educación profesional para la arquitectura. El debate se centra, por un lado, en que los enfoques teóricos ya incluyen el medio de representación digital en el conocimiento, modelos y metodología del diseño (Lawson B. , 2010). Y por otro, la necesidad de un aval teórico o experimental que oriente al docente sobre las variaciones en la didáctica y cognición (Oxman R. , 2007).

El tema planteado en esta tesis tiene su origen en el ámbito de la docencia universitaria. La observación directa del diseño asistido por computadoras en estudiantes permitió reconocer que el instrumento digital, como agente mediador e interventor del pensamiento, promueve acciones cognitivas diferentes a las conocidas. Esto puede ser consecuencia de la naturaleza de herramienta digital, que posee propiedades gráficas y operativas diferentes con incidencia en la dinámica cognitiva del estudiante cuando este soluciona un problema de diseño arquitectónico.

Históricamente, la investigación sobre la pedagogía del diseño arquitectónico se ha ocupado del proceso de diseño. El mayor interés se concentra en su teoría, el conocimiento introspectivo y los métodos empíricos para modelarlo. En el ámbito cognitivo resaltan, puntualmente, los estudios sobre estilos cognitivos, habilidades cognitivas y la representación. Y es en relación a esta última que destacan las descripciones sobre habilidades espaciales y razonamiento visual. No obstante, y considerando que la investigación ha sido amplia en lo que respecta a esto, es posible que no esté suficientemente claro si la naturaleza del medio que acompaña los procesos de razonamiento y afecta el proceso cognitivo aun dentro del mismo ámbito analógico.

Es necesario señalar que en la mayoría de las investigaciones sobre cognición del diseño se ha utilizado el dibujo tradicional como medio por excelencia para el análisis de la actividad. Igualmente, se puede observar que el comportamiento cognitivo ha sido estudiado con mayor frecuencia en arquitectos experimentados, mientras que en estudiantes o diseñadores novatos ha

sido en menor medida. Como consecuencia del estudio de la experiencia la teoría aporta información y metodologías para enseñar una práctica arquitectónica exitosa, pero no provee fundamentos para manejar las contingencias del aprendizaje que por ejemplo tienen que ver los cambios tecnológicos.

Como puede imaginarse es un tema multidimensional y complejo, sobre todo porque los estudiantes desarrollan capacidades cognitivas en acompañamiento del instrumento de dibujo. Para ellos el uso de la representación tiene objetivos diferentes que para los expertos. Representar mientras se estudia implica componer el conocimiento de diseño, aprender a manipular y transformar este conocimiento, así como entender estructuras y estrategias de asociación relacionadas con la representación. Por lo tanto, en la cognición del diseño las bases están sobre la acción de dibujar y el producto de esta acción, los dibujos. Los dibujos son entidades que proporcionan pistas visuales y almacenan el orden secuencial de la tarea, y estas dos acciones dan lugar a procesos cognitivos influyentes en la búsqueda de la solución del problema de diseño.

Considerando, que no es reciente el surgimiento de las herramientas digitales en el campo del diseño arquitectónico pensamos que no se aprecia con suficiente fuerza en la investigación del tema la influencia del medio de representación en los procesos cognitivos asociados. La cantidad de estudios que deberían encontrarse en la literatura sobre el proceso de pensamiento acompañado por herramientas digitales de nueva generación en arquitectura, es escaso. Por lo tanto consideramos se justifica una investigación que busque estudiar con razonable profundidad el comportamiento cognitivo y los posibles efectos de la naturaleza del medio en la mediación del diseño.

Capítulo 2. Marco Teórico

Diseño, cognición y representación digital

En este capítulo se ofrece una exposición general de conceptos, argumentos y teorías en torno al papel de las representaciones en la resolución de problemas de diseño y a la naturaleza de esta como punto clave para comprender las acciones cognitivas en las fases tempranas de resolución. Del planteamiento del problema se desprenden tres dimensiones de abordaje teórico para argumentar el estudio de la cognición del diseño digital: diseño, cognición y representación digital, como se muestra en la Figura 1.

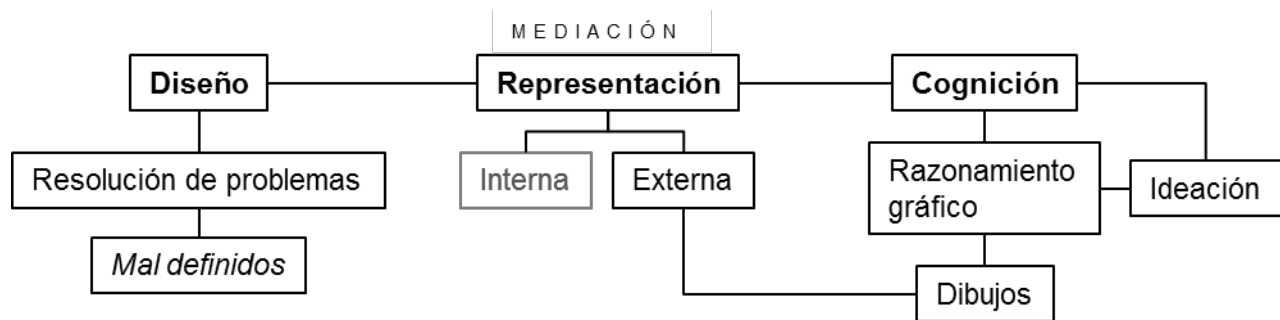


Figura 1: Dimensiones de la investigación

En tal sentido, se expone la teoría cognitiva de resolución que enmarca comúnmente los estudios de cognición del diseño como proceso, se presentan modelos cognitivos del diseño arquitectónico y la función de la representación externa en la cognición. Por último, se aborda el tema de la representación digital, especialmente las características técnicas y naturaleza virtual del medio como contexto de mediación.

2.1 Antecedentes

Diversas investigaciones han explorado la función cognitiva de las acciones de dibujo en el diseño y la mayoría revela que los diseñadores desarrollan sus productos en comunicación interactiva con los medios de expresión gráfica. Schön y Wiggins (1992) afirman que el diseñador registra visualmente la información, construye su significado, identifica patrones y reconstruye nuevos significados en un proceso cíclico de dibujar e interpretar. Según Schön (1992) las líneas le “hablan” al diseñador mientras dibuja indicándole el cómo proceder al enmarcar el problema, establecer sus límites, seleccionar elementos y relaciones, en un concierto de movimientos coherentes. Estas afirmaciones plantean una descripción del proceso de diseño

en términos de movimientos físicos, donde el ver se alterna con el descubrimiento y con otras acciones de diseño.

Shön (1992) utilizando *análisis de protocolo*, en sesiones de diseño con arquitectos principiantes y expertos, desarrolló un modelo y describió el papel de las acciones de dibujo dentro del proceso. Fue determinante descubrir que los procesos cognitivos observados desde la actividad de dibujar soportan las decisiones de diseño. Según el modelo de esta investigadora el proceso de diseño se compone de *movimientos y argumentos*. Los primeros se reconocen como operaciones básicas que se corresponden con la entidad que se está diseñando y los segundos son declaraciones, juicios o criterios, sobre el diseño o aspectos que lo componen. De la secuencia de estudios se desprende el concepto de *dialéctica del dibujo* basado en la reinterpretación figurativa y las referencias funcionales no figurativas entre dos modos de ver: “qué ver” y “cómo ver”. Esta dinámica queda a la vista cuando un diseñador ve y reinterpreta las propiedades de las figuras en un dibujo y como consecuencia genera nuevas figuras dentro de la interpretación figurativa que esté desarrollando.

La interpretación y alternancia entre los modos de ver estimula nuevas ideas a través de la reinterpretación de la información, lo que sugiere que los dibujos más que un registro del pensamiento son instrumentos de asociación para nuevos conceptos, problemas funcionales o construcción de significados. Goldschmidt (1995) habiendo estudiado el cómo los diseñadores utilizan imágenes mentales en la resolución de problemas, sugiere que el dibujar da lugar a imágenes interactivas y aumenta el razonamiento con analogías visuales, dos eventos que están estrechamente relacionadas con la ideación en el proceso de diseño.

La transformación de la información descriptiva en nuevas representaciones, es decir la transición del conocimiento proposicional general en información descriptiva específica durante el proceso de diseño, algunos estudios la explican tomando en cuenta la estrategia de *escaneo cíclico*. La opinión de Van der Lugt (2002) concuerda con Shön y Wiggins (1992) en que este proceso de transformación de la información ocurre a través de acciones de dibujo, las cuales promueven ciclos de reinterpretación en el pensamiento individual al tiempo de evaluar ideas anteriores. Estas dos operaciones, reinterpretación y evaluación, se apoyan sobre la capacidad de visualización y orientación espacial, la comprensión de las partes y su relación con el todo en el espacio, así como la sensibilidad visual hacia las entidades del dibujo; que para Bertoline y otros

(1995) conforman la esencia de una comunicación que no puede ser elaborada a partir de lo textual o numérico.

Profundizando en las características del dibujar Zhang (1997) afirma que “las representaciones externas no son simples insumos o estímulos a la mente interna, sino que son tan intrínsecas a las tareas que guían, limitan, e incluso determinan la conducta cognitiva” (pág. 180). En su estudio ahonda sobre el tema de la percepción de la información a través de la representación y su influencia en el comportamiento cognitivo durante la resolución de problemas. Los resultados son concluyentes respecto a que los procesos perceptuales son componentes centrales en este tipo de tareas, ya que operan directamente desde la exteriorización, aportan información de las representaciones internas y se conjugan con el historial de operaciones cognitivas. Zhang apunta que en vista del valor del componente perceptivo cuando los problemas son resueltos con apoyo de representaciones externas, el proceso puede denominarse “resolución de problemas de percepción”.

Ömer Akin (1986) afirmó tempranamente, en un estudio sobre psicología del diseño arquitectónico, que es indisoluble la relación entre las representaciones externas y los procesos mentales. Identifica dos procesos cognitivos de la resolución de problemas de diseño asociados a la representación: la descomposición del problema y las estrategias de recomposición. Con esto propone que la ecuación del proceso de diseño debe fijarse en términos de representaciones, conocimientos y estrategias.

Purcell y otros (1994) demostraron al analizar datos de *protocolos de diseño*, que los patrones de comportamiento de los diseñadores cuando están frente a los bocetos o dibujos esquemáticos, se constituyen como un apoyo en las labores de descubrimiento. Consideran que estas representaciones son fundamentales en el perfeccionamiento y la revisión de la solución de diseño, permitiendo almacenar soluciones y participar activamente en el reconocimiento de conflictos y posibilidades. Concluyen que es el medio de expresión lo que permite revisar y refinar las ideas, generar de conceptos y facilitar la resolución del problema en general.

Suwa, Purcell y Gero (1998), a partir de los estudios de Suwa y Tversky (1997) trabajaron en un esquema de codificación para analizar protocolos de diseño. Codificaron cuatro niveles de *acciones cognitivas*: físico, perceptivo, funcional y conceptual, así como las relaciones de dependencia y las desencadenantes (Cuadro 1). Los resultados permitieron afirmar que las

acciones de diseño se pueden definir de forma sistemática y, por lo tanto, la estructura de las conductas cognitivas queda representada en forma de acciones definidas para cada una de las etapas del proceso de diseño. La investigación confirma, además, que los bocetos no sólo sirven como memoria externa o como proveedor de señales visuales para la asociación de la información no visual, sino que forman un lugar físico en el que los pensamientos de diseño se construyen sobre la marcha.

El estudio citado aporta algunas funciones específicas de la representación en el proceso de resolución así como el diseño metodológico. En tal sentido, se establecieron las bases para el análisis de cómo determinados tipos de acciones contribuyen a la formación de ideas clave en el diseño, asimismo el cómo desde la interacción se perfilan las acciones cognitivas. Se precisa que es por la interacción con dibujos que los diseñadores concretan cuándo deben pensar en cuestiones funcionales, por ejemplo, y cómo lo deben hacer. Otra particularidad que resalta es que no siempre se parte de conocimientos, objetivos y estrategias para iniciar el diseño, si no que las acciones perceptivas y físicas pueden jugar un papel determinante para comenzar a diseñar.

Cuadro 1
Categorías de acción para el análisis del proceso

CATEGORÍA	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
Física	Acción Dibujar	Representar puntos, líneas, símbolos, palabras
	Acción Mirar	Observar elementos representados
	Acción mover	Movimientos y gestos
Perceptual	Acción percibir	Percibir formas, tamaños, relaciones espaciales
Funcional	Acción de funciones	Concebir funciones o conceptos no visuales
Conceptual	Acción evaluar estética	Evaluar valores estéticos
	Acción objetivos	Objetivos
	Acción recuperar	Recuperar conocimientos

Fuente: Suwa, Gero, & Purcell, 1998, Analysis of cognitive processes of a designer as the foundation for support tools.

Hasta aquí los enfoques presentados resumen las conclusiones más resaltantes que ha dejado la investigación del diseño sobre la función de las representaciones en su proceso cognitivo. Estos estudios, donde se utilizó el dibujo manual como herramienta, constituyen indiscutiblemente la base teórica para entender y trazar la perspectiva cognitiva del diseño con

herramientas informáticas. A continuación se expone una selección de trabajos destacados, y los más referenciados en la literatura, sobre el proceso de representación con herramientas digitales. Tales evidencias, dejarán ver diferencias esenciales en las formas de mediación y en cómo cada instrumento participa en los modos cognitivos.

Según Madrazo (1999) la investigación del diseño digital se inicia con un balance favorable. Este afirma que las representaciones digitales pueden mejorar la comprensión de la forma y servir como andamio para el razonamiento visual, ya sea como apoyo para analizar los espacios o como medio para evaluar su percepción. El argumento de Madrazo lo siguen sendas investigaciones de Marx (2000) y Won (2001). Marx señala dos argumentos relacionados con la fase de ideación: uno, que las herramientas digitales no obstaculizan el proceso creativo; considera al computador como un facilitador de ideas de diseño, pero no un generador de contenidos. Y dos, observa que la visualización intensiva y la respuesta inmediata del medio provoca en los diseñadores imágenes mentales con mayor frecuencia que con el medio tradicional. Esta última, es considerada una de las conclusiones más influyentes para estudios futuros.

Con la misma intención que Marx, Won (2001) utiliza análisis de protocolo, con verbalización retrospectiva, para entender las diferencias de las *acciones cognitivas* cuando se usan medios tradicionales y digitales en la fase de diseño conceptual. En el estudio la respuesta es similar a la obtenida por Marx y observa que los comportamientos cognitivos durante el uso de representaciones digitales son mucho más complejos que con los medios tradicionales. Citando uno de los casos, manualmente las acciones cíclicas de estímulo y pensamiento a través de las propiedades figurativas del dibujo no se detienen hasta que el boceto queda bien definido. Esto significa que la atención del diseñador se concentra en el paso del dibujo esquemático al detallado, considerando que el tiempo invertido para ese cambio es razonable. Inversamente, en el caso digital es mucho más rápido y representativo el paso señalado, ya que aquí se trabaja con información concreta de la geometría.

En el análisis de Won se relacionan tres categorías: ver, imaginar y dibujar. Y concluye que el comportamiento cognitivo visual del diseñador cuando utiliza medios convencionales, lápiz y papel, es un proceso invariable y las tareas de “cómo ver”, “qué ver” y la concentración en el detalle son más importantes que la imaginación. Por el contrario, cuando se usa la

computadora el proceso cambia y las acciones de imaginar y “cómo ver” son más significativas. El autor considera que esta diferencia proviene de la naturaleza estructural del medio utilizado para generar conceptos de diseño. Consideración que atribuye al grado de concreción de la herramienta digital, que influye negativamente en la abstracción y positivamente en la claridad de las imágenes mentales.

Un estudio de Chen (2001) serviría de discusión a esta última conclusión de Won (2001), donde se evalúa la influencia de los soportes digitales en los modos cognitivos de diseñadores novatos y expertos. Chen demuestra, primeramente, que los novatos son más creativos cuando usan medios tradicionales para el desarrollo conceptual. Sin embargo, surgieron pistas que permitieron concluir que las herramientas digitales favorecieron en general al desarrollo de conceptos y ayudaron a alcanzar el nivel de detalle más rápidamente. Además, se comprobó que el sistema digital aporta ventajas a la retroalimentación y para ambos (expertos y novatos) durante la tarea, porque facilita las estrategias de re-dibujo debido a la velocidad. Se resaltó adicionalmente que la integración de criterios técnico-constructivos en el proceso operativo estimula a los diseñadores a la evaluación y exploración de formas alternativas en la composición arquitectónica.

El análisis de protocolo de audio y video realizado por Chen adapta el sistema de codificación de Suwa, Purcell y Gero (1998), inicialmente propuesto por Suwa y Tversky (1997), a los medios informáticos, considerando las diferencias de mediación. Las categorías cognitivas mostradas en la **Cuadro 2** se basan en acciones conceptuales, operativas, perceptuales y evaluativas; y se procesan segmentando según la propuesta de Goldschmidt (1991), a las que esta llamó movimientos de diseño.

De aquí se obtuvo que los diseñadores expertos generan conceptos a través de *acciones operativas* (dibujo) y *acciones perceptivas* (visuales), sin antes someterlos a previa evaluación. En este proceso la generación de un concepto nuevo es más detallada y de mayor profundidad dentro del conocimiento de diseño. Y en esta dirección, las acciones de diseñadores noveles demuestran que luego de generar varios conceptos, reflexionan y comparan repitiendo los procesos operativos y de percepción, confirmando la integración de su concepto en el problema de diseño a través de la evaluación.

Cuadro 2

Categorías y descriptores para el análisis de la representación digital.

CATEGORÍA	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
Conceptual	Objetivos	Establecer un conjunto de objetivos y definir el diseño
	Conocimiento	Recordar el conocimiento de diseño
Operativa	Acción Dibujar	Crear formas, tamaños, relaciones espaciales
	Acción de mirar	Mirar dibujos previos
	Acción digital	Características de operación del computador
Perceptual	Acción Visual	Características visuales de los elementos
	Acción espacial	Relaciones espaciales entre los elementos
Evaluativa	Acción función	Relación entre personas, espacio y diseño
	Acción Estética	Evaluar valores estéticos

Fuente: Chen, 2001, Analysis of the use of computer media by expert and novice designers

Con respecto a las acciones perceptivas, en este mismo trabajo de Chen, el novato demostró requerir más señales visuales que el experto. Esto confirma que su próxima acción después de repetidas evaluaciones sobre las características visuales la nueva comparación sería sobre las relaciones entre características, formas y tamaños de los elementos preliminares. Ahora bien, las consideraciones visuales de los expertos se atribuyen a la integración de los elementos que implican las relaciones espaciales y las relaciones funcionales entre estos. El diseñador experto es capaz de obtener mucha información de su memoria a largo plazo por lo que necesita menos memoria externa para auxiliar a su proceso de pensamiento. El novato, por el contrario tiene menos conocimiento y necesita más memoria externa, razón por la cual dibuja para producir estimulación visual y hacer evaluaciones.

Siguiendo los pasos de Won (2001), Bilda y Demirkan (2003) utilizan por su parte análisis de protocolo para observar la variación de las acciones cognitivas cuando arquitectos combinan ambos medios, manuales y digitales, en un mismo proceso de diseño. Primeramente, los investigadores ajustaron el esquema de codificación basado en categorías de segmentación y acciones cognitivas de Suwa, Purcell y Gero de 1998. Las primeras acciones (conceptuales y operativas) comprenden actividades de definición, creación, reinterpretación, redefinición, reproducción y visualización tridimensional, y las segundas (perceptuales y evaluativas) se refieren a las actividades, percepción formal y espacial, relacionar funciones y evaluar decisiones de diseño.

Los resultados del estudio concluyen que el medio tradicional contribuye en gran medida a los cambios de estrategia. Por lo tanto, en muchos casos, más que trazar el dibujo del diseño parece que el objetivo es desencadenar la redefinición de los espacios y las relaciones entre ellos. En otras palabras, los diseñadores tienden a reinterpretar alguna parte de su boceto después de elaborar una copia, esto significa inducción del razonamiento visual a través del redibujo.

Por otra parte también, se registró un aumento de cierto tipo de acciones cognitivas cuando se trabaja con los medios manuales y su disminución con el uso de los medios digitales. Esta reducción la atribuyen principalmente a efectos de aprendizaje del medio digital, hecho que resulta importante subrayar para los intereses de la presente investigación. Los investigadores del estudio que se viene mencionando aseguran que el trabajo con bocetos hechos a mano están cargados de acciones físicas, ya que el diseñador dibuja y modifica continuamente sus ideas con aumento de la frecuencia, copiando los dibujos a otras hojas de papel. Ahora, este patrón de acciones aumenta para el caso digital si el diseñador está familiarizado con la herramienta de representación y el problema de diseño.

Adicionalmente, se observó un comportamiento atenuado de las acciones perceptivas cuando se usan representaciones digitales, como aquellas para la definición de nuevos elementos o relaciones. Los investigadores atribuyeron este hecho a que los sujetos tienden a compartir la atención con los atributos visuales de la disposición espacial, aun cuando están familiarizados con el problema. En resumen, Bilda y Demirkan (2003) consideran que "el proceso cognitivo de los diseñadores debe ser analizado a fin de explorar los efectos de la transición a los medios digitales de comunicación y representación, así como las diferentes interacciones que efectúan los diseñadores" (p. 28). Esto lo sugieren por que no encontraron una tendencia única para con las categorías funcionales y conceptuales, que pertenecen al nivel semántico, y la relación con la transición de un medio a otro.

Johnson (2005) en un estudio de casos compara cómo los estudiantes y profesionales del diseño utilizan herramientas de conceptualización en su práctica cotidiana. El resultado mostró que el uso de medios informáticos depende de la experiencia en el entorno de modelado digital y la verbalización (hablar con la computadora) se convierte en una herramienta importante de conceptualización, más que recurrir a bocetos a mano alzada para solucionar algún impedimento con la herramienta digital. A este respecto Chiu (2002) precisa que se está en presencia de una

migración de los medios tradicionales hacia las tecnologías digitales, donde las primeras están pasando a ser un complemento de las segundas. Estos planteamientos dan razón a la tesis de Guidera (2002) quien afirma que la precisión y rigurosidad que caracteriza a las herramientas digitales hacen de la conceptualización una fase distinta a la conocida con soportes tradicionales.

Las herramientas digitales han evolucionado y en cada actualización apoyando con mayor naturalidad al diseño conceptual. Trabajos como los de Qin y otros (2003), sostienen que "los sistemas de diseño por computadora convencionales no soportan fácilmente el proceso de diseño conceptual, porque necesitan definiciones completas, concretas y precisas de la geometría que sólo están disponibles al final del proceso de diseño" (pág. 154). Esto hay que re-estudiarlo. Y de forma similar Lim y otros (2004) afirman que "las herramientas de diseño asistido por computadoras existente no son adecuadas para una fase de diseño conceptual ya que son demasiado complejas para pensar desde lo abstracto y están lejos de las herramientas originarias como el lápiz y papel" (pág. 393).

Sin embargo, Cross (2001) considera que "una mayor investigación acerca de cómo piensan los diseñadores puede proporcionar pistas sobre la mediación informática eficaz" (pág. 94). Los estudios acerca de dibujos y bocetos han sido una parte importante de la investigación del diseño y han concentrado sus esfuerzos en describir las interacciones de los diseñadores con sus representaciones manuales y muy recientemente digitales.

Ahora, desde un punto de vista desafiante a las tesis aquí manejadas, Zafer Bilda y John Gero (2006) en un estudio con diseñadores expertos demostraron que la externalización no es la única manera de diseñar visualmente. En su trabajo presentan el resultado de sesiones donde arquitectos diseñan bajo dos condiciones: la condición experimento, en el que no tienen acceso a los bocetos a mano y la condición de control donde se les da acceso a dibujar. Los indicios sugieren que externalizar no es necesario para obtener un resultado satisfactorio y razonable en la fase conceptual del diseño, razón por la cual se pudiera llegar a apuntar hacia un cambio de paradigma del diseño conceptual basado en una reconfiguración mental del diseñador como sujeto de interacción, que favorece al actual formato digital.

2.2. Diseño como actividad cognitiva

Los arquitectos definen su actividad en torno al término diseño, es así como a la necesidad espacial la llaman problema de diseño, a su repuesta solución de diseño y al proceso de resolución del problema de diseño lo llaman simplemente diseño (Akin Ö. , 1986).

El diseño es una actividad cognitiva de resolución de problemas y se fundamenta en la teoría de procesamiento de información simbólica desarrollada por Newell y Simon (1972). Ubicado dentro de este enfoque el procesamiento de la información de diseño se considera como una secuencia de etapas discretas donde se asume una continuidad entre “la entrada” y “la salida” en el sistema de procesamiento.

Según (Mayer, 1983) quien resuelve un problema lo hace aplicando operadores a los estados del problema. Un operador es cualquier movimiento oportuno que realiza el que resuelve el problema, y el operador puede ser aplicado físicamente o mentalmente pensando acerca del movimiento. Un estado del problema es una descripción de los elementos del problema, y cuando se aplica un operador se cambia el problema de un estado a otro. De modo que resolver problema o pensarlo puede externalizarse de dos formas: como una secuencia de procesos u operaciones mentales realizadas sobre la información en la memoria de un sujeto, y como una secuencia de estados o cambios internos en la información que evidencia el progreso hacia el objetivo.

La resolución de un problema arquitectónico depende según Eastman (1969) de la conjugación de cuatro elementos: *unidades de diseño, operadores, restricciones y objetivos*. Las unidades de diseño conforman el conjunto de todos los elementos físicos o componentes constructivos que se manipulan en el espacio del problema; por ejemplo, para el caso de una vivienda serían: sala, comedor, cocina, habitación, etc. Como puede observarse estas unidades representan conceptos generales que identifican configuraciones físicas asociadas a la problemática y pueden definirse tanto por el cliente como por el diseñador. Los operadores son el conocimiento del arquitecto, así como cualquier cambio en su estado o condición del mismo. Las restricciones constituyen la información que delimita las unidades de diseño, es el caso de los requerimientos y condicionantes del problema; y por último los objetivos que para los fines del problema arquitectónico vendrían a ser la configuración espacial que satisfaga casi todas las restricciones.

Eastman (1969) precisa que sobre la estructura de las unidades de diseño actúan tres operadores: identificación, generación e integración (Cuadro 3). La dinámica entre estos ocurre de la manera siguiente: identificar es el reconocimiento de una unidad de diseño relevante al problema o a una serie de limitaciones, con las que el diseñador genera una posible configuración que cumpla con las limitaciones pertinentes, y que posteriormente deba integrarse con otras configuraciones ya seleccionadas. Sumado a esto el autor indica dos tipos de restricciones: unas como limitaciones al objetivo dado en la definición del problema y otras como restricciones internas, que son aquellas impuestas por la forma particular de la solución.

Cuadro 3

Operadores sobre unidades de diseño

OPERADOR	DESCRIPCIÓN
Identificar	Reconocimiento de una unidad de diseño o limitantes
Generar	Generar posible configuración que cumpla con las limitantes.
Integrar	Integrar configuraciones seleccionadas

Nota: resumen con base en Eastman (1969).

Pero antes de empezar a explicar las etapas discretas que conforman el proceso de diseño es necesario detenerse en la singularidad de su tipo de problema. Es sabido que de acuerdo al problema se dispone la forma de procesamiento en el diseño. Particularmente el proyectista, no conoce de forma anticipada la respuesta al problema, ni la manera de resolverlo directamente, por lo que debe proceder a una investigación que le permita el conocimiento de la realidad y los pasos a seguir para cambiarla. Esta diferenciación permitirá ir avanzando en el reconocimiento y comprensión los procesos cognitivos asociados a la relación entre la representación y el diseño.

En el diseño arquitectónico, como en otras actividades de diseño, la complejidad de las acciones de solución se ven comprometidas principalmente por el tipo de problema, que en la literatura se conoce como *mal definido* o *mal estructurado* (Simon, 1973). Para Sternberg (1987) tanto el espacio del problema, que será definido más adelante, como el problema mismo pueden identificarse *bien definidos* o *mal definidos*. El problema está bien definido si el conocimiento y las condiciones de este pueden ser representados completa, precisa y manejablemente, además de la claridad de anticipar los pasos para llegar a la solución. Por el contrario, se les llama mal definidos a aquellos problemas que no tienen soluciones únicas y no pueden definirse a priori los

pasos para alcanzar alguna de ellas. Tampoco, en este caso, se tiene por adelantado el conocimiento y los objetivos, por lo que se requiere de investigación y en muchas ocasiones intuición para resolverlos.

La naturaleza de los problemas de diseño tampoco permite resolverlos simplemente por recolección y análisis de la información, tal y como lo explica Nigel Cross (1976) en una entrevista dada a McCormat en la cadena televisiva BBC: “yo no creo que pueda diseñar algo mediante la absorción de la información y la esperanza de sintetizarla en una solución. Lo que se necesita conocer acerca del problema solo se hace evidente cuando se está tratando de resolverlo”. Esto significa que toda la información relevante no puede predecirse y establecerse por adelantado, la trayectoria de la solución será una consecuencia de la exploración. Tampoco existe ningún método directo para generar todas las alternativas a la solución en cada paso y es difícil decidir si se ha alcanzado totalmente el objetivo de diseño (Akin Ö. , 1986). Cabe apuntar que en lugar de una solución correcta los problemas de diseño tienen varias soluciones aceptables, que son más o menos satisfactorias (Eastman C. , 1969).

Simon (1973) piensa el diseño como una actividad que se puede realizar de forma secuencial y en base a sub-problemas o sub-objetivos. La complicación de trabajar sobre problemas mal estructurados o mal definidos sugiere que el problema global debe ser descompuesto en un número más pequeño de problemas bien definidos. La información pertinente sobre un sub-problema se puede mantener en la memoria y el proceso de diseño es una combinación de soluciones a esos sub-problemas. Según esto, el diseñador en todo momento se encontraría trabajando en algún sub-problema bien definido, atendiendo a un sistema de recuperación, que modifica continuamente el espacio del problema. Por ejemplo, mediante el recuerdo, usando la memoria a largo plazo, de nuevas restricciones, nuevos sub-objetivos y nuevos generadores de alternativas de diseño.

Ahora, como se trata de sub-problemas bien definidos, uno a la vez, habría la necesidad de incorporar algún tipo de función de control que supervise el proceso de resolución. Sin embargo, queda establecido por la tarea que las soluciones a los sub-problemas se relacionan entre sí, con el objetivo de producir una solución de diseño global. Esta solución global todavía tiene que ser juzgada con criterios que no siempre son muy claros, por citar un ejemplo, los estéticos. Y esto indica que todo el problema de diseño sigue siendo mal estructurado, a pesar de

que se puede dividir en partes estructuradas y manejables.

A este respecto, Visser (2009) considera que Simon sobreestima el papel de la descomposición sistemática de un problema, especialmente si es a través de un refinamiento paso a paso. Los diseñadores rara vez descomponen de manera sistemática y más aún si un mismo elemento se puede descomponer de diferentes formas (Reitman, Shelly, & Bryan, 1964). Visser resalta la contradicción de Simón cuando él mismo señala que las interdependencias entre los sub-problemas, que resultan de la descomposición, es probable que sean desestimadas y este efecto secundario es poco deseable en el proceso de diseño.

El procesamiento en el diseño, por lo tanto, se relaciona con el tipo de tarea y su gestión. El diseñador debe decidir sobre una serie de acciones que a priori no sabe cuáles son, situación que obliga un proceso de búsqueda cuyo fin es básicamente el objetivo último del diseño: cambiar una realidad por otra que refleje la solución. Según Simon y Newell (1972) la condición inicial requiere que la persona domine información respecto al problema que enfrenta, es decir, el estado del conocimiento. Ahora, hipotéticamente, todas las transformaciones aplicadas para conseguir un cambio de estado de conocimiento en el diseño genera también una secuencia de fases del problema y estos elementos juntos conforman el *espacio del problema*.

Por lo tanto, el espacio del problema está compuesto por los estados del conocimiento, que representan a la solución del problema, a los objetivos y a los operadores. Aquí los procesos generativos permiten que uno de los estados de conocimiento definido como “entrada” produzca nuevos estados de conocimiento o “salida” (Simon & Newell, 1972). Posteriormente, se llevan a cabo los procedimientos de prueba, los cuales permiten hacer comparaciones entre todos aquellos estados de conocimiento que se suponen propiedades de la solución, que a su vez podrán ser incorporados al conjunto de estados de la solución. Estos procedimientos se realizan para decidir qué proceso de generación y qué operaciones de prueba se deben ejecutar sobre la base de la información contenida en los estados de conocimiento disponible y además qué operaciones de procesamiento se llevarían a cabo a través de sus representaciones.

La teoría emprendida por Simon postula tres tipos de procesos en la resolución de problemas: orientar, resolver y evaluar. La fase de orientación consiste en actividades que clarifican la declaración del problema y cualquier indagación tienen el propósito de obtener información adicional relacionada con el problema y su posible solución. La fase de la solución

se caracteriza por la aplicación de procedimientos de resolución y la fase de evaluación se refiere a la intención de revisar la solución en función de su exactitud o plausibilidad. A pesar de que estas fases son muy generales son suficientemente específicas para distinguir un comportamiento a fin en el caso del diseño.

Es sabido que el diseño arquitectónico es una actividad dispuesta más a satisfacer que a encontrar soluciones correctas. Es decir, el valor de lo óptimo se utiliza en la elección de la mejor alternativa entre todas las soluciones posibles y el diseñador se “conforma” con la que es suficientemente buena o satisfactoria. Esta característica, en el diseño en general, varía de acuerdo con la disciplina. Mientras los arquitectos proceden sobre la satisfacción, los ingenieros adoptan métodos más objetivos en su selección de posibilidades que los guían hacia la optimización (Akin Ö. , 1986).

Desde el punto de vista procedimental la resolución del problema arquitectónico se caracteriza por ser una tarea de fases en la que el diseñador debe llevar a cabo una serie de actividades orientadas a resolver una situación de diseño; principalmente una demanda espacial (Alexander, 1964; Archer, 2005; Eastman, 2001; Kalay, 2004; Rowe, 1987). Se comienza con la identificación y el análisis de una necesidad, y para ello se procede en forma secuencial y estructurada con actividades en la que se investigan datos y referentes, luego se exploran de ideas y evalúan alternativas, estas dos cíclicamente hasta aproximar una respuesta que satisfaga a la necesidad.

La sucesión de actividades distintas e identificables en este contexto, que ocurren en un orden muchas veces predecible, se conoce como Proceso de Diseño. Genéricamente las fases del proceso se han identificado con las tareas de análisis, síntesis y evaluación y este reconocimiento proviene de los procesos definidos por Newell y Simon (1972): orientar, resolver evaluar. Pero, sobre estas fases genéricas se han definido diferentes posturas con mayor o menor grado de refinamiento y precisión.

El modelo de Asimow (1982) divide al proceso de diseño en tres fases: estudio de factibilidad, diseño preliminar y diseño detallado. La primera fase implica la identificación de los sub-problemas de diseño y la búsqueda de posibles soluciones útiles. El diseño preliminar consiste en análisis y síntesis de las soluciones descubiertas durante la primera fase, lo que conduce a la identificación de las mejores alternativas para el problema dado. Y por último, el

diseño detallado donde a partir de conceptos explorados en la segunda fase se elaboran representaciones específicas de las soluciones. Asimow llama a este patrón cronológico morfología del diseño, argumentando que todos los proyectos de diseño siguen la misma secuencia de desarrollo, aunque cada uno podría tener su propia secuencia característica.

El proceso de diseño ha sido descrito como una transformación de la información a través de las etapas de análisis, síntesis, y evaluación (Figura 2), considerando que el diseño es una actividad continua de resolución de problemas, durante la cual cada idea individual se transforma a través de un conjunto de estrategias de diseño (Sanoff, 1977). En la fase de análisis, un problema de diseño complejo se divide en partes para permitir la exploración de las relaciones entre ellos. En la fase de síntesis se relacionan las partes entre sí para formar una solución y en la de evaluación, se valoran las alternativas y se comparan para la selección de la solución al problema de diseño. Asimismo, la evaluación puede generar nuevos problemas de diseño para su posterior análisis y síntesis en el ciclo de diseño. Todos los diseñadores pasan por estas etapas para reducir los errores y perfeccionar las soluciones de diseño.

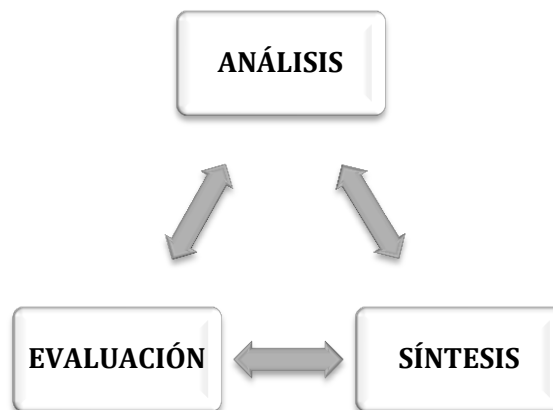


Figura 2: Modelo del proceso de diseño de Sanoff

Fuente: Lawson B. (2006). How designers think. The design process demystified.

Según Lawson, siguiendo el modelo de Asimow (1982) y junto a las denominaciones de Sanoff (1977), durante la fase de análisis se realiza una identificación de patrones en la información y se clasifican los objetivos. En esta fase, el arquitecto estudia cuidadosamente el problema con respecto a los requisitos y genera los principales objetivos del diseño. Además, asimila tipos de información, incluidos los requerimientos contextuales y las normas. En la fase de síntesis se intenta crear una respuesta al problema y se desarrollan actividades de

procesamiento y representación como el modelado conceptual, a partir de acciones de dibujo. La fase de evaluación, consiste en la valoración crítica, donde se juzgan las alternativas considerando su consecución con los objetivos identificados en la fase de análisis.

Otros modelos menos generales se han propuesto para caracterizar al proceso de diseño, en este sentido Peter Rowe (1987) propone un modelo observando las actividades de los diseñadores y define las etapas de esbozo de conceptos e imágenes, estudio de las ideas de diseño, investigación de temas de diseño, limitaciones de la tarea, resolución de conflictos y desarrollo de conceptos. O el de Goel (1995) que consta de cuatro fases dentro de la estructuración del problema y la resolución, con un mínimo de tres etapas progresivas, identificables con el diseño preliminar, el refinamiento y el diseño detallado. Cada fase es diferente según el tipo de información que se maneja. El grado de compromiso con las ideas generadas aumenta a medida que el diseño se va refinando y el nivel de detalle evoluciona a partir de las decisiones generales sobre los sistemas funcionales. El número y los tipos de transformaciones que participan en el proceso dependen directamente de la resolución, igualmente el sistemas de símbolos depende del tipo de información y sus transformaciones (Goel V. , 1999)

Kalay (2004) describe el acto de diseñar con las siguientes palabras:

“Se comienza con un boceteo de la solución (metafóricamente y figurativamente), el arquitecto busca en su memoria un repertorio de expectativas, imágenes y técnicas que deben sumarse a las especificaciones iniciales sobre el contexto. Como un músico de jazz, quien siente el flujo de la música, el arquitecto improvisa un escenario para cada movimiento. El proceso puede pensarse desde un sistema de producciones en el cual cada elemento que ya ha sido evocado desde la memoria sirve de estímulo para despertar nuevos elementos. Mientras se progresa en el trabajo, el arquitecto tiene una mejor comprensión del problema. Es capaz de apreciar la situación inicial, el marco del problema y negociar la dirección a seguir...Cada decisión que toma está dirigida a satisfacer un requerimiento particular, pero esto afecta otras variables” (p. 101).

A medida que el diseñador revisa y reajusta los bocetos o dibujos utilizados, en una jornada recursiva, descubre que algunas características están ocultas en las representaciones gráficas y espaciales. Aquí, existen nuevas combinaciones y relaciones entre los elementos que

le permiten distinguir nuevas claves para refinar la solución al problema. De esta manera, la habilidad de razonar visualmente se desarrolla a través de la práctica de diseñar con dibujos.

En relación con la representación y el proceso de solución, Vinod Goel (1999) en una conferencia sobre *razonamiento espacial* en el diseño en la Universidad de Cambridge describe, a grandes rasgos, el caso del arquitecto. Según este se empieza con la demanda del cliente, momento donde ambos (arquitecto y cliente) analizan el problema para concretar una descripción de los requisitos para la solución y así como confección básica del concepto de diseño. Dice Goel que para la construcción más elaborada se inspira en imágenes, bocetos y dibujos de otros proyectos. Por lo general, al inicio se realizan múltiples bocetos a mano alzada, escuetos y abstractos, con el fin de desarrollar las ideas y conceptos más promisorios. El arquitecto produce muchos dibujos en la etapa inicial que le permite repensar o posponer la consideración sobre algún aspecto. Cuando el arquitecto está satisfecho con el diseño preliminar, crea un dibujo más detallado utilizando otras herramientas, como una regla o una mesa de dibujo. En etapas posteriores del diseño utiliza la computadora con el fin de hacer un dibujo preciso; pero mientras tanto, usa papel y lápiz para poner a prueba nuevas ideas de diseño.

La exploración de los mecanismos cognitivos desde la perspectiva de resolución de problemas ha generado diferentes enfoques para estructurar el proceso de diseño. Tal es el caso del modelo propuesto por Chang (1990), quien representa la actividad como una secuencia de objetivos, y modela considerando cuatro componentes claves: conocimiento base, estrategias de control, restricciones de diseño y búsqueda (Figura 3).

Chan categoriza al conocimiento general como declarativo y es un tipo de información estática que comprende los hechos (unidades de diseño) y procedimientos conocidos por el diseñador para llevar a cabo la tarea. Para proceder el diseñador debe conocer la secuencia de objetivos, las unidades de diseño, las restricciones asociadas y las reglas de su aplicación. A partir de aquí se toman el conjunto de decisiones que serán evaluadas posteriormente.

Este trabajo revela algunas particularidades del proceso de diseño como la existencia de diferentes métodos de búsqueda cognitiva, además de que las acciones perceptivas controlan el progreso de las acciones en todo el sistema y que la habilidad de diseñar está determinada por la destreza en el momento de organizar y emplear el esquema.

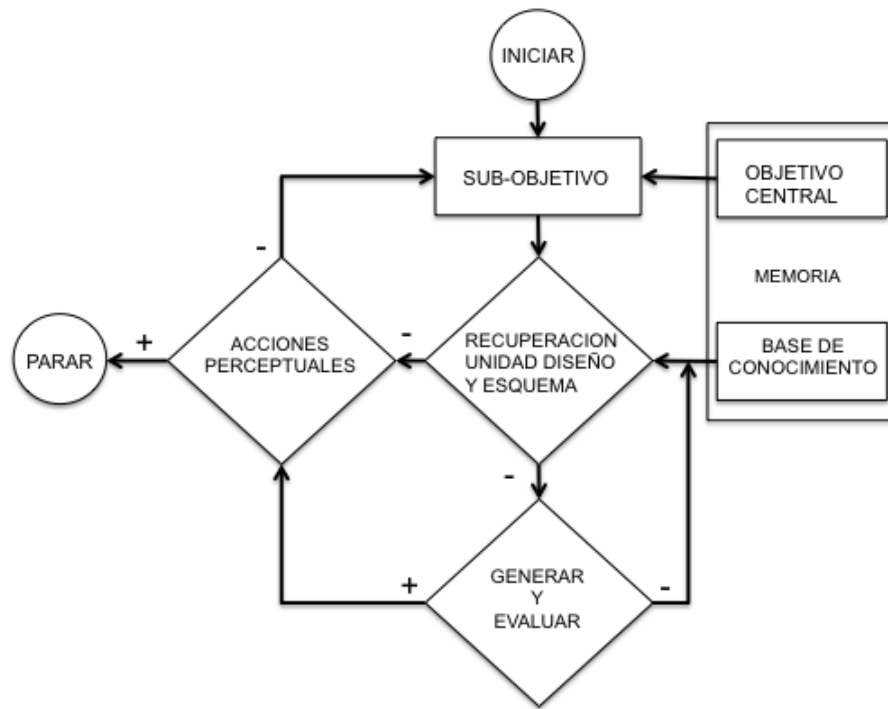


Figura 3: Actividades cognitivas del proceso de diseño

Fuente: Chang, C. S., 1990, Cognitive process in architectural design problem solving, p. 61.

A pesar de la opinión estructurada y comúnmente adoptada para definir el proceso de diseño, este en la práctica nunca es simple ni directo, por lo que los diseñadores realizan diversas actividades como: análisis, lluvia de ideas, cálculo, selección, comunicación, toma de decisiones, descomposición, definición, desarrollo, discusión, documentación, dibujo, evaluación, exploración, generación, clasificación, calificación, justificación, administración, modelado, negociación, observación, optimización, lectura, búsqueda, simulación, resolución, estructuración, diálogo, razonamiento, validación, verificación o escritura. Muchas de estas actividades pueden ocurrir de forma mental o física, creativa o racional, se pueden realizar consciente o inconscientemente, por un grupo o por un individuo, en el contexto de descubrimiento o en el de la justificación, para la adquisición de conocimiento, aplicación, o comunicación, que entrañen la interpretación objetiva o subjetiva (Dorst, K & Dijkhuis, 1995).

2.3. Modelos cognitivos del diseño arquitectónico y la ideación

Si bien es cierto que los conocimientos y los comportamientos de los diseñadores pueden variar, y sus actividades básicas de manejo de información como identificación, codificación, manipulación y recuperación de la información son esencialmente similares para casi todos los

modelos de resolución de problemas. Existen modelos que aproximan con bastante exactitud la generalidad del proceso cognitivo. En tal sentido vale la pena comentar el modelo explicativo de Ömer Akin (1986), quien considera que los desarrollos en el área de resolución de problemas son una oportunidad de entender la base cognitiva de diseño arquitectónico. A partir de los fundamentos de la teoría del procesamiento de la información este investigador desarrolló un modelo explicativo del diseño como base para la investigación, educación y práctica arquitectónica. El énfasis de su trabajo se centró en los procesos que operan desde la información, resaltando básicamente la adquisición, la representación, la proyección y la confirmación de la información y otros procesos de regulación. Cada proceso, por el tipo de actividad define la fase que está caracterizando y su producto define su término.

Como se ha referido todo proceso de diseño comienza con la definición del espacio del problema y es allí donde la resolución se llevará a cabo. La definición de este espacio es parte esencial de la solución, ya que permite comprender la naturaleza del mismo y determinar el proceso de resolución (Dunker, 1945; Simon, 1973). Concretamente, este espacio es una representación del problema y de sus posibles soluciones. Es una formalización de la estructura del procesamiento definida en términos de estados de resolución: estado inicial, estado final y estados intermedios. La resolución se mueve de un estado a otro por la mediación de los llamados operadores, como los ya mencionados y definidos por Eastman. Y su representación, del espacio del problema, puede ser interna por una imagen mental o externa por un dibujo (en papel o en computadora).

Según el modelo psicológico de Akin (1986), la resolución de un problema de diseño implica un conjunto de acciones en etapas. Se plantea el problema, se recopila la información pertinente, se identifican sub-problemas y el trabajo evoluciona hacia una solución que se desarrolla gradualmente en la medida que se integran las sub-soluciones. La obtención de la información pertinente se lleva a cabo, por ejemplo, a través de una búsqueda visual, revisión de textos, mapas, croquis, consulta verbal o búsqueda de contenidos en la memoria. La información adquirida se representa de modo verbal-conceptual y visual, y con ambos procesos se consigue la definición al problema de diseño. Considerando una secuencia, le sigue el hecho de proyectar la información en algún medio de representación. Y esta acción que permite hacer inferencias, encontrar nuevas implicaciones asociadas al problema para su evaluación y verificación de la consistencia del proceso de solución (Akin Ö. , 1986).

Así como Akin (1986) aproxima el proceso de diseño desde una perspectiva cognitiva, Ronald Hamel (1990) desarrolla un modelo psicológico en los componentes y sus relaciones en el proceso de diseño. Para Hamel la resolución de problemas de diseño no es más que la ejecución de las acciones cognitivas sobre la información que se encuentra en la *memoria de corto plazo o de trabajo* (MCP) y la *memoria a largo plazo* (MLP). La memoria de largo plazo, es el lugar en el cerebro donde la información no está activa un momento determinado para el contexto de la resolución de un problema. La memoria de corto plazo, es donde la información está activa y disponible en el momento y contexto de la resolución del problema. La capacidad de la memoria de trabajo es restringida, es decir que sólo una cantidad limitada de información puede ser atendida en un momento determinado. Por esta razón en el diseño las representaciones externas son un valioso instrumento de apoyo a la memoria de trabajo.

En el modelo de la Figura 5, Hamel adopta la noción de esquema como un principio de organización combinada con la forma anidada del modelo multialmacén de Atkinson y Shiffrin (1968) mostrado en la Figura 4.

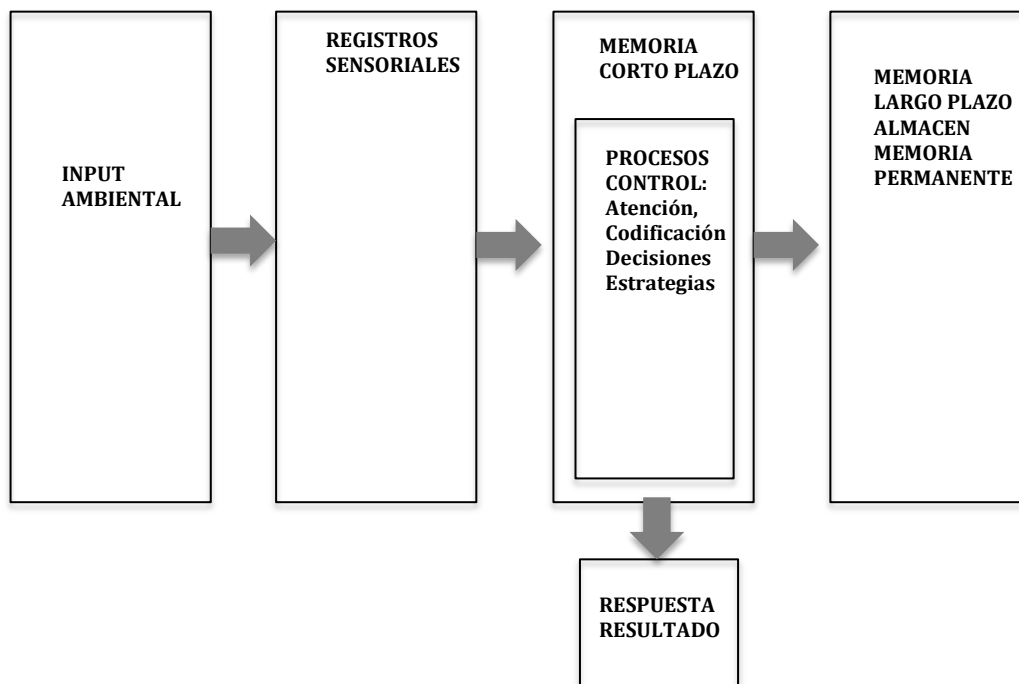


Figura 4: Modelo multi-almacen de Atkinson y Shiffrin

Fuente: Atkinson y Shiffrin, (1968), Human memory: a proposed system and its control process. En K. Spence, & J. Spence, *The psychology of learning and motivation*, Vol. 2, New York: New York: Academic Press.

Esta organización funciona como grandes estructuras de conocimiento complejo dispuestas para almacenar información significativa acerca de objetos o eventos. Un esquema, para este caso, se define como el conjunto de particularidades y representaciones de un objeto, evento o tarea, que se lleva a cabo mediante la especificación de sus propiedades. Los esquemas están jerárquicamente organizados y relacionados entre sí, que contienen conocimiento tanto declarativo y procedimental.

El conocimiento declarativo sobre el problema se organiza en el esquema de concepción del problema. Este puede ser comparado con el espacio del problema en la teoría la resolución de problemas. Su función más importante es que permite activar fácilmente cierta información que estaba temporalmente apartada de la memoria de trabajo.

El conocimiento procedimental es representado en un esquema de tareas que de acuerdo con el proceso de resolución es controlado por el esquema del problema (Figura 5). La estructura anidada representa tres componentes de dominio específico: análisis, síntesis y diseño. Y estos a su vez tienen tres componentes de dominio independiente: orientación, ejecución y evaluación.

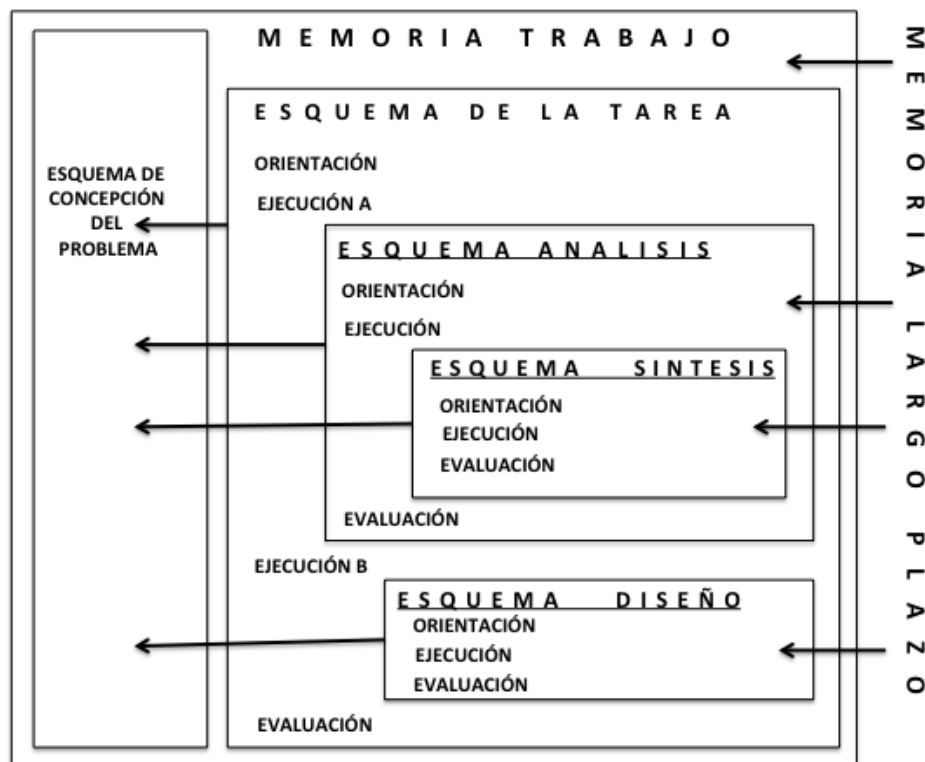


Figura 5: Modelo psicológico basado en esquemas

Fuente: Hamel, R. (1990). *Over het denken van de architect*. Amsterdam: AHA Books.

El modelo busca reflejar la actividad cognitiva en el proceso de diseño, es decir, durante la resolución de un problema de arquitectura. Según Hamel, la primera de las tres tareas que tiene que realizar el arquitecto cuando se le da un problema es orientar. Una acción que consiste básicamente en extraer información, ya sea del encuentro con el cliente o del entorno. Con esta información él trabaja sobre el problema para definirlo y delimitarlo, y a este momento Hamel lo llama fase de ejecución. Si se observa la organización de la Figura 5 dentro de esta fase se anidan las fases de análisis y síntesis, y esta última con el mismo sub-esquema de orientación, ejecución y evaluación.

En el esquema de análisis las actividades de orientación consisten en la recopilación de información, la descomposición del problema y la búsqueda de soluciones parciales. La fase de ejecución, del esquema de análisis, se descompone como ya se ha dicho en otro esquema llamado de síntesis. Esta una fase importante ya que es aquí donde se componen y combinan los problemas parciales para generar una solución del problema en su conjunto. En este sub-esquema también se realizan tareas de orientación, ejecución y evaluación.

Para el esquema de diseño las actividades se centran en el cumplimiento de los criterios arquitectónicos. Estos criterios van desde el valor estético hasta la elegancia de la solución, es decir, alcanzar un diseño que cumpla con los requisitos técnicos del cliente, los criterios estéticos, profesionales y cognitivos. La “última” actividad en el esquema de tareas es la evaluación, que abarca tanto las decisiones finales como la alternativa escogida como la solución.

El modelo de Hamel detalla los ciclos recurrentes de orientación, ejecución y evaluación, y estos ciclos se refieren a diferentes niveles o sub-problemas, es decir todas aquellas actividades que pertenecen a un esquema y que tienen que llevarse a cabo antes de ir al esquema siguiente. Esto indica que en teoría el diseño no puede comenzar hasta que la síntesis de las sub-soluciones haya tenido lugar.

Por otra parte, el modelo no reconoce grandes pasos hacia atrás, por ejemplo, cuando hay alternancia entre el análisis y la síntesis. Sin embargo, este modelo fue probado con análisis de protocolo de diseñadores según las pautas de Ericsson y Simon (1993) y se comprobó que describe un orden ideal de actividades cognitivas; en las que las excepciones se interpretaron como imperfecciones en los procesos del diseñador (Hamel, 1990; Van Someren, Barnard y

Sandberg , 1994).

Con el objeto de detallar las características cognitivas de la fase de ideación o conceptual del proceso de diseño, que Goldschmidt (1991) catalogó como “altamente cognitiva”, se discutirá a continuación el modelo de Jin y Chuslip (2006), resumido en el Cuadro 4. Los investigadores mencionados proponen un modelo de actividad cognitiva del diseño basado en cuatro actividades cognitivas fundamentales: analizar problemas, generar, componer, y evaluar. Que en los términos de Newell y Simon (1972) la primera se corresponde con el proceso de orientar, la segunda y tercera con el de resolver y la última ambos modelos coinciden en procesos de evaluación.

Cuadro 4

Actividades cognitivas en 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: resumen con base en Jin y Chusilp, 2006.

Como se muestra en la Cuadro 4, Jin y Chuslip (2006) modelaron las diferentes actividades del proceso de generación de una idea así como las relaciones entre sus actividades. En esencia es un modelo del proceso cognitivo que reconoce la forma iterativa del proceso de ideación, así como la interacción entre las actividades cognitivas.

En la actividad cognitiva, mostrada en la Figura 6, lo clave en la tarea, según Jin (2006), inicia con el análisis del problema. Una acción que está relacionada con la comprensión de los requisitos del problema, la exploración de las limitantes y las necesidades que deben satisfacerse. En este momento también se establecen los objetivos, requerimientos y condicionantes de diseño, aunque sean susceptibles a cambio en el transcurrir del proceso. Esta variación puede ocurrir cuando se revisa o reelabora la definición del problema y en ese instante se originan

nuevos requerimientos y condicionantes. Sumado a las tareas anteriores se establecen los criterios de solución, elaborados a partir de los objetivos de diseño.

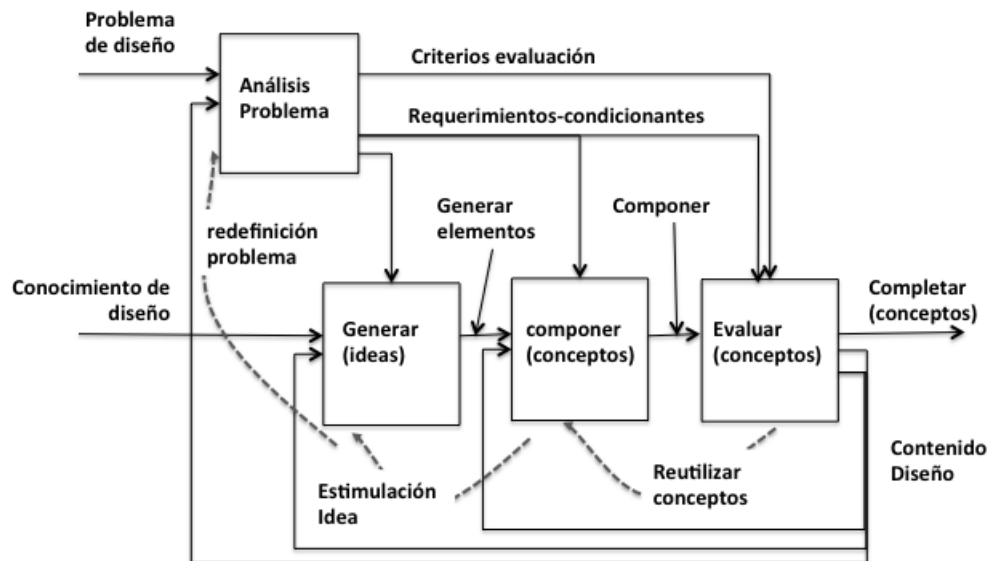


Figura 6: Modelo de actividad cognitiva del diseño conceptual

Fuente: Yan Jin, Pawat Chusilp (2006) "Study of mental iteration in different design situations", Design Studies, Vol. 27.

Según este modelo generar es otra de las actividades cognitivas e implica la concepción de nuevas ideas. En esta los diseñadores básicamente recuperan de su memoria información pertinente al problema dado en función de los requerimientos y condicionantes. Y como parte de las acciones de ideación trabaja la estimulación perceptiva, también en una estructura iterativa.

Con los elementos producto de la generación se compone. Una actividad que implica la evolución de las ideas iniciales en conceptos de diseño identificables (Gero & McNeill, 1998). Entonces, se logra componer cuando se combinan las ideas o conceptos generados desde la mente con las ideas o conceptos generados a partir de ciclos de iteración y las ideas maduran con cada iteración.

Los procesos de evaluación acompañan cada iteración. La evaluación se lleva a cabo para contrastar las decisiones con los requerimientos, condicionantes, criterios y limitantes establecidas en el análisis del problema. Como un proceso cognitivo exploratorio, evaluar se realiza para asegurarse que un concepto de diseño es relevante, útil, y bueno. La pertinencia y utilidad de un concepto se determina por concordancia con los requisitos de diseño y las limitantes, mientras que lo viable depende de los criterios de diseño.

Por ejemplo, en el boceteo de la Figura 7 se puede observar movimientos de iteraciones y evaluaciones en una fase de ideación. El trabajo pertenece al famoso arquitecto contemporáneo Daniel Libeskind, a propósito del concurso para desarrollar la zona cero en el bajo Manhattan en Nueva York (Libeskind, 2003). Se aprecia la acción exploratoria, la evaluación de criterios y transformaciones laterales, en función de objetivos conceptuales y condicionantes de diseño. Las evaluaciones de asoleamiento responden al requerimiento de *diseño sustentable* y alta tecnología, para emplazar unas torres de oficina. Los movimientos de iterativos en torno a una geometría cuadrada corresponden a unas excavaciones para plasmar arquitectónicamente el concepto de diseño: "Fundamentos de la memoria". Este con el objetivo de mostrar físicamente la estructura de las edificaciones caídas y simbolizar la fortaleza moral de las raíces del pueblo norteamericano.

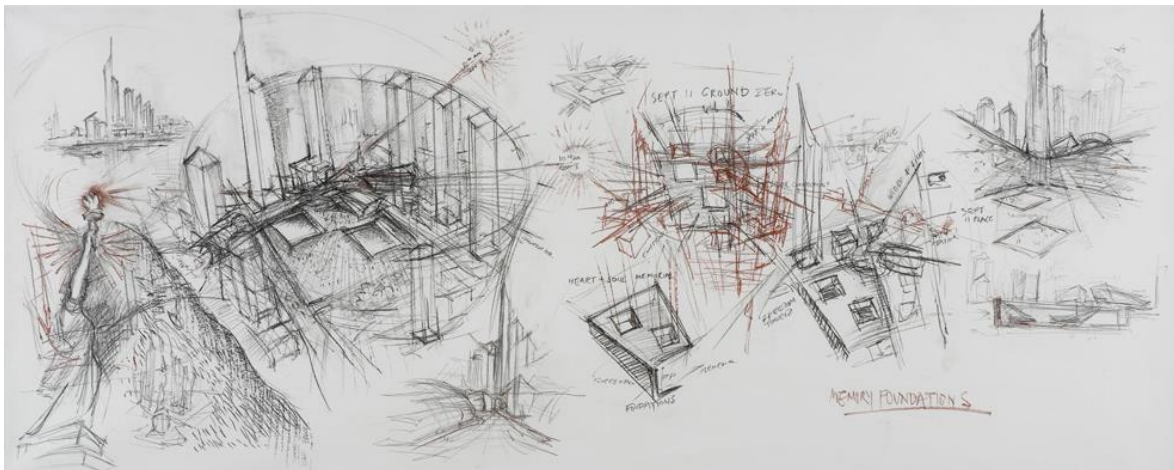


Figura 7. Procesos de evaluación e iteración en boceteo: Daniel Libeskind

Fuente: Libeskind, D. A. (2003). Daniel Libeskind studio. <http://libeskind.com/work/ground-zero-master-plan/>.

Muchos modelos del proceso de diseño explicitan las actividades en el diseño y sus relaciones. La particularidad del modelo de Jin y otros (2006), representado en la Figura 6, es que distingue la forma iterativa del proceso de ideación. Identifica lazos de iteración en torno a cuatro actividades y los define como: lazo de redefinición del problema, lazo de estimulación y lazo de reutilización de conceptos. Y adicionalmente a estos lazos globales, precisa la existencia de lazos de iteración locales dentro de las actividades cognitivas ya mencionadas.

Modelar la actividad cognitiva en el diseño ha tenido como objetivo suministrar herramientas para la comprensión de la tarea de diseño; sobre todo para entender cómo los diseñadores procesan y manipulan la información de diseño o cómo piensan iterativamente.

2.4. Representación externa y cognición del diseño

“El dibujo es tu comprensión de la forma”

Edgar Degas

En general, cuando una persona resuelve problemas utiliza dos tipos de representación: una interna, que sucede en el cerebro, y otra externa, que se formaliza sobre algún medio tangible como papel, computadora o cualquier otro objeto de expresión externa. A este respecto Zhang (1997) explica la diferencia entre ambas como sigue:

Las representaciones externas se precisan por medio del conocimiento y su estructura plasmado sobre un medio, como: símbolos físicos, objetos, dimensiones, reglas externas, restricciones, y las relaciones entre las configuraciones físicas. Es por esto, que la información en las representaciones externas puede ser recogida, analizada y procesada por sistemas perceptivos. Las representaciones internas, por otro lado, son el conocimiento y su estructura en la memoria, esto es propuestas, producciones, esquemas, redes neuronales, y otras formas. La información en las representaciones internas tiene que ser recuperada desde la memoria por los procesos cognitivos, aún cuando las señales dadas por las representaciones externas puedan desencadenar estos procesos de recuperación. Resumidamente, las representaciones internas son los significados de los símbolos y las externas las formas y posiciones de los mismos que pueden ser perceptivamente controlables desde el medio” (pág. 180).

Las diferencias entre representaciones internas y externas se han trazado desde distintas posturas. Una muy fuerte, desde la ciencia cognitiva, es que las representaciones externas son los insumos y estímulos a la mente interna (Newell A. , 1990). Aquí se supone que en las tareas cognitivas que involucran interacciones con el medio todo el procesamiento se produce sólo en un modelo interno de lo externo. En decir, que cuando una persona se enfrenta a una tarea que requiere de la interacción con el medio, primero tiene que crear un modelo interno de “la salida” a través de algunos procesos de codificación, y a continuación si podrá exteriorizar los subproductos de la transformación interna a través de algunos procesos de decodificación.

Asimismo, Chambers y Reisberg (1985) demostraron que las imágenes externas pueden proporcionar el acceso a los conocimientos y a las habilidades que no son accesibles desde las

representaciones internas. Este argumento ha sido probado en estudios de tareas cognitivas como resolución de problemas, razonamiento y toma de decisiones. En ellos se coincide en que las representaciones esquemáticas, diagramáticas y gráficas soportan los operadores de reconocimiento que actúan sobre la identificación de características e inferencias; procesos cognitivos que suceden directamente (Larkin & Simon, 1987; Stenning & Oberlander, 1995).

Como se ha mencionado, en tareas cognitivas como el diseño hay intercambios entre representaciones internas y externas. Es decir, la representación de una tarea cognitiva que está repartida entre lo interno y lo externo no es ni exclusivamente interna ni sólo externa, sino que ambas trabajan en la cognición (Zhang & Norman, 1994).

Aunque una discusión sobre los dos tipos de representación en el diseño es indudablemente trascendente, nuestro análisis se centra en la participación de las representaciones externas. Para esta discusión se reconoce, anticipadamente, que la representación externa, durante la tarea de diseño, hace un trabajo cognitivo visual. Especialmente, se considera que no sólo sirve para crear un registro tangible o como ayuda para la memoria, sino que facilita y circunscribe procesos cognitivos asociados a la inferencia, comprensión y resolución del problema (Suwa & Tversky, 1997).

Zang (1997) respalda la tesis de que las representaciones externas no son simplemente los insumos o estímulos a la mente interna. Particularmente considera que lo crucial de representación externa está en que es un componente intrínseco de la tarea, es decir, que sin esta la tarea deja de existir o bien cambia totalmente su naturaleza. El argumento anterior obliga a, lo que para muchos es evidente, que el diseño es inconcebible sin la representación externa; considerando que el diseñador resuelve y piensa con dibujos.

En el proceso de diseño la representación puede ser catalogada de dos maneras: como proceso y como producto. Es un proceso cuando el diseñador lleva a cabo un conjunto de acciones físicas de transformación para representar la evolución del pensamiento y las ideas. Y es un producto, cuando expresa concretamente el resultado del proceso, es decir un dibujo definitivo con la descripción detallada del objeto diseñado. Según Scaife y Rogers (1996), en la práctica del diseño ambos, proceso y producto, coexisten indistintamente y de hecho es difícil separarlos, ya que a la precisión de las propiedades estructurales de un objeto de diseño se le asocia un modo de procesamiento particular.

Como se ha señalado anteriormente, las representaciones externas contienen señales visuales que permiten descubrir y sugerir formas de revisar y refinar ideas. Es así como Shön y Wiggins (1992) sostienen que las acciones de dibujo conforman un proceso interactivo y cíclico que consiste en dibujar, examinar y revisar una idea; que por la forma como sucede encarna una conversación con uno mismo.

Profundizando en esta idea, la investigación de Suwa y Tversky (1997) permite precisar que estas representaciones tienen tres funciones: en primer lugar, asisten a la memoria tanto a la de corto plazo como a la de largo plazo. Para la memoria de corto plazo el suministro de señales externas por parte de los elementos representados reduce su carga. Es decir, que se dispone de mayor espacio libre de trabajo para realizar otras tareas como cálculos mentales, que de otro modo habría que tenerlos paralelamente en la memoria de trabajo.

Una segunda función de las representaciones externas se la atribuyen al papel de recordatorio sobre el conocimiento conceptual, necesario para la resolución de problemas u otras situaciones similares que puedan fomentar la creatividad. Como los dibujos son ricos en información visual y espacial, tienen la propiedad de llevar a la mente una amplia gama de asociaciones y promover tanto el cálculo viso-espacial y metafórico, como la inferencia y la visualización (Larkin & Simon, 1987; Purcell, Gero, Edwards y McNeill, 1994; Suwa & Tversky, 1997). Se aclara que las inferencias, ya sean literales o metafóricas, referentes al tamaño, la distancia y la dirección son más fáciles de construir a partir de dibujos, así como también aquellos cálculos de proximidad o agrupación funcional.

El tercer lugar Suwa y Tversky (1997) se lo asignan a la función que cumplen en la organización, especificación y coherencia de los conceptos, que conducen a nuevos descubrimientos. La exteriorización de ideas permite la exploración visual y la transformación de ellas mismas, que sumado a los objetivos de diseño se promueve la reorganización, la reconceptualización y la reformulación de la exposición visual en elaboración.

En definitiva, en el ámbito del diseño arquitectónico ha sido ampliamente discutido y aceptado el rol de estas representaciones en la generación de soluciones (Akin Ö. , 2004; Do y Gross, 1996; Eastman, 2001; Goldschmidt, 1991; Kavakli y Gero, 2001; Suwa y Tversky, 1997). Se ha validado el dibujo como medio de representación e instrumento influyente en la cognición,

ya que con las acciones de dibujo el diseñador crea un registro manipulable del trabajo mental que reproduce pensamientos e intenciones.

La relación visual de la información con la representación es sensible al formato de la misma. En el trabajo ya citado de Schön y Wiggins (1992) sobre los “tipos de ver y sus funciones en el diseño” discutieron las maneras de cómo los diseñadores ven sus diseños en curso y cómo estos tipos de ver afectan el proceso de diseño. Los autores enumeran tres tipos de ver: la aprehensión literal de las representaciones, la aprehensión de las cifras, y los juicios apreciativos de calidad. A estos tipos también se suma el reconocimiento de las consecuencias no deseadas en las acciones de diseño. Una evidencia importante se refiere a que los diferentes tipos de ver son esenciales para los procesos entrelazados de diseñar y descubrir dentro y entre los episodios de diseño.

El trabajo originario de Larkin y Simon (1987) aborda la sensibilidad del procesamiento de la información al tipo de representación. Básicamente los autores explican por qué las representaciones esquemáticas soportan operadores de reconocimiento de características e inferencias, fácil y directamente. En el estudio se usaron dos tipos de representaciones externas: proposicional y esquemática, en problemas en física y geometría. La diferencia fundamental entre las dos representaciones radica en que las representaciones esquemáticas preservan de forma explícita la información sobre las relaciones topológicas y geométricas, y las proposicionales no.

El análisis se realizó particularmente para los procesos de búsqueda, reconocimiento e inferencias a fin de comparar las variaciones entre el uso de diagramas o palabras en la solución de los problemas mencionados. De los resultados se obtuvo que el proceso de búsqueda no es equivalente en las representaciones analizadas y el proceso de representación es sensible a la forma en cómo se presenta la información. Los elementos geométricos se reconocen más rápidamente en una representación esquemática que en una lista de proposiciones. En otras palabras, la facilidad de reconocimiento depende de lo explícito de la información en la representación. De modo que, las inferencias derivan de los procesos de reconocimiento y búsqueda y la velocidad con que estos puedan ser ejecutados. (Larkin y Simon, 1987).

El proceso cognitivo que vincula el conocimiento conceptual con el perceptual es denominado razonamiento visual (Tversky, 1999). En la psicología cognitiva se conoce como la inferencia de conclusiones a partir de representaciones visuales para el conocimiento abstracto.

La noción del razonamiento visual se basa en tesis de Rudolf Arnheim (1969), quien establece que la percepción y la cognición están perfectamente integradas y no pueden concebirse separadamente. En este sentido, la percepción reside en la comprensión de las características estructurales de la abstracción, que también es un principio de la cognición. Es así como el proceso de análisis y producción de conceptos comienza con la percepción.

A partir de lo percibido ocurre el reconocimiento global, donde se intenta registrar en conjunto la forma en general, sin detalles, aquella que se considerará posteriormente para alcanzar una mayor precisión. Este mecanismo, consubstancial al proceso de reconocimiento de formas está ligado a la capacidad de proceder selectivamente es el medio práctico. Al cual se recurre en la abstracción, que constituye una operación clave para la formación de los conceptos.

Aunque cada imagen mental es individual y única, la mente es capaz de abstraer detalles para centrarse sólo en algunos componentes o en la organización de éstos, sin siquiera considerar componentes específicos. Esto es para Arnheim (1969) "lo que una cantidad de entidades separadas tienen en común" (pág. 172). Como consecuencia de este proceso, se piensa que el hombre, al percibir las formas complejas, crea para sí formas simples, de fácil captación para los sentidos y de sencilla comprensión para la mente. Y es de esta manera, como nace el lenguaje a partir de la observación, y cómo adquiere su capacidad de sustitución simbólica. Las formas generadas de este modo tendrán un nivel de abstracción variable pero siempre mayor que el de la imagen mental de la realidad observada.

En todo sistema de expresión o lenguaje existe un grado mayor o menor de analogía, es decir, una relación *isomórfica* entre la percepción del referente y su designación simbólica. Esto ocurre en la medida en que ciertas características formales de la primera aparezcan en la segunda y ambas sean reconocidas como equivalentes al nivel de las correspondientes unidades cognitivas. Esta relación sería la más fundamental del pensamiento, junto a la capacidad de dar sentido. De este modo, Arnheim sugiere que el razonamiento visual es también el más esencial, por cuanto se construye a partir de los mayores grados de *isomorfismo*. Y es desde de su capacidad abstractiva isomórfica que se puede llegar a entender la existencia de procesos no

isomórficos, aquellos capaces de representar incluso realidades inmateriales.

El razonamiento visual en el diseño es entonces un aprendizaje a través del hacer, o es la cognición a través de la práctica, que como para cualquier proceso basado en la resolución de problemas implica razonamiento a través de material visual. Material que sufre transformaciones para obtener y desarrollar otro material, nuevo y también visual, tal y como lo afirma Godshmith en su trabajo de 1991. La reinterpretación a partir del boceteo, por ejemplo, es un proceso de reconocimiento de una solución potencial de diseño a partir de cambios visuales, que directamente modifican las formas de ver y percibir lo representado. Es decir, que un pensamiento analógico o metafórico está directamente vinculado a las acciones de dibujo, que permiten ver y reinterpretar las propiedades de las figuras plasmadas en el dibujo que desencadenan la visión de nuevas figuras a partir de la existente.

Para Fodor (1975) "la percepción es esencialmente una cuestión de resolución de problemas, donde la forma del problema predice el carácter de la experiencia sensorial futura, dado el carácter de las sensaciones pasadas y actuales como datos. Concebido de esta manera, modelos de percepción tienen la misma estructura general como modelos de aprendizaje de conceptos: uno tiene una forma canónica para la representación de los datos, se necesita una fuente de hipótesis para la extrapolación de los datos, y se necesita una métrica de confirmación para seleccionar entre las hipótesis " (p. 42).

Igualmente Fodor (1975) explica que:

La percepción implica la formación de hipótesis y su confirmación debido a que el organismo debe de alguna manera deducir la descripción relevante para la tarea adecuada del medio ambiente a partir de su descripción física, junto con cualquier información de fondo sobre la estructura del medio ambiente que tiene disponible. Notoriamente, esta inferencia no es demostrativa: por lo general no existe conexión conceptual entre una categoría perceptual y sus indicadores sensoriales; un número indefinido de análisis de percepción será, en principio, compatible con cualquier especificación dada de la información sensorial. En esta cuenta, entonces, cualquier integración de percepción es más plausiblemente considerada como especies de inferencias, el problema computacional en la integración perceptual es el de la elección de la mejor de las hipótesis sobre el origen distal de estímulos proximales (p. 50).

Por otra parte, Scaife y Rogers (1996) sugieren que la *descarga de cómputo* (*Computational offloading*), la *re-representación* y la *restricción gráfica* son características desde las cuales se puede estudiar el análisis de la cognición externa. En tal sentido, explican estos autores, la descarga de cómputo es la medida en cómo diferentes representaciones externas ayudan a reducir la cantidad del esfuerzo cognitivo requerido para resolver problemas. Por ejemplo, en el trabajo ya citado de Larkin y Simon (1987) se registra que los diagramas son más eficientes que las formas proposicionales para resolver problemas de geometría. Esto se debe a su capacidad de proporcionar reconocimiento de percepción directo de las relaciones geométricas.

La re-representación es una propiedad de las representaciones externas, que tienen la misma estructura abstracta, para facilitar o dificultar la resolución de problemas. Por ejemplo, en el trabajo de Zhang y Norman (1994) se ilustra que comparando la resolución de problemas numéricos con el sistema decimal y con números romanos, resulta que con el decimal es más fácil que con los números romanos. Y a las dos características anteriores, se le suma la restricción gráfica, que es la forma en que los elementos gráficos dentro una representación son capaces de limitar las inferencias que se pueden hacer sobre el objeto representado.

La representación es la forma natural de comunicación entre el arquitecto y su diseño. En ella se describe el objeto y puede ser a través de trazos, modelos físicos o computacionales. Queda establecido en ella el tamaño de los objetos, su ubicación en el espacio y la relación de estos con otros objetos; al mismo tiempo que su proceso evolutivo.

La fuerza de las representaciones está en su clara correspondencia con la realidad. La precisión con la que se simulan los objetos arquitectónicos brinda diferentes posibilidades para evaluar aspectos como el desempeño dentro del ámbito del problema, composición, congruencia contextual y constructibilidad.

La naturaleza de la gráfica del boceto por su parte, apoya el proceso de exploración de problemas mal estructurados por su alto nivel de abstracción. Esta representación tiene la particularidad de estar compuesta por elementos o segmentos independientes que al combinarlos se obtiene una amplia gama de significados. Son a menudo figuras esquemáticas simples, como líneas o manchas, que son fácilmente interpretables a partir de sus propiedades geométricas y la Gestalt. Estas expresiones tienen algo de la estructura de la lengua hablada, pero a diferencia de

las palabras los gráficos transmiten propiedades simbólicas y relacionales directamente, que en el caso arquitectónico facilitan la definición y comprensión del problema de diseño (Do y Gross, 1996).

Con respecto al nivel de abstracción citaremos los resultados del estudio de Gursoy y Ozkar (2010), influyentes para esta investigación, donde se demuestra que las representaciones digitales y sus propiedades de visualización tridimensional pueden ser tan abstractivas como los bocetos manuales no estructurados.

Gursoy y Ozkar (2010) confrontan los resultados del estudio de Goel (1995) que revela la importancia del uso de las representaciones ambiguas o mal estructuradas para resolver problemas mal estructurados; sobre todo en su proceso inicial. Goel muestra evidencia de que ocurren mayor número de transformaciones laterales cuando se usan representaciones mal estructuradas en comparación con el uso de representaciones bien estructuradas. De acuerdo con este argumento se concluye que la ambigüedad del medio del diseño se relaciona positivamente con el número de transformaciones laterales realizadas durante un proceso de diseño.

Sin embargo Gursoy y Ozkar (2010), utilizaron técnicas *linkográficas* a fin de detectar las transformaciones laterales y verticales en la fase temprana del proceso de diseño con herramientas estructuradas. Ellos encontraron que “el tener demasiadas transformaciones laterales no siempre es un indicador de ambigüedad de un medio de representación y esa cantidad considerable de transformaciones laterales también pueden ocurrir cuando el diseñador se enfrenta a un medio de diseño de característica bien definido” (Gursoy & Ozkar, 2010, pág. 614). Así es como este trabajo complementa el argumento de Goel, acerca de las relaciones entre las transformaciones laterales y ambigüedad.

Este argumento introduce el siguiente aparte, donde se expondrán algunos referentes teóricos sobre el diseño con representación digital y la naturaleza de la representación estructurada o bien definida.

2.5. Representación y cognición en el entorno digital

El diseño con representación digital se conoce comúnmente como Diseño Asistido por Computadoras. Con esta tecnología los diseñadores construyen interactivamente modelos informatizados de sus objetos, definiéndolos con la data suficiente para describirlos geométrica y

funcionalmente. Significa el cambio más importante, ocurrido en la era digital, para la arquitectura y la industria de la construcción. Sus innovaciones se han destacado por el desarrollo de nuevos sistemas de modelado “inteligente”, actualmente llamados *Modelos de Información para la Edificación*. Estos últimos, representan la forma contemporánea del quehacer arquitectónico.

Cuando se menciona el término Diseño Asistido por Computadoras es inevitable recordar el trabajo que dio origen a esta tecnología: “Sketchpad: A man-machine graphical communication system”. Una tesis doctoral desarrollada en 1963 por Iván Sutherland en el Massachusetts Institute of Technology, M.I.T (2003). El Sketchpad fue un programa informático que hizo posible que por primera vez en la historia un hombre y una computadora interactuaran en la realización de un dibujo. No quiere decir que antes del Sketchpad no existieran programas de ayuda al diseño; en efecto si existían, pero como herramientas de cómputo para el área de la ingeniería. Sin embargo, en la época, el mayor desafío de la computación en el diseño era la manipulación de la representación geométrica.

Con esto al fin se tenía la interacción con el usuario, las rutinas existentes para el momento se alimentaban a través del teclado y muchas veces resultaba un trabajo largo y tedioso ingresar la información al programa.

El Sketchpad permitía al diseñador dibujar puntos, segmentos de líneas y arcos con un lápiz de luz y sobre una pantalla. Algo verdaderamente novedoso. El lápiz de luz o pluma de luz, es un dispositivo (puntero) con una unidad fotoeléctrica que informa a la computadora la posición de un punto en la pantalla. El nombre se debe a que esta célula se encuentra dentro de una carcasa con el tamaño y la forma de una pluma que se manipula de la misma manera que un lápiz o pluma tradicional. Este dispositivo es el predecesor del ratón que actualmente conocemos, no con respecto a la forma sino desde el punto de vista de la interacción con los objetos que se despliegan en la pantalla de la computadora.

La información introducida de esta manera estableció las bases de la nueva “comunicación”, pero el único inconveniente fue, en ese momento, la precisión. El problema de la precisión se resolvía entonces con aproximaciones acerca de la forma que el usuario intentaba construir. Como complemento, el Sketchpad almacenaba la información acerca de la topología de un dibujo de manera explícita. Las conexiones topológicas eran definidas por el usuario

manipulando bocetos; por ejemplo, si se movía el vértice de un polígono los dos lados adyacentes a ese vértice se moverían también (Sutherland, 2003).

A diferencia del dibujo manual, los objetos virtuales son entidades individuales que almacenan un trazado de relaciones conceptuales. Por lo general, este esquema permite que la geometría creada se vincule a un conjunto de datos pertenecientes al comportamiento del objeto y se establezcan conexiones lógicas con sus análogos. A esta función de desempeño se le suma el lenguaje gráfico que permite construir el tejido semántico durante la representación. Esto nos lleva a diferenciar una forma más estructurada en la expresión y comunicación, como consecuencia de la “inteligencia” y operatividad de estas entidades que se organizan en esquemas de conocimiento conforme a los elementos reales y acciones lógicas.

Actualmente, casi todos los sistemas de CAD están diseñados conforme al paradigma de la programación *orientada a objetos*, la cual agrupa estructuras de datos y comportamiento de un objeto contenido en la aplicación. De este modo, las clases y funciones vinculadas al objeto están en la interfaz del usuario, los conceptos y operaciones geométricas son afines a la representación manual y su estructura paramétrica a la función real. Por ejemplo, cuando se escoge trabajar con un objeto determinado la interfaz despliega solo las relaciones geométricas o acciones que involucran a ese objeto, es decir solo aquello que está en el abanico de posibilidades aplicables a él.

Los datos están organizados en entidades discretas y distinguibles con una estructura que codifica la información geométrica, parámetros de valor y de desempeño. Esta forma permite relacionar entidades geométricas con bases de datos de información no geométrica, es el caso de aplicaciones específicas como las de análisis de estructuras o temperaturas. Por otra parte, la mayoría de esos programas permiten automatizar tareas de un nivel superior, agrupando entidades o creando secuencias de comandos. Con estas operaciones se genera información claramente perceptible por el usuario diseñador.

La mayoría de las aplicaciones CAD disponen de librerías de clases de objetos pre-programados, a partir de las cuales se pueden crear elementos paramétricos específicos que representan conceptos típicamente usados por los arquitectos como paredes, entrepisos, columnas, escaleras, puertas o ventanas. Cada una de estas clases agrupa a su vez sub-estructuras de datos que contienen detalles de la información geométrica, las características físicas y

constructivas del elemento y, en muchos casos, información sobre cómo representar cada objeto en diferentes vistas del plano o instancias del proyecto.

La funcionalidad de cada clase de objeto incluye una función que al editar su información, sea la forma geométrica o cualquier otro dato de comportamiento, los cambios se propagan a todos los objetos vinculados a este. Es decir, que cada clase codifica el conocimiento sobre su propio modo de comportarse y sobre cómo se relaciona con otros grupos de objetos de la aplicación. Sin duda, existen restricciones que evitan que la modificación de algún parámetro influya en el comportamiento general del modelo, sobre todo si se está ante una acción incorrecta o inviable geométrica o funcionalmente.

A esta función de desempeño se le suma el lenguaje gráfico necesario para construir el tejido semántico de la representación. Todos estos conceptos nos llevan a trabajar con una forma estructurada de expresión, también llamada bien definida, que es una consecuencia de la arquitectura del software y donde la operatividad está organizada en entidades de conocimiento reales del contexto arquitectónico.

2.5.1. Acciones de representación y percepción

La tecnología digital ofrece nuevas formas de trabajo durante el proceso de diseño. Hasta hace poco la computadora solo servía para acelerar y racionalizar la representación, reducir los errores o controlar la logística. Hoy en día, florecen las estrategias como producto de métodos paramétricos, que intentan disminuir el factor subjetivo y controlar aspectos relacionados con la construcción del objeto arquitectónico real. Visto de esta manera los procesos de exploración y manipulación de la información han cambiado y las formas de representación tradicional han venido suplantándose progresivamente por formatos digitales. Sin embargo, y a pesar de este florecimiento, muchos educadores y profesionales continúan en el esquema del boceto manual (analógico) para la fase temprana y lo digital para diseño detallado o fases tardías (Marx, 2000).

Argumentos como los utilizados por Otl Aicher (2001) en su libro “Analógico y digital”, podrían sustentar esta práctica. El autor explica que la comunicación analógica produce comprensión porque está acoplada a la percepción sensorial, ante todo con el ver. Conceptualmente el percibir y el pensar están separados, pero en el fondo se trata de dos aspectos de un mismo proceso. El hombre piensa con los medios de la percepción y percibe con ayuda del pensar, esto es un pensar vidente que ocurre siempre y cuando el pensar sea visto

como una actividad síquica y el percibir como una actividad corporal. En resumen, el ver será una función y lo que vemos será parte de un sistema subjetivo formado por el ojo, el cerebro, la memoria, el aprendizaje y la educación cultural.

Aicher aclara que la posición material y mecanicista del ver, colocando al ojo como el órgano que ocupa el centro de atención de la percepción, no es la correcta. El ver debe ser un proceso un sistema complejo de percepción constituido por el ver mismo, el entender, el reconocer y el pensar. Según Rivka Oxman (2008) es así como se sustenta el paradigma visual en el diseño, el cual ha tenido una gran influencia sobre su investigación y pedagogía en las dos últimas décadas. Una de las mejores caracterizaciones de este razonamiento visual las ha hecho Schon (1992) con sus afirmaciones de un "diálogo con los materiales del problema" y "un proceso de "impertinencia" de imágenes visuales". Esto es todavía el modelo dominante para la explicación de razonamiento en muchos de los estudios sobre el diseño. Las teorías particulares de la enseñanza del diseño están explícitamente fundamentadas por esa caracterización cognitiva, es decir, el diseño como una reflexión con apoyo de procesos de representación.

Como se piensa en imágenes, en el diseño resulta fundamental percibir diferentes contenidos unos al lado de otros a fin de impulsar la comparación y valoración de ideas con una mayor libertad. Estas imágenes no son entendidas como imágenes pintadas, sino como expresiones de diferentes contenidos que son simultáneamente perceptibles y comparables. Lo decisivo es la percepción de estos contenidos unos al lado de otros, que como hemos dicho permiten compararse y producen analogías e inferencias.

Es así como durante la resolución de un problema de diseño no basta la representación de una idea sino la demostración de que satisface una necesidad. La construcción, producto de la conjugación del trabajo mental y gráfico, debe ser perfeccionada, su organización repasada, y debe ser definida su técnica constructiva. Y únicamente cuando se despliega al máximo el desarrollo del proyecto es posible dar un sí o un no cualificado a la respuesta.

Ambos elementos, el percibir y el pensar, son susceptibles a la intermediación de utensilios, herramientas o dispositivos. Y en el caso de la arquitectura, donde la práctica requiere de precisión, juega con el instrumento la existencia, la subjetividad y la personalidad para construir valoraciones. En este caso el ser humano diseñador no es el ser natural adaptado, sino

un ser cultural con la determinación para la alternativa crítica y la capacidad de comparación donde él toma su posición ante la realidad tecnológica (Aicher, 2001).

Como se ha mencionado, en las fases tempranas del diseño arquitectónico concurren actividades asociadas a la creación e interpretación de ideas a través de representaciones. La exigencia de representar surge de la necesidad de prever los resultados de la síntesis o manipulación de objetos sin que en la realidad se ejecuten dichas operaciones (Fish & Scrivener, 1990). El uso de palabras, imágenes o modelos que representen objetos, escenas o acontecimientos aumenta enormemente la capacidad de la mente para visualizar. Es por esta razón que en el pensamiento creativo la eficacia de un sistema de representación es proporcional a la promoción de la abstracción y al tiempo requerido para realizar dicha maniobra. Ambos factores exigen un sistema que tenga capacidades de almacenamiento y manipulación. Se trataría de un sistema de signos o medio de modelado, que en primer lugar sea compatible con las representaciones mentales utilizadas para predecir las consecuencias de las manipulaciones; y en segundo que se corresponda con el mundo de los objetos y materiales reales.

Las representaciones de diseño contienen información selectiva y fragmentada. La información implícita en una imagen debe ser extraída y puesta a disposición de los procesos mentales, como el pensamiento o las ordenes motoras que controlan la mano para dibujar. A la búsqueda de información mediante el escaneo visual de la imagen autores como Ulric Neisser (1967) la denominan *atención focal*. Otros investigadores como Breitmeyer y Ganz (1976) se limitan a afirmar que existe un mecanismo de búsqueda de baja resolución que permite acceder a ciertas regiones de identificación. La atención focal que define Neisser sirve para distinguir los procesos de pre-atención de la capacidad de inspección secuencial. Su investigación sugiere que los procesos de pre-atención se producen en paralelo y proporcionan información que puede ser usada para dirigir una búsqueda.

Adicionalmente, otros estudios han demostrado que a través de la atención focal un individuo es capaz de detectar conjunciones de dos o más atributos en un objeto (Triesman & Gelade, 1980). En este momento es necesario retomar el postulado de que las representaciones iniciales de diseño, bocetos, son registros de una secuencia de actos de atención que combinan información obtenida a través de los ojos con imágenes generadas a partir de la memoria. Así

como también es importante distinguir la diferencia entre el bosquejar la naturaleza, es decir, a partir de un modelo físico y dibujar por completo desde la imaginación.

Para clarificar estas y otras diferencias valiosas para este estudio, se citarán algunos argumentos que explican la relación entre percepción, visión y acciones de dibujo en el diseño.

Cuando un individuo se fija en la imagen de un objeto sobre una superficie plana, la información que llega a la retina es la de un patrón tridimensional que representa al objeto y la percepción de tridimensionalidad está sujeta a las leyes de la perspectiva proyectada. Es una experiencia visual de escenas tridimensionales segmentadas, en figuras o en partes de ellas, resultante de diversos procesos complejos que se extraen o se suman de la información que se presenta ante los ojos. La información inicial captada la conforman los contornos, distancia, inclinación y color de las superficies; la profundidad y el volumen se ven desde un punto de vista en particular (Marr, 1982).

Los bocetos difieren de imágenes detalladas, como las fotografías, por la forma en cómo se observa su sistema de signos y analiza sus procesos de reconocimiento. Por ejemplo, se ha demostrado que, a pesar de que los bocetos contienen una cantidad mucho más pequeña de información, por ser dibujos de líneas simples, los objetos representados en ellos se reconocen tan rápidamente como en las fotografías a color detalladas de los mismos objetos (Biederman, 1987). Igualmente, se ha destacado que así como ocurre este reconocimiento también hay conciencia de la diferencia gráfica entre una representación y otra.

La diferencia entre dibujar por la observación directa de un modelo y bosquejar desde la memoria o la imaginación, es que en el primer modo la información seleccionada se puede actualizar continuamente por la vista, con miradas rápidas. En el segundo, el origen de la información proviene del cerebro donde se generan y manipulan imágenes mentales que se actualizan por la atención y parece imitar la percepción real. Las percepciones de objetos físicos, sin embargo, no pueden ser manipuladas, pero se recombinan como imágenes mentales e integran con el uso de la memoria a corto plazo.

En la postura de Bruner (1957) sobre la percepción, lo básico es la interdependencia del sistema perceptivo con respecto al resto de los sistemas psicológicos. La percepción no será el resultado exclusivo de la actividad de los órganos especializados y estímulos específicos, sino que intervendrán en ella factores experienciales, motivacionales y sociales. Es decir, que cuando

se observa un escenario natural las percepciones se modifican y se completan con las expectativas inconscientes almacenadas en la memoria del observador.

A diferencia de los diseñadores, cuando los artistas hacen bocetos la percepción se les modifica por la manipulación mental. Los trazos que realizan ayudan a generar imágenes mentales que influyen a su vez en el boceto donde se estén realizando. En el diseño puede resultar contrario al boceteo si se reconoce como una actividad que consiste en “la realización de las imágenes que son utilizadas en el diseño y participan en de algo más” (Fish & Scrivener, 1990, pág. 120). El dibujo puramente objetivo, sin alguna manipulación mental, no es considerado boceto. Ahora, cuando la percepción y las imágenes mentales actúan colaborativamente se constituyen como procesos cognitivos.

Para Chan (1990), un diseñador obtiene información sobre la problemática a resolver a través de la percepción. La condición perceptual involucra una serie de chequeos que generalmente están relacionados con la percepción. Estos permiten corroborar la presencia o ausencia de un objetivo de diseño particular, reconocimiento que orienta el paso a seguir. El resultado de esta acción es información nueva que cursa con cambios en el contenido de la memoria a corto plazo.

Los mecanismos de percepción permiten en el diseño arquitectónico conectar el conocimiento de diseño de manera que cuando se está en presencia de una unidad de diseño esta pueda ser percibida como parte del sistema de la solución. Es así, como las acciones perceptivas de prueba para objetivos alcanzados, satisfacción de restricciones o chequeo de correspondencia entre la unidad y la fase de diseño, está contenida en la memoria de corto plazo. Y a esto se suma la decisión sobre el paso siguiente en la ruta a la solución; todos conforman mecanismos de inducción al dibujo.

Estos mecanismos tienen diferentes funciones para el diseño (Chan, 1990). La prueba de objetivos garantizaría que el sistema está siempre en evolución y que el progreso se mueva hacia el objetivo final. Es decir, que si algún objetivo ha sido alcanzado en el procesamiento entonces el siguiente movimiento sería tomar el objetivo que sigue del plan general de objetivos y desarrollarlo. La prueba de restricciones globales serviría para ir garantizando la solución óptima, o sea, que al igual que para el chequeo de objetivos se debe satisfacer todas las restricciones para la unidad de diseño y para el sistema.

Cuando una unidad de diseño se presenta en la memoria de corto plazo, esta evoca las restricciones y por percepción se reconocería que tal unidad de diseño debe resolverse para poder continuar con el proceso de solución. Como se puede apreciar, las pruebas perceptuales conducen al diseñador dentro del orden secuencial de pasos que debe seguir en el proceso de diseño.

2.5.2 Percepción y transformaciones de diseño

Las actividades cognitivas más esenciales del diseño se llevan a cabo mediante la elaboración e interpretación de dibujos (Do y Gross, 1996). El trabajo de explorar las representaciones hace que emerja de forma natural, a través de mecanismos de percepción, información viso-espacial importante para hacer inferencias (Stenning y Oberlander, 1995). Es así como las señales visuales de asociación o de referencia se inscriben dentro de un concepto, y lo más interesante es cómo ese mismo concepto puede asociarse a otra función posteriormente. Aquí sucede lo que se conoce como reinterpretación (Goel, 1999; Goldschmidt, 1991).

Las reinterpretaciones perceptuales promueven episodios de dibujo que conducen al desarrollo, transformación y generación de nuevas imágenes mentales y físicas, siendo estas la impresión de una imagen mental y el resultado de la reinterpretación de la imagen original (Goldschmidt, 1994; Lawson, 2001; Suwa y Tversky, 1997). Es así como los bocetos pueden tener implicaciones tanto para los aspectos funcionales del diseño, que sólo se aprecian después de la reinterpretación, como para el pensamiento consciente que permite al diseñador manejar la complejidad asociada a su tipo de problemas (Oxman & Streich, 2007).

Desde el punto de vista del dibujo como proveedor de señales visuales al razonamiento, para Gabriela Goldschmidt (1991) estos registran una secuencia de movimientos que reflejan una dialéctica sistemática entre dos modos de razonamiento: “ver cómo” y “ver qué”. En el primero, el diseñador usa la argumentación figurativa mientras razona dibujando y en el segundo, cuando anticipa argumentos no figurativos que pertenecen a la entidad que está diseñando.

La tesis de Goldschmidt (1991) sobre una dialéctica entre los argumentos y su dibujo permitiría al diseñador tender puentes entre dos condiciones fundamentales del proceso de diseño. Una, que el proceso debe resultar en un objeto físico suficientemente especificado y coherente, a pesar de que el conocimiento relevante al problema tenga una forma abstracta, conceptual o proposicional, que no posea referentes físicos específicos. Y dos, “el proceso

dialéctico permite la traducción de los detalles de la forma en cualidades y reglas genéricas para presentaciones específicas” (Goldschmidt, 1991, pág. 139).

Adicionalmente, Goldschmidt sostiene que las acciones de dibujo develan el contenido de una imagen mental en un instante de tiempo determinado y por consiguiente actúa como memoria externa. Este argumento fue introducido por Newell y Simon (1972), donde explican que externalizar los resultados intermedios de la inferencia por medio de símbolos visuales reduce la carga de memoria de trabajo, sobre todo cuando algunas de las inferencias están disponibles físicamente para construir nuevas inferencias a lo largo de la resolución del problema.

Realizar dibujos o bocetos entonces está vinculado a la formación de imágenes, que proporcionan un punto de partida tanto para la forma física del objeto posible como para una manera de desarrollarla. Las imágenes que se generan a partir de la información contenida en la memoria a largo plazo es por un proceso de razonamiento analógico y contrastando muchas analogías que son básicamente visuales, más que conceptuales (Goldschmidt, 1992).

Goel (1995) entiende al boceto como una forma particular de sistema de símbolos, especialmente lo define como una representación que posee una densidad sintáctica y semántica con tal grado de ambigüedad que permite la *transformación lateral*. Según este autor, dos tipos de transformaciones se pueden identificar en las acciones de dibujo en arquitectura. Las *transformaciones laterales* son las que ocurren en las fases de diseño inicial y se asocian con el dibujo poco estructurado, puntualmente permiten cambiar una idea por otra diferente. Las *transformaciones verticales* se producen entre las fases del proceso o sub-proceso de diseño y se asocian con la evolución de la idea a una más refinada y precisa, esto obliga representaciones de alto nivel técnico para la construcción. De acuerdo con estas dos definiciones Goel divide el proceso de diseño en dos amplias fases gráficamente identificables: diseño preliminar o esquemático y diseño detallado. El preliminar se corresponde con las fases tempranas y el detallado con las fases tardías en el proceso de diseño.

Hasta el momento se pueden reconocer algunos aspectos y cuestiones relacionadas con el papel de los dibujos en el diseño. Un tema fundamental es su valor en la reinterpretación, siendo este un proceso relacionado con nuevas formas de ver la expresión gráfica para encontrar el potencial de diseño. La ambigüedad y densidad como propiedades básicas y significativas de la

expresión, que al no estar relacionadas con una forma particular de dibujar, apunta a que el proceso de reinterpretación este sujeto a estilos personales (Goldschmitdt, 1992). Los resultados de reinterpretar un boceto, ya sea durante o después de su realización, produce nuevos conocimientos que se convierten en parte misma del proceso de resolución del problema y este nuevo conocimiento se involucra significativamente con el sentido perceptual, abstracto y conceptual.

Las consideraciones acerca de los nuevos conocimientos resultantes de la reinterpretación de otras reinterpretaciones como mecanismo, relaciona directamente a la resolución del problema con la acción física de dibujar (Goel, 1995; Goldschmitdt, 1992; Shön y Wiggins, 1992). En tal sentido, los nuevos conocimientos inducidos por el proceso de reinterpretación reducen progresivamente el abordaje del problema y su calificación inicial de *mal definidos*. Adicionalmente, el conocimiento por acción perceptual permite al diseñador avanzar hacia un objeto físico definido y superar el problema asociado al conocimiento conceptual abstracto, que no especifica los atributos físicos de un objeto de diseño (Purcell & Gero, 1998).

Do y Gross (1996) identifican cuatro actividades cognitivas asociadas al dibujo en el diseño arquitectónico: la búsqueda de referencias, analogías, abstracción y evaluación. Según estos autores el diseño depende en gran medida de la referencia a diseños previos similares al trabajado. La similitud con el tipo de edificio, los materiales o el sistema constructivo, así como la configuración de la forma física o espacial, se encuentran por analogías visuales dentro de un dominio de diseño.

Este *razonamiento transversal* llamado también de dominio analógico (por ser comúnmente de boceteo manual), estimula el proceso de recordar y ayuda a los diseñadores a construir analogías visuales en otros dominios. Ha quedado ampliamente reconocido que el diseño implica evaluación continua de alternativas en relación a los objetivos formulados, incluso cuando los mismos pueden cambiar durante el diseño. Se puede poner como ejemplo el comportamiento del arquitecto cuando a menudo esboza arreglos de mobiliario, no tanto para diseñar la disposición real de los muebles, sino para probar el tamaño y la forma de la habitación y si estas tienen la capacidad para un diseño viable.

En resumen, se piensa que los modos de ver el dibujo desarrollan y estimulan nuevas ideas a través de la reinterpretación. Su capacidad para añadir información a la experiencia cognitiva

como el conocimiento conceptual o las analogías para la solución del problema de diseño son razones que soportan la importancia del dibujo como representación externa (Hebert, 1988). Es por ello que la percepción de los dibujos y bocetos se considera más que una forma de expresión una fuerza que impulsa el descubrimiento y ayuda a la cognición creativa cuyos procesos y estructuras se reflejan en la composición del dibujo mismo (Purcell y Gero, 1998).

La postura de que para el proceso creativo las *indeterminaciones accidentales* son las más útiles, es cuestionable. Estas evidencias permiten identificar a los estudiosos del dibujo la necesidad, por parte del diseñador, de preservar alternativas. Estas se reconocen por espacios en blanco, áreas donde el dibujo se desvanece, múltiples líneas de contorno, líneas quebradas, sombras misteriosas y oscuras, garabatos sugerentes y manchas, patrones de flujo accidental de pintura e incluso marcas de rasguño. Para algunos investigadores son parte de lo que se conoce como ambigüedad del medio.

Según Guidera (2002) esta ambigüedad estaría en las variaciones en el trazo como el ancho, la textura y la claridad al dibujar; “imprecisiones” que median en la interpretación de las líneas esbozadas. Es la llamada imprecisión lo que contrasta entre los movimientos burdos del boceto exploratorio en los medios tradicionales y la grafía precisa de los medios digitales. Sin embargo, las nuevas aplicaciones comerciales de asistencia al diseño incluyen comandos que emulan la soltura del trazo, cuya ambigüedad intervendría a favor de las interpretaciones asociadas al acto de dibujar.

La postura de Goel (1995) en cuanto a la ambigüedad necesaria de una herramienta de concepción, resume que es preciso se disponga de algún mecanismo de activación para la producción ideas, es decir aquel que promueva transformaciones laterales. Como se ha mencionado anteriormente esta postura ha sido cuestionada por Gursoy y Ozkar (2010), quienes afirman que el número de transformaciones laterales no es un indicador proporcional de la ambigüedad del medio. Describen que la proporción de transformaciones laterales es función de la ambigüedad del proceso y no de la ambigüedad del modelo digital. Es decir, que las transformaciones laterales no surgen debido a reinterpretaciones de situaciones existentes, sino que resultan de los ensayos aleatorios o iteraciones.

2.5.3 Dibujo digital

La flexibilidad del dibujo manual para generar y amplificar las imágenes mentales se ve reducida por la escasa durabilidad y el poco espacio de almacenamiento de la memoria de trabajo. Con las computadoras se lograría superar estas limitaciones, pero siempre y cuando pueda representarse las imágenes mentales y el conocimiento semántico subyacente en la estructura superficial del boceto.

Los sistemas informáticos actuales utilizan dos esquemas para representar objetos. Uno, con base en ecuaciones y coordenadas llamado *imagen vectorial* y otro, con base en una matriz rectangular coloreada llamado *mapa de bits* (Figura 8). La imagen vectorial es la imagen digital formada por geometrías independientes (puntos, segmentos, polígonos, arcos) y definidas por atributos matemáticos. Por ejemplo, una línea estaría definida por dos puntos, uno inicial y otro final, y ambos definidos por coordenadas (x,y) que fijan su posición en el espacio. La combinación de líneas forma figuras más complejas que el plano bidimensional constituye solo aristas de caras en el modelo tridimensional.

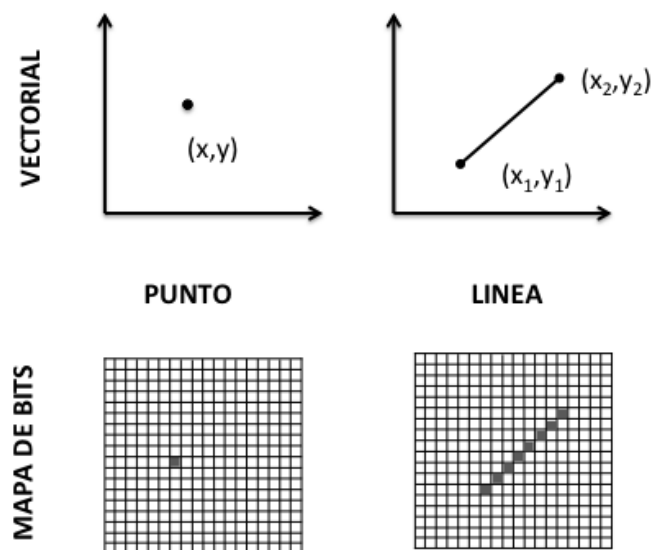


Figura 8: Imagen vectorial y mapa de bits

Las imágenes mapa de bits, representan el color y el brillo en las celdas de una retícula y estas se llaman *píxeles*. El término pixel viene de la contracción *picture-element*, elemento de imagen, y solo representan puntos de color homogéneo. Es la unidad más pequeña de una imagen mapa de bits siendo la sucesión de estas pequeñas unidades lo que forma la imagen completa. La resolución o el grano de la imagen depende del número de píxeles y la calidad del

color depende de la cantidad de dígitos binarios usados para representar cada píxel en el mapa de bits.

Aunque son muchas las ventajas de este tipo de sistemas sobre la gráfica de lápiz y papel, estos no representan ni la estructura percibida ni las imágenes mentales que hayan tenido lugar en el proceso de razonamiento, y así no se pueden manipular directamente. Por lo tanto, no son tan útiles para el procesamiento mental en el diseño, aunque su tecnología complementa la visualización.

Los sistemas vectoriales, que utilizaremos a los fines del estudio cognitivo de la presente investigación, permiten la formación de una imagen manipulable a través de contornos, piezas y objetos. La manipulación del objeto dentro de la imagen se hace por secuencias operativas asociadas a la geometría. La forma tridimensional de un objeto contenido en una imagen vectorial se representa por coordenadas tridimensionales y procedimientos de proyección en perspectiva, lo que permite que el objeto pueda verse desde cualquier punto de vista. Sin embargo, para los primeros desarrollos de los sistemas vectoriales se pensaba que la precisión y el realismo de esta imagen digital podrían inhibir mecanismos de la percepción, tan importantes en las primeras etapas de la resolución de problemas (Fish & Scrivener, 1990).

Para los diseñadores los programas informáticos de hoy en día son sistemas aliados y en los procesos de creación se fusiona el estilo del diseñador con la capacidad de la máquina (Oxman R. , 2006). La posibilidad de realizar líneas, rellenos rápidos de color, cortar y pegar, editar, redibujar, cambiar la escala, hacer zoom en los detalles, y animar y generar vistas en perspectiva de los objetos sólidos detallados ofrece amplias oportunidades para la experimentación y la invención. Probablemente, se diría que no hay necesidad de esbozar; ya que la manipulación directa y detallada sobre el medio es una mejora respecto a la vaguedad de los primeros bocetos. Es una forma de trabajo que requiere de habilidades particulares para representar y procesar la información. Aquí la singularidad y el estilo original de la arquitectura contemporánea se convierten en atributos tanto del software como de las imágenes generadas (Oxman R. , 2008).

En tal sentido, se puede aproximar que la construcción de la imagen digital apunta a la categorización, construcción de significados y reinterpretación; hecho que pueden atribuirse a la flexibilidad de nuestro mecanismo cognoscitivo para adoptar nuevos modos de representación y

razonamiento. Pero, hay que acotar que al prescindir de las capas intermedias de interpretación, o intuición, pueden sucumbir algunas estructuras del pensamiento conceptual, sin embargo la persistencia tal vez permita domar las ambigüedades necesarias que han de ser percibidas a través de los sentidos de los bocetos iniciales (Fernandez Herrero, 2006).

La mayoría de las herramientas de modelado en 3D son excelentes para la generación de diferentes puntos de vista y la exploración en diferentes niveles; desde una visualización rápida hasta un recorrido al interior del espacio virtual. Es por eso, que a pesar de que la tecnología base de los programas de diseño es digital, la superficie gráfica y la interfaz son análogas en su contenido a los instrumentos de almacenamiento, manipulación y producción de material visual en el diseño (Guidera, 2002).

No obstante, son las nociones de *reversibilidad*, *reutilización*, *velocidad* y *parametrización* de las herramientas digitales vectoriales las que apuntalan los procesos perceptivos y estratégicos en el proceso de solución. Primeramente, la reversibilidad posibilita al diseñador reconsiderar en cualquier etapa del proceso de diseño cualquier acción y no representa un costo adicional de representación y tiempo. De la misma manera la capacidad de reutilización facilita las operaciones de repetición de un mismo objeto o entidad o de un objeto similar, sea este último el resultado de una variación paramétrica. Las propiedades señaladas se suman a la velocidad de cómputo y visualización que permiten alcanzar rápidamente los objetivos parciales. Con respecto a la parametrización, que es la simulación numérica de componentes arquitectónicos y sus propiedades a través de fragmentos de información asociados con su realidad, da la posibilidad de manipular consistentemente tanto la forma y función. De manera que esta manipulación paramétrica permita la exploración transversal y longitudinal de las decisiones lo largo del espacio de diseño.

El soporte digital vectorial busca excluir, de la actividad del diseño, tareas rutinarias y monótonas y dirigir la concentración del diseñador hacia la toma decisiones (Kalay Y. E., 2004). Las recientes técnicas informáticas proporcionan mecanismos para el ingreso rápido de los datos así como su posterior modificación, con la misma rapidez, como se ha mencionado. Los sistemas de modelado y renderizado (representación fotorealística) ayudan al proceso de visualización, permitiendo a los diseñadores transitar a través de sus diseños con la emulación perfecta de las características del objeto real.

Bilda y Demirkan (2003), sin embargo, cuando examinan la atención sus resultados demuestran que los medios tradicionales tienen ventajas sobre los medios digitales, especialmente la reacción a las señales visuales y espaciales, la relación entre elementos en el diseño, la cantidad y la variedad de métodos de resolución para abordar los objetivos de diseño. En cambio, las herramientas de diseño asistido ofrecen la capacidad única de modificar las piezas dentro de un boceto sin tener que realizar una nueva iteración. Estas capacidades se enfocan hacia una mayor precisión en la fase conceptual, disminuyendo la necesidad de habilidades de dibujo técnico en el diseño.

Según Marx (2000) los medios tradicionales de representación promueven la descripción física de la forma en el dibujo, mientras que los medios digitales promueven su concepción en la mente. La visualización detallada, intensa y rápida de las formas en los medios digitales alienta la imaginación de la forma en lugar de la representación física de la forma; por lo tanto, es probable que la próxima iteración/alteración ocurra en la cabeza del diseñador y no en papel (Won 2001). Esta manipulación cognitiva interna puede ser la explicación al aumento acciones cognitivas que se observaron por iteración en los estudios sobre medios tradicionales versus digitales.

Los sistemas informáticos pueden brindar algunas ventajas a la cognición sobre la técnica de lápiz y papel. Sin embargo, no se puede precisar con seguridad que se van a sustituir las “viejas” formas de trabajo, o al menos hasta que se demuestre que la formación de imágenes mentales depende del medio de comunicación.

Otros argumentos consideran que la adopción digital no será “un cheque en blanco”, ya que existen razones para pensar que el hombre es un ser analógico y no digital. Es decir, que siempre cuestionará la automatización por su necesidad permanente de hacer comparaciones y valoraciones sobre situaciones u objetos (Aicher, 2001).

2.5.4 Acciones de representación estructurada

La representación estructurada se desprende del concepto de simulación y se define, en esta investigación, como la utilización de una forma automatizada para ordenar, articular y relacionar la información geométrica y no geométrica de una entidad arquitectónica. Se trata de una representación que permite plasmar y manipular elementos arquitectónicos virtuales a través

de la combinación de propiedades geométricas de la forma y parámetros de función. Las acciones de representación se enmarcan en torno a esta definición serán definidas a continuación.

En este aparte del marco teórico se presentarán las singularidades que los programas digitales de arquitectura poseen para la simulación del objeto arquitectónico y para el acompañamiento de procesos de concepción y significación. La descripción de los conceptos y técnicas operativas propias del tipo de herramienta digital y a su vez servirá como marco técnico para la caracterización del instrumento cognitivo.

2.5.4.1 Representación de la forma

El modelado completo de una entidad arquitectónica implica la definición en detalle de la geometría y la topología de los elementos que la conforman. Siendo la geometría la representación de caras, aristas y vértices en el espacio cartesiano y la topología al modo cómo esas caras, aristas y vértices están conectadas. El modelado geométrico abarca la geometría y la información geométrica necesaria para que pueda ser generada por computadoras. Según Shah & Mäntylä (1995) “incluye las estructuras de datos, algoritmos, y formatos de archivo para crear, representar, comunicar y manipular información geométrica acerca de objetos de diseño y de su realidad” (p. 24).

Un gran aporte tecnológico a la representación de la forma son las técnicas de modelado sólido, que se originan a comienzos de los años 70 y por la necesidad de crear modelos que respondieran algorítmicamente a cualquier problema geométrico. Esto puede parecer un concepto puramente teórico, pero el modelado sólido fue pensado como un conocimiento universal dirigido al desarrollo de lenguajes y sistemas que garantizaran la integridad de un modelo de forma. Esa integridad se refiere a que la representación debe ser válida para cualquier objeto físico real, es decir, que cualquier representación debe simular sin ambigüedad el objeto físico y que la representación deba responder, al menos en principio, cualquier cuestionamiento que sobre geometría corresponda al objeto físico (Bowyer, et al., 1995).

Un modelo sólido, por consiguiente, es un conjunto homogéneo y tridimensional que produce una topología donde los elementos de borde sirven de contenedores a la información interior (Rossignac & Requicha, 1992). No obstante, el alcance del modelo sólido no fue suficiente para representar la complejidad de una forma arquitectónica, por lo resultó necesario desarrollar más tecnología.

En tal sentido, las nuevas técnicas de modelado geométrico se unen al modelado sólido para completar la capacidad de simular la realidad del objeto de diseño. La primera entre ellas, la Geometría Constructiva de Sólidos, consiste en un modelo de representación tridimensional de objetos que utiliza *operaciones booleanas* a fin de obtener sólidos complejos a partir de sólidos simples.

Estas operaciones son simples acciones de unión, diferencia e intersección y así son llamadas. Con los operadores de unión se obtiene un sólido por combinación de dos o más sólidos simples. Con el de sustracción o diferencia, se obtiene un sólido complejo restando uno o varios sólidos en la operación. Y el de intersección calcula el volumen de contacto entre los sólidos, siendo éste el mismo resultado final.

La segunda de las grandes técnicas de modelado lo conforma un grupo llamado Representaciones de Frontera o B-Rep (Bondary Representation). Esta técnica describe al modelado a partir de superficies de frontera que actúan de contenedor de la información sólida. Si se imagina a un sólido compuesto por vértices, aristas y caras, la frontera define el interior o el exterior del espacio sólido por el recorrido de su sección bidimensional a lo largo de la cara del sólido.

En esta técnica no se trata, solamente, que un objeto complejo como un volumen sea representado con otro más simple como una superficie, sino que la representación pueda proporcionar mayor posibilidad de creación que la Geometría Constructiva y suministre información sobre propiedades geométricas de las caras. Para ello es necesario ciertas condiciones de creación de sólidos por superficies, esto significa que la frontera debe dividirse en un número de puntos suficientes para que se forme una región cerrada sin interferencias. De esto último existen casos de excepción como la Botella de Klein o la cinta de Moebius representadas en la Figura 9, y donde se observa claramente la violación de la regla y por lo tanto no hay construcción de volumen.

No existe un número exacto de puntos o superficies para representar la región de un volumen cerrado. Razón por la cual se han establecido un conjunto de propiedades que garantizan que un grupo de superficies forman una B-rep correctamente (Eastman C, 1999; Kalay Y, 2004; Rossignac & Requicha, 1992). En tal sentido se tienen los siguientes postulados:

a) Topológicamente, todos los lados deben tener dos conexiones, es decir que cada lado de una cara debe coincidir exactamente con el lado de otra cara.

b) Geométricamente: todas las caras deben tener orientación consistente; las caras no se deben interceptar; las caras con agujeros deben ser consistentes con respecto al lado de su arista adyacente a la superficie; las superficies definidas para una entidad de *vaciado* con agujeros deben tener éstas una orientación consistente.

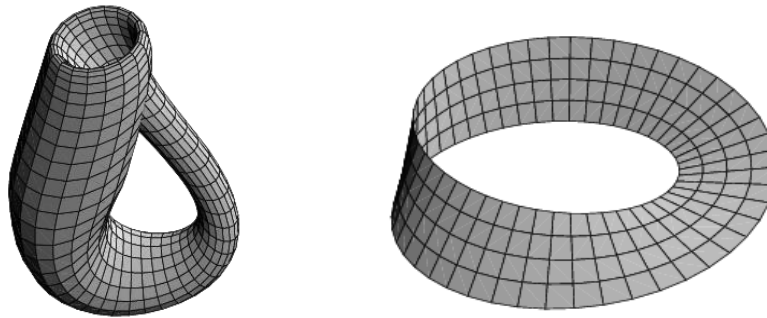


Figura 9: Botella de Klein y Cinta de Moebius.

Las representaciones de frontera proporcionaron múltiples beneficios por la soltura para alcanzar más complejidad de la forma arquitectónica, no obstante, estas representaciones implican operadores de modelado que han sido considerados de alto nivel. Según Kalay (2004) estos operadores se clasifican por la función que desempeñan en el proceso de modelado, sea para soportar la estructura de la data o al modelado geométrico mismo, y se definen como: *topológicos, geométricos, transformadores, booleanos y ensambladores*.

Los operadores topológicos, mantienen la estructura de la geometría por sí mismos. Los diferentes modeladores utilizan diferentes operadores dependiendo de la estructura de la data. Por ejemplo, con la Geometría Constructiva de Solidos la forma se crea desde operadores booleanos, en cambio los modeladores B-rep utilizan los llamados Operadores de Euler. Estos operadores manejan las relaciones entre vértices, aristas y caras de un poliedro de tal manera que evitan la construcción de estructuras inválidas y garantizan la unicidad, validez y no ambigüedad.

Los operadores geométricos trabajan junto a los topológicos y permiten crear geometrías volumétricas de barrido. Estas se construyen a partir de una forma bidimensional que se “barre” o traslada a lo largo de una trayectoria o, también puede ser, paralelo al plano de la sección o

forma 2D. Entre estas se encuentran la extrusión con trayectoria y solevado, este último permite que la sección varíe a lo largo del como se muestra en la Figura 10.

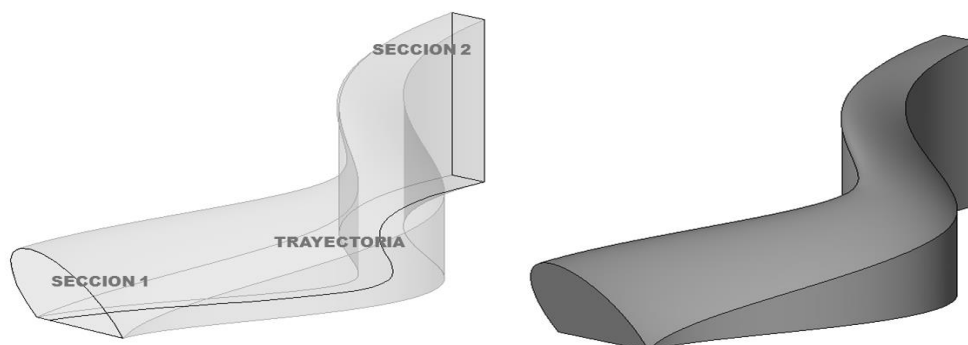


Figura 10: Operador geométrico.

Los Operadores de transformación o transformadores, se encargan de la posición en el espacio: mover, rotar, escalar. Los operadores booleanos combinan formas simples por unión, sustracción, intersección para obtener formas complejas. Y por último, los operadores de ensamblaje que combinan grupos de formas para construir entidades. Estos son útiles para crear puertas, ventanas y otros objetos que no puedan ser simulados por una geometría única.

2.5.4.2 Parámetros y atributos

Un modelo paramétrico, es una representación abstracta de un sistema en el cual las propiedades o atributos de los elementos que lo conforman son expresadas por valores numéricos (Barrios, 2005). Según esta definición, un modelo paramétrico de arquitectura es una geometría que se construye a partir de variables numéricas y expresiones algebraicas o ecuaciones matemáticas que calculan la forma y el comportamiento de un objeto arquitectónico.

A las variables numéricas se les llama parámetros. El parámetro es la unidad fundamental del modelado paramétrico y se define como el valor numérico que describe y relaciona entidades geométricas en el modelo. Los parámetros representan las propiedades o atributos que simulan el objeto real y estos pueden ser geométricos y no geométricos. También los parámetros pueden cambiar o permanecer fijos. A los parámetros que permanecen fijos se les llama explícitos y a los que cambian variables. Las variables pueden ser dependientes e independientes. Las dependientes son aquellas cuyo valor está relacionado con otro valor perteneciente a otra entidad del modelo y las independientes pueden tener cualquier valor que les sea asignado.

En la Figura 11 se muestran como ejemplo tres geometrías en las cuales se especifican sus parámetros de creación. Para crear el cilindro se define un centro, según coordenadas cartesianas, un radio o diámetro y por último su altura. En el modelador las expresiones matemáticas están implícitas en la arquitectura del programa y hacen posible visualizar esta geometría gráficamente y en la pantalla. De la misma manera el modelado sucede para el cono y el prisma rectangular ilustrados la misma figura.

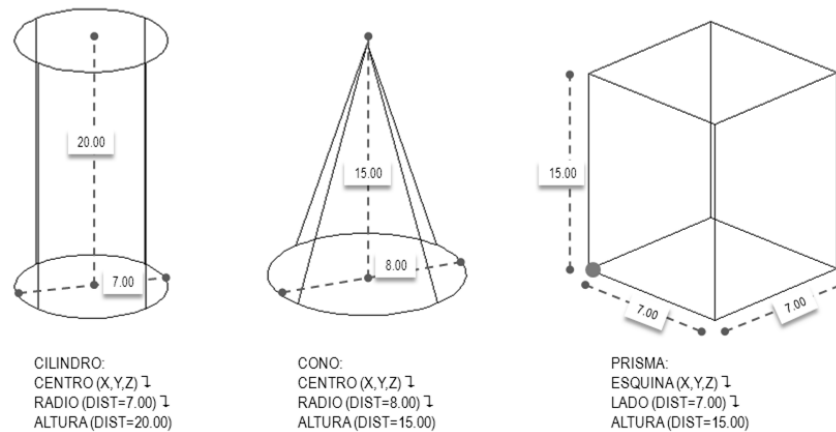


Figura 11: Parámetros geométricos de geometrías básicas.

En la definición de modelado paramétrico, parámetro y operaciones paramétricas los conceptos son dependientes el uno del otro, igual que para el caso del modelado geométrico. Cohen (2004) articula una definición para clarificar la relación entre estos, de manera que “el modelado paramétrico es una tecnología de las aplicaciones de modelado para construir representaciones de objetos con propiedades similares a los de la realidad, a través de parámetros y operaciones paramétricas” (p. 46).

Una operación paramétrica, esencialmente, es una función de transformación que se aplica a una entidad para definirla o modificarla a través de parámetros. El parámetro en este caso es una variable numérica que concreta la función. Según Eastman (1999), en el proceso de modelado paramétrico las formas sólidas van cambiando con los parámetros a través de una sumatoria de operaciones aplicadas a un modelo inicial, tal y como se ejemplifica en la Figura 12.

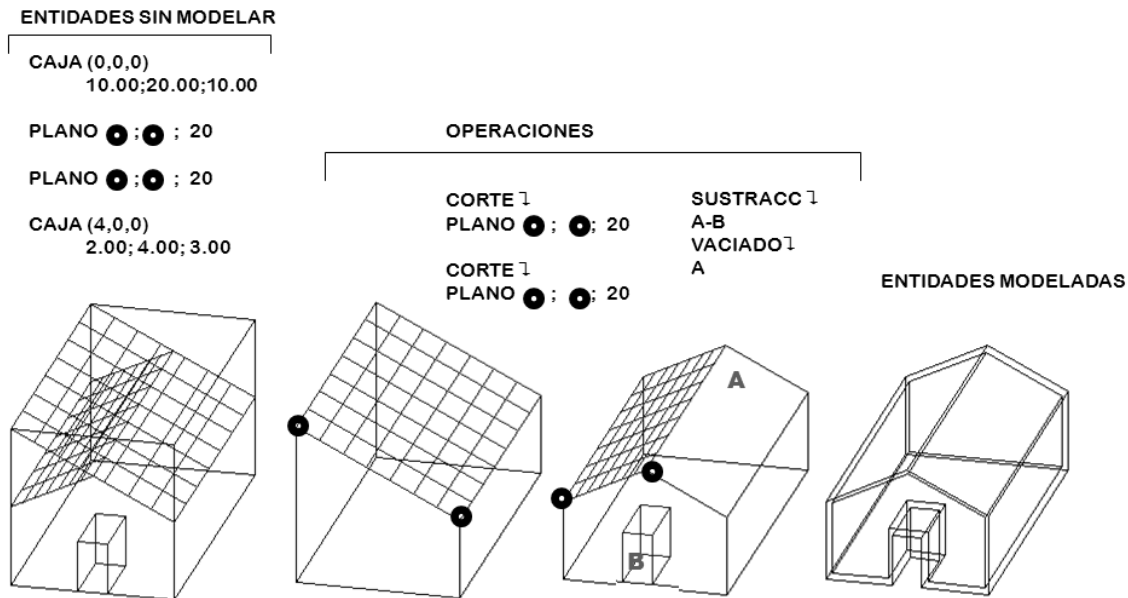


Figura 12: Modelado con operadores

Si en el modelado paramétrico de entidades, los parámetros se usan tanto para definir la geometría de un objeto como sus reglas de comportamiento, estas se encargan de las condiciones de proximidad, compatibilidad e interacción entre entidades. La manera de actuar en las operaciones de edición de elementos vinculados es re-calculando los cambios que ocurren en todos los elementos comprometidos en la modificación.

En el caso de una puerta, que es una entidad y es un objeto, el esquema de prelación que controla las relaciones entre la geometría y la función lo comparte cada sub elemento del sistema (Monedero J. , 2000). Es decir, el panel, el marco y picaporte forman una unidad y si se cambia el tamaño del panel, el marco y el picaporte cambiarán en consecuencia. El modelado con objetos se convierte entonces en un juego entre restricciones y variables, donde las restricciones establecen las reglas para el comportamiento de las variables.

Dentro de las aplicaciones paramétricas los objetos se agrupan según su tipo y a esos grupos se les denota con el nombre de *familias*. Manejar el concepto de familia es muy importante para entender el diseño paramétrico. Según Monedero (1999) “una familia es un conjunto de elementos que solo difieren en las dimensiones de sus partes, pero que son idénticos en cuanto a sus características formales y tipológicas” (p. 103). Por ejemplo, en el caso de una familia de ventanas como la que se muestra en la Figura 13, el tipo de ventana es con panel de vidrio fijo, que varía en ancho y alto, pero las relaciones dimensionales entre los sub-elementos

estándares como el marco y el pisa-vidrios permanecen constante. Otra familia de ventanas surgiría si se cambia el material del marco o el color del panel.

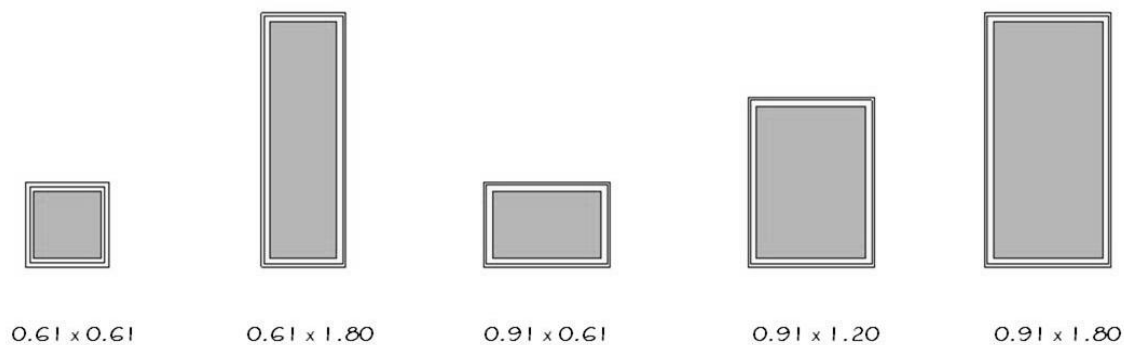


Figura 13: Concepto de Familia

2.5.4.3 Entidades

Un *objeto*, en término informáticos, es una entidad que concentra una funcionalidad autónoma con respecto a operaciones adecuadas al él, como moverlo, girarlo, cambiar sus dimensiones o su forma (Monedero J. , 1999). Cuando ésta funcionalidad es definida a través de parámetros se habla de un *objeto paramétrico*.

Para Eastman (2008), los objetos paramétricos reúnen características que los definen y diferencian de las entidades geométricas únicamente, por ejemplo:

- El objeto consiste de definiciones geométricas, data asociada y reglas asociadas. En el modelo de un componente arquitectónico a cada entidad o conjunto de entidades geométricas les corresponde una información que lo identifica con su comportamiento tanto en la realidad como en el modelo. Por ejemplo, un panel de vidrio de una ventana se representa geoméricamente por un prisma rectangular. A ese prisma se le asocian atributos como espesores, materiales y condiciones de ajuste para un determinado marco o perfil.
- Su geometría es integrada no redundantemente. La forma de un objeto en 3D no se representa por vistas 2D separadas, sino por entidades (vistas) que son capaces de reflejar en sus proyecciones las formas relativas a cada lado del objeto. Las proyecciones son consistentemente paramétricas y almacenan las dimensiones exactas del objeto para ser actualizadas durante la edición.

- El objeto es controlado por reglas paramétricas que permiten corregir el comportamiento de geometrías asociadas al él. Una puerta se ajusta a una pared y un apagador de luz se asocia a la posición de la puerta (a un lado), cuando cambiamos el tamaño de la puerta o simplemente su posición, el apagador se reubica de acuerdo al nuevo tamaño y posición de la puerta.

- Los objetos pueden definirse por diferentes niveles de agregación. Esto significa que podemos detallar un componente y sus subcomponentes asociados. Los objetos pueden definirse y manejarse para diferentes niveles de jerarquía, por ejemplo si el ancho de un subcomponente de pared (capa aislante) se cambia, ese cambio afectará al ancho total de la pared cambiándola finalmente a ella también.

- Las reglas paramétricas de los objetos se reportan si son violadas. Por ejemplo, si se tiene una ventana en una pared y la dimensión de su marco está ajustada al ancho de la pared, cualquier cambio en el tamaño del marco que sobrepase la medida de la pared será advertido al usuario a través de un mensaje. Esta característica también se conoce como viabilidad del objeto.

- Los objetos tienen la capacidad de vincularse, recibir, transmitir o exportar conjuntos de atributos; por ejemplo, materiales, propiedades físicas, propiedades acústicas a otros modelos y aplicaciones.

Para que el objeto sea posible, los programas paramétricos de arquitectura utilizan lenguajes de programación orientados a objetos que facilitan la tarea de creación y almacenamiento de entidades.

La restricción en los objetos paramétricos es un concepto importante y es parecido al de *grado de libertad*. Las restricciones son reglas que se establecen a través de variables. Entonces, un objeto está sobre-restringido si no se puede mover de lugar o cambiar de tamaño; y un objeto está sub-restringido si no tiene suficientes restricciones para caracterizarlo.

Cada restricción disminuye la posibilidad de generar o tener alternativas con ese objeto. Es decir, que a mayor número de restricciones más difícil será mantener su compatibilidad en el modelo, esto para diferentes opciones de parámetros. Si el objeto es sub-restringido no puede

resolverse debido a la cantidad de contradicciones que se presentarían al momento definirlo o manipularlo.

Las restricciones pueden ser de dos tipos diferentes: geométricas y dimensionales. En las geométricas entran la perpendicularidad, tangencia o alineación y en las dimensionales, cotas, ecuaciones, valores predeterminados como fuerzas o propiedades mecánicas. La mayor diferencia entre los sistemas de modelado es la forma en cómo manejan el ingreso y el control en las restricciones.

Las restricciones se plantean en forma de relaciones y limitan el comportamiento de un objeto o un grupo de objetos. Por ejemplo en la Figura 14 entre las restricciones de una ventana se encuentra su vínculo con la pared como se muestra el recuadro 1 y además con una alineación, la altura de 2.30 m desde su nivel de base con el resto de las ventanas de la fachada, apreciable en recuadro 2 de la misma figura. La restricción se proyecta más allá de la limitación estática; si se elimina la cota de 2.30 las ventanas siguen restringidas por alineación y se mueven todas juntas si se intenta mover una de las ventanas.

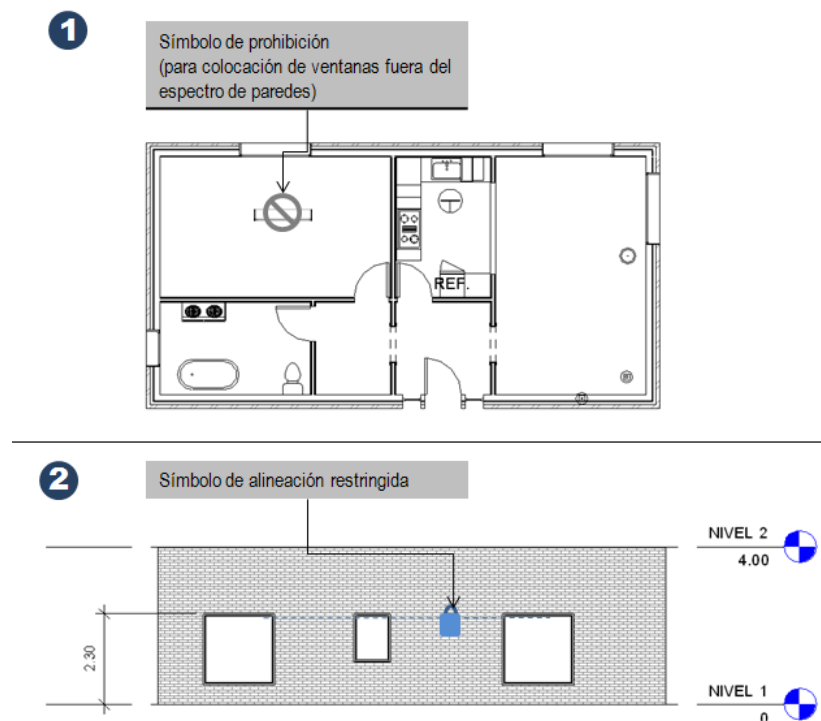


Figura 14: Restricciones de comportamiento al elemento pared.

En el módulo de manejo de restricciones de un programa existe la posibilidad de modificar parámetros que redefinen el comportamiento de objetos restringidos. Para este caso podemos utilizar el ejemplo del elemento escalera. La escalera es un objeto controlado por parámetros geométricos de que definen la forma del recorrido, la forma de las huellas y la de las contrahuellas.

Los parámetros de valor que definen sus dimensiones y controlan el diseño según reglas ergonómicas son especificados por medio de cotas y ecuaciones. Por defecto el programa tiene asignado restricciones de altura de desarrollo, que va de piso acabado a piso acabado. Si no fuera esa la altura que se desea alcanzar con la escalera, el programa advierte sobre la falla y permite crear el número de huellas y contrahuellas que está definiendo el usuario en ese momento (Figura 15).

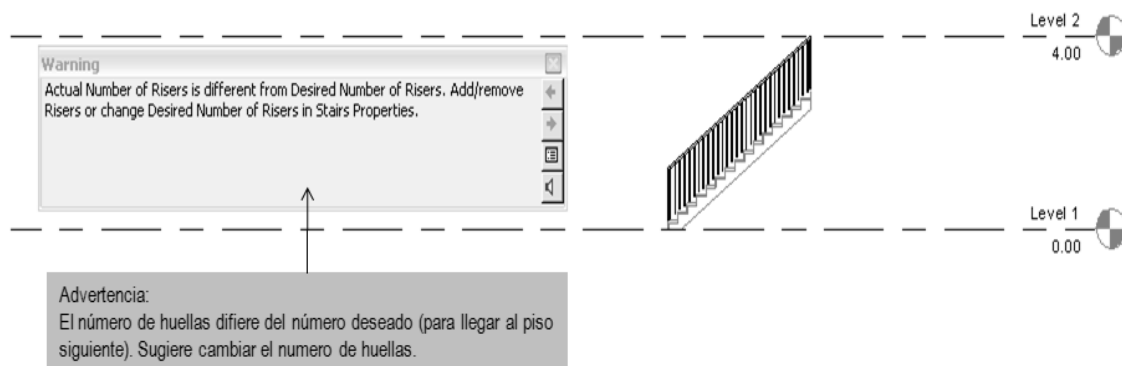


Figura 15: Restricciones de comportamiento en escaleras.

En resumen podemos entender que las restricciones son reglas que se usan durante las tareas de diseño, que convierten una simple cota en un regulador de comportamiento de un objeto. Es un concepto que tiene que ver con el conocimiento de los aspectos tecnológicos de la arquitectura y que lo manejan las aplicaciones de diseño.

El obstáculo más importante para los programas de CAD fue precisamente establecer explícitamente estas condiciones y por ello no pudo dar soporte adecuadamente al diseño arquitectónico. Vale la pena mencionar que las restricciones no son un concepto exclusivo de los programas paramétricos. Desde el CAD de Iván Sutherland ya se trabajaba con ello. Lo que sucede es que la noción de restricción para un programa de CAD es mucho más básica que para un programa paramétrico orientado al objeto. Una polilínea, por ejemplo, puede ser definida como una sumatoria de segmentos de líneas rectas y curvas sucesivas y con vértices restringidos

a estar conectados. En los programas paramétricos, la noción de restricciones implica conocimiento en relación a parámetros característicos de los componentes del edificio y del proyecto.

Una forma de restricción llamada relación bidireccional sucede cuando dos o más objetos están vinculados de manera tal que cualquier acción que se aplique sobre uno condiciona la respuesta de los otros. Este concepto, muy sencillo a primera vista, se explicará gráficamente utilizando algunos casos provenientes de la práctica con un programa de modelado arquitectónico.

En la Figura 16, se ilustran dos de las posibles combinaciones de esta relación en el caso de los elementos pared y techo. En el recuadro número 1 se tiene una configuración de elementos donde las paredes no están vinculadas al techo. Si establecemos la condición de asociación bidireccional el resultado es como se muestra en el recuadro número 2 donde las paredes alcanzan al techo con su altura y se ajustan a su forma. En el recuadro 3 se aprecia el comportamiento de ambos elementos cuando movemos las paredes para aumentar el espacio en planta y el techo actúa moviéndose hasta cubrirlas. En el recuadro 4 vemos que si se cambia la forma del techo las paredes se ajustan a la nueva geometría que las limita en la parte superior.

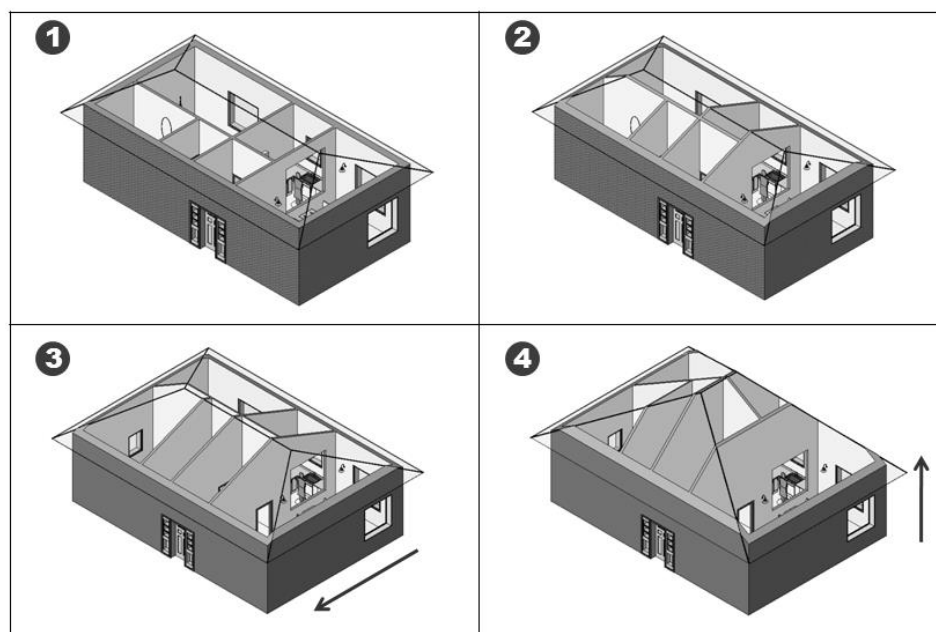


Figura 16: Relación bidireccional de los elementos techo y pared.

En el diseño digital la relación bidireccional no solo se establece entre objetos arquitectónicos, sino también entre elementos arquitectónicos y de información. Tal es el caso del cálculo de áreas y el elemento pared, que muestra en la Figura 17. La herramienta de información de área crea información numérica a partir de la definición de elementos arquitectónicos de cerramiento. En el caso de que un espacio esté delimitado por paredes, el área se reporta y si se cambia la disposición de las paredes también cambiará el área que delimitan. Es decir, que los nuevos valores de área se proyectarán en relación al nuevo perímetro, se en metros cuadrados o en metros cúbicos. Este comportamiento paramétrico se extiende a la mayoría de los otros objetos que componen el proyecto como cotas, planos, texto o etiquetas.



Figura 17. Relación bidireccional entre información y pared.

2.5.4.4 Operadores de comportamiento en entidades

Un edificio en el entorno virtual es una colección de objetos ensamblados dentro de un modelo que se comportan siguiendo un conjunto de reglas que los conectan y los relacionan.

La data contenida dentro de un objeto caracteriza al objeto físico real. Esta data incluye la descripción de atributos suficientes para definir todos los *estados* posibles del objeto físico. El estado se refiere a la función que un componente está cumpliendo en el modelo arquitectónico en un instante de tiempo determinado y para una posición determinada. Si el factor tiempo participa

de la definición de estado del objeto éste puede ser definido bajo dos condiciones: una estática y otra dinámica.

El *estado estático* caracteriza al objeto por las propiedades que permanecen fijas en él, no cambian en el tiempo y están asociadas a su diseño o fabricación. El estado dinámico, se da cuando el objeto cambia en el tiempo, por ejemplo una puerta de apertura automática, la cabina de un ascensor cuando se abren o cierran sus compuertas o cuando se encuentra en diferentes niveles de entrepiso. Estos cambios definen su comportamiento, porque suceden cambios en los valores de la data.

El comportamiento de los objetos es controlado por reglas que aplican los operadores para habilitar o inhabilitar ciertos estados. Los operadores son funciones y manejan las reglas que se corresponden con el comportamiento lógico del objeto. Muchos objetos, por ejemplo, no admiten área o volumen negativo ya que son inconsistentes con la representación de su forma. Este puede ser el caso del espesor de una pared.

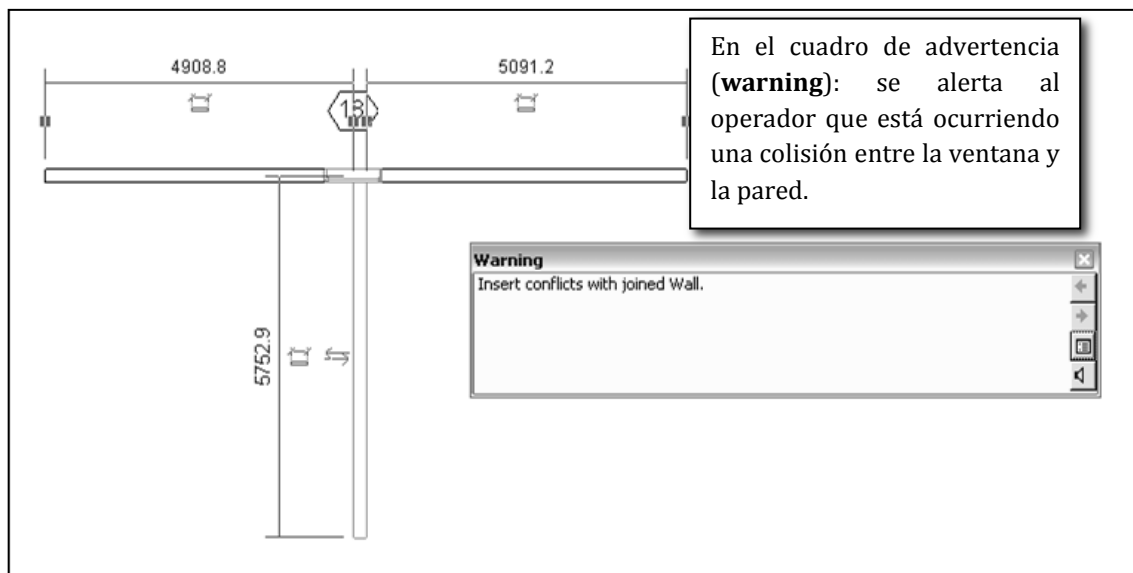


Figura 18: Elemento controlado por operadores

Los operadores también actúan sobre la ubicación del objeto, por ejemplo si se está modelando una porción de pared y uno de sus extremos alcanza a una ventana, el operador generará un reporte de colisión, que en teoría es un error aunque no impide su ejecución (Figura 18). De esta forma los estados definen lo que se conoce como la semántica del objeto.

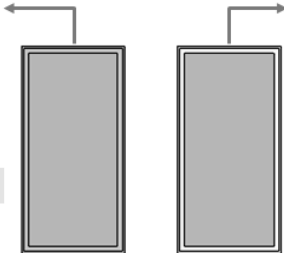
En los modeladores se manejan otros conceptos como tipo, herencia y polimorfismo. Dentro del lenguaje de programación el tipo representa el mecanismo evaluador, que examina qué operadores pueden ser aplicados a qué objetos y qué variables les corresponden a esos objetos. Mientras que a través del polimorfismo se logra distinguir a los objetos que contienen más de un tipo.

Un tipo representa una característica específica dentro de una familia de componentes. Por ejemplo, en una familia de puertas de vidrio corredizas el existen varias puertas con diferentes dimensiones siendo cada una un tipo. El tipo es dependiente de las dimensiones y está asociado a la categoría que personaliza cada elemento. Es así como las modificaciones que se realizan al objeto pueden ser de valor siempre y cuando no cambien su categoría, y si esa acción ocurre será advertida por los operadores de tipo.

La herencia es muy fácil de entender porque se refiere simplemente a que los nuevos objetos pueden heredar propiedades de su mismo tipo. Por ejemplo, en una familia de ventanas del tipo de panel de vidrio fijo y marco de metal, una nueva ventana puede crearse si solo se cambia el material del marco a madera (Figura 19). En este caso la ventana nueva hereda la familia y el tipo, la geometría del panel y del marco, el material del panel, las reglas de comportamiento que controlan la función, los operadores, etc. En la herencia se conserva el vínculo con el objeto de origen llamado referencial, como en la relación padre-hijo de una estructura jerárquica.

Por otra parte los operadores son métodos presentes en los lenguajes de programación que permiten conectar las reglas asociadas al comportamiento del objeto con todas las operaciones relacionadas a él. Las reglas se aplican al objeto para determinar su validez o legitimidad en el modelo con respecto a sus atributos y a su comportamiento.

La exactitud, la consistencia y la integridad de los objetos en los Sistemas de Bases de Datos, es muy importante tanto para los programadores como para los usuarios de programas paramétricos. La integridad se refiere a la consistencia (datos bien organizados con respecto a los requerimientos del modelo de datos) y a la validez (todos los datos inválidos son excluidos de la base de datos). Es un concepto utilizado para el modelado de las relaciones en los sistemas de bases de datos relacionales orientadas al objeto (Zaqaibeh & Al Daoud, 2008).

FAMILIA		VENTANA FIJA	
TIPO	MARCO METAL_0.90 x 1.80		
PARAMETRO	VALOR		
NIVEL	NIVEL 1		
ALTURA DESDE EL PISO	.90		
ALTURA HASTA TECHO	2.00		
PARAMETRO	VALOR		
AJUSTE DE POSICIÓN	PARED		
MATERIAL PANEL	VIDRIO		
MATERIAL MARCO	METAL		
DIMENSIONES			
ALTO	1.80		
ANCHO	0.90		
DIST. ALINEACIÓN PANEL	0.19		
DIM. EXTERIOR MARCO	0.025		
ANCHO PANEL MARCO	0.015		

FAMILIA		VENTANA FIJA	
TIPO	MARCO MADERA_0.90 x 1.80		
PARAMETRO	VALOR		
NIVEL	NIVEL 1		
ALTURA DESDE EL PISO	.90		
ALTURA HASTA TECHO	2.00		
PARAMETRO	VALOR		
AJUSTE DE POSICIÓN	PARED		
MATERIAL PANEL	VIDRIO		
MATERIAL MARCO	MADERA		
DIMENSIONES			
ALTO	1.80		
ANCHO	0.90		
DIST. ALINEACIÓN PANEL	0.19		
DIM. EXTERIOR MARCO	0.025		
ANCHO PANEL MARCO	0.015		

Figura 19: Atributos de tipo.

La integridad participa en la semántica del objeto ya que delimita sus relaciones específicas y los conceptos que sobre él se representan en el modelo de datos (Mäs, 2007). Se trata de un elemento clave para mantener la consistencia lógica de la data que tiene que ser evaluada. Por ejemplo, en el caso de que todas las dimensiones de un objeto sean valores reales positivos se circunscribe la data a esta condición y otras diferentes a ellas no serán aceptadas en el modelo de datos.

También las reglas semánticas son aplicadas para crear relaciones entre atributos de un mismo objeto, por ejemplo la dimensión de la cabina de un ascensor debe corresponderse con su capacidad de carga (número de personas). Estos valores o parámetros que determinan las relaciones también son heredados por todos los componentes que sean producto de nuevos tipos.

Los *operadores* de alto nivel se utilizan para establecer las relaciones entre objetos. Por ejemplo, la relación entre la forma del espacio y la forma y localización de las paredes definen la semántica del “objeto habitación”. Estos aspectos constituyen a su vez sus componentes en planta (Figura 20). Los dos objetos, espacio y pared, están incluidos en los operadores para establecer el conocimiento detallado a través de la semántica del objeto.

Entonces, estas reglas que son definidas por la semántica del objeto y que mantienen su integridad son llamadas reglas de integridad semántica. La integridad semántica se refiere a las reglas que actúan al menos en tres campos para los programas de modelos de edificios: “(1) que pueden asociarse con los atributos y limitarse al tipo de atributo; (2) que pueden ser aplicadas para establecer relaciones entre atributos; y (3) que también son empleadas para las relaciones entre objetos” (Eastman C. , 1999, p. 117).

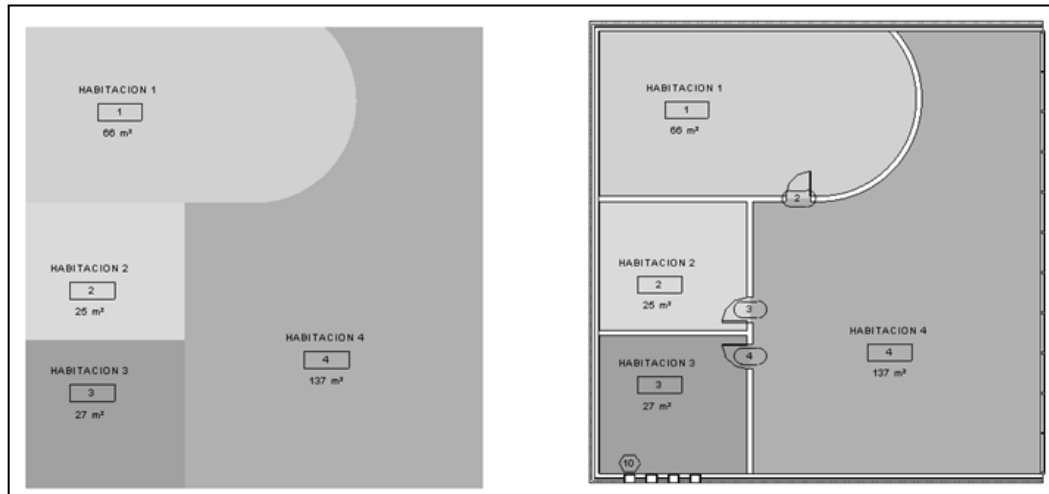


Figura 20: Operadores de alto nivel.

Este concepto de reglas fijas para los operadores así como otros conceptos de las tecnologías orientadas al objeto, han tenido una gran influencia en el desarrollo de aplicaciones para el modelado de edificios. El conocimiento técnico y la semántica del objeto se han vinculado inseparablemente al modelo y como consecuencia también a la creación y manipulación de objetos con información potencialmente intercambiable, que han facilitado la exploración y proponer decisiones de diseño mejor informadas.

2.6 Resumen del capítulo

En el diseño arquitectónico la representación parece dominar todos los aspectos de la actividad. Puede ser catalogada de dos maneras: como proceso y como producto. Es un proceso, cuando el diseñador lleva a cabo un conjunto de acciones físicas de transformación para representar la evolución del pensamiento y las ideas. Y es un producto, cuando refleja puntualmente el resultado del proceso, es decir la descripción detallada del objeto. En la práctica del diseño ambos coexisten indistintamente y de hecho es difícil separarlos.

El proceso, tema de interés de esta investigación, está cargado de acciones mentales llamadas transformaciones laterales. Se identifican en las fases tempranas del proceso de diseño arquitectónico y están asociadas a la creación e interpretación de ideas. Y entre otras se pueden nombrar: reinterpretación, descubrimiento, descubrimiento inesperado, evaluación, identificación, generación, integración, asociación, transformación, entre otras. Así como existen transformaciones laterales, también hay transformaciones verticales que ocurren en las fases tardías y es donde se precisa la evolución de la solución. Estas no forman parte de nuestra investigación.

Los estudios sobre la representación digital en el diseño han dejado más que pistas para una nueva investigación. Concretamente han demostrado que la visualización intensiva y la respuesta inmediata del medio digital provoca en los diseñadores imágenes mentales con mayor frecuencia que con el medio tradicional; aspecto que puede ser considerado muy determinante para las acciones de diseño en la fase temprana. De la misma manera, algunas investigaciones determinaron que el comportamiento cognitivo visual del diseñador cuando utiliza medios convencionales, lápiz y papel, es un proceso sólido y las tareas de “cómo ver”, “qué ver” y el detalle son más importantes que la imaginación. En cambio, cuando se usa la computadora el proceso varía y las acciones de imaginar y “cómo ver” son más significativas.

Igualmente ha quedado indicado que la ambigüedad del medio de representación no es garantía para la producción de transformaciones laterales. Los medios digitales, concretos o bien estructurados, pueden promover transformaciones laterales con la misma intensidad de los manuales; siendo que su relación con la ambigüedad viene dada por la ambigüedad del proceso y no del medio.

En este sentido se dejó plasmado, en la última parte del capítulo, las características y alcance de la representación estructurada. En este momento se piensa que la forma concreta de representación promueve una dinámica cognitiva diferente. Al respecto se evidencia que la expresión digital es unívoca y en cuanto a la manipulación geométrica y no deja lugar a falsas interpretaciones sobre la coherencia de la forma, en el caso de la utilización de volúmenes para conceptualizar. Igualmente, la posibilidad representar concretamente elementos arquitectónicos y su comportamiento ofrece mucho más que mejorar la productividad sobre los modelos analógicos, sino que la “inteligencia” de los objetos permite descargar gran cantidad de acciones

de repetición como el redibujo y abre un compás distinto a la dinámica iterativa y exploratoria en la ideación del diseño.

Capítulo 3. Marco metodológico

Análisis de protocolos de diseño

En esta tesis se explora la relación entre las acciones de dibujo digital como forma de representación externa y los procesos cognitivos desencadenados por dichas acciones en el ámbito académico de la escuela de arquitectura de la Universidad de Los Andes. La línea metodológica se concibe para comprender la esencia de las acciones cognitivas del estudiante de arquitectura en el contexto tecnológico del diseño arquitectónico asistido por computadoras. Y para obtener herramientas teóricas que permitan interpretar la realidad educativa a partir de una respuesta que el individuo como aprendiz de arquitecto, la vive y experimenta.

La investigación es de tipo cualitativa e interpretativa. Se apoya en los métodos de análisis de protocolo de Ericson y Simon (1993) y el análisis comparativo constante de Glaser y Strauss (1967), para estudiar las cualidades de la información y buscar patrones cognitivos subyacentes en las acciones de dibujo de los participantes. Esta investigación cognitiva con fines educativos busca una lógica por medio de la cual sea posible encontrar significados, no manifiestos, de una amplia cantidad de procesos que suministran los protagonistas.

Para la construcción teórica la teoría de Glaser y Strauss (1967) guía las nuevas proposiciones y definiciones teóricas que surgen de los datos obtenidos en la investigación y además el procedimiento mismo es el que genera la comprensión del evento estudiado y define el tamaño de la muestra. Esta es una postura metodológica especialmente útil cuando las teorías no explican el fenómeno o problema, que puede ser el caso de la cognición del diseño mediada por la representación digital.

Como parte de la realidad educativa que representa el contexto general de la investigación, las tecnologías computacionales intervienen gradualmente en los procesos de enseñanza y aprendizaje del diseño. Al mismo tiempo se trata de un escenario siempre cambiante, que va al ritmo de los avances, que nos ofrece nuevas perspectivas y oportunidades, pero como las dos caras de una misma moneda, nos coloca también delante de nuevos problemas.

La Arquitectura, como disciplina de la actividad humana, ha estado desde los inicios de la época informática interactuando con métodos y herramientas digitales. En estos últimos años los desarrollos en el Diseño Arquitectónico Asistido por Computadoras han alcanzado, luego de un

largo proceso de investigación –en el ámbito académico y empresarial–, el nivel necesario para que los arquitectos o aprendices, trabajen más inteligentemente, más responsablemente, más eficientemente y más cuidadosamente en su tarea de crear espacios habitables.

Los nuevos métodos y técnicas de representación, vale recordar comprenden una porción considerable de ésta tecnología, aportan al diseñador una herramienta potencialmente eficaz para comunicar el diseño. Las representaciones actuales intentan reproducir las cualidades del fenómeno físico real, logrando cada vez más disminuir la distancia entre lo que sucede en el edificio virtual y lo que sucederá posteriormente en el edificio real.

Si pensamos que las tecnologías emergentes ubican a la Arquitectura en el mundo de la simulación, no se trata simplemente de una nueva forma exótica o maravillosa de practicar el oficio, es más bien el modo contemporáneo, globalmente empleado, para ejercer la profesión.

Al igual que la mayoría de los estudios sobre cognición del diseño, esta investigación utiliza el análisis de protocolo para observar procesos cognitivos. Es un método de observación indirecta, que recurre a protocolos de pensamiento en voz alta como instrumento metodológico. Implica el uso de sujetos pensando, razonando, en voz alta mientras llevan a cabo una tarea o al término de la misma (Ericsson & Simon, 1993). Favorablemente, el método cuida los modos de verbalización a fin de que no se altere la sucesión de pensamientos y su registro sea considerado como dato válido para el análisis del razonamiento (Ericsson & Simon, 1980).

En la observación indirecta los procesos cognitivos no se reflejan directamente en el informe oral, por lo que el registro o grabación de la comunicación verbal deberá transcribirse para ser analizado. El proceso de análisis de los textos transcritos se lleva a cabo con la ayuda de categorías de análisis y para nuestro estudio fueron preestablecidas las de Suwa y Tversky (1997) para dar inicio a la valoración de los procesos. En la medida que avanza la exploración se “ajustan” las categorías iniciales hasta que, luego de agotar el proceso iterativo, se alcance una definición consensuada del sistema categorial que caracterice el comportamiento cognitivo en el diseño digital.

El capítulo se desarrolla en tres partes. Se comienza con una reseña de los aspectos teóricos que soportan el método y el esquema de categorías. Seguidamente, se presenta el método, las técnicas de recolección de datos y los procedimientos de análisis que conforman el diseño

metodológico y por último, se describen las fases para la implementación exploratoria de la investigación.

3.1 Objeto de estudio

Los procesos de pensamiento en el diseño pueden reconocerse en distintas formas de representación. Los que suceden a través de representaciones externas, los que operan en las representaciones mentales y los que involucran ambas, representaciones mentales y externas (Goldschmidt, 1991; 1992; Purcell, Gero, Edwards y McNeill, 1994). Las representaciones externas sirven como insumo a los procesos de pensamiento y en su dinámica proporcionan información de entrada para la construcción de representaciones mentales que propician abstracciones y conducen a transformaciones de diseño en la representación misma.

Es evidente que si se desea explorar la complejidad del pensamiento del diseño se debería abordar los procesos mencionados anteriormente, y las interacciones entre ellos de forma conjunta. Sin embargo, la investigación de la interacción entre las imágenes mentales, el dibujo y el razonamiento de manera simultánea excede el alcance de la presente investigación. Por lo tanto, esta tesis se centra únicamente en el procesamiento cognitivo que se produce de forma consecutiva en la tarea de diseño y su relación con las representaciones digitales como representación externa.

La fase conceptual o temprana del proceso de diseño es comúnmente definida como una serie de actividades donde los diseñadores, navegando a través de un dominio abstracto, tratan de encontrar entidades que les permita la descripción del problema y alcanzar soluciones iniciales de diseño. Es en este espacio las acciones de dibujo parecen dominar los aspectos trascendentales de la conducta, e intervienen desde la generación del concepto inicial hasta la composición y evaluación de soluciones concretas. Por lo tanto, esta investigación se ubica en este dominio y lo define como el ámbito de la tarea, que para Goldschmidt (1991) posee una alta carga cognitiva, y se permite observar la naturaleza de las acciones y los comportamientos determinantes asociados a la representación.

Tal y como se ha mencionado en el marco teórico, las representaciones externas y la habilidad visual median en el proceso de diseño. Entre las funciones que los diseñadores atribuyen a dichas representaciones se pueden mencionar: generar conceptos, revisar y refinar ideas, externalizar y visualizar problemas, facilitar la resolución, potenciar el esfuerzo creativo o

mejorar la percepción. Y todas estas acciones tienen que ver con la manipulación de las relaciones espaciales, la exploración, la flexibilidad, la orientación y la visualización espacial. Estas relaciones han quedado bien establecidas en investigaciones como la de Bertoline y otros (1995), donde se ratifica el vínculo entre la visualización y el dibujo, sugiriendo que la capacidad de visualización es fundamental para estimular imágenes mentales, a su vez que proporcionan un puente entre las ideas de diseño y su representación externa.

Por otra parte, el dibujo es una de las actividades prescritas para el desarrollo de la capacidad de visualización espacial y razonamiento visual. Naturalmente, en este estudio se han atendido los debates sobre la influencia de las herramientas digitales en la visualización, donde se afirma que los medios digitales han elevado los sentidos visuales a un nuevo nivel, y como consecuencia se aprecia un mejor soporte al pensamiento visual en la comprensión y descripción de la forma. Se considera, además relevante la afirmación de Marx (2000) con respecto a que una alta concentración de visualización producida por la interfaz y la respuesta inmediata del medio digital, produce en los diseñadores un aumento de la frecuencia de imágenes mentales que influyen en la velocidad de percepción y en el proceso de “hacer y ver” al dibujar.

Los dibujos reflejan físicamente las conceptualizaciones del proceso de razonamiento visual, como las inferencias de conclusiones a partir de representaciones visuales. El razonamiento visual es, por lo tanto, un proceso cognitivo que vincula al conocimiento perceptual con el conocimiento conceptual. Los dibujos son de esta manera pistas sobre la conceptualización y su estudio proporciona información detallada sobre las operaciones y el esquema de reglas conceptuales en el diseño.

Esa interacción cognitiva representada por el conjunto de procesos como la observación, descripción, generación, delineación y evaluación, claramente definidas para el dibujo manual, se atenderán en el caso del dibujo digital.

3.2 Método de análisis de protocolo en el diseño

El análisis de protocolo es una metodología de investigación empírico observacional cuyo diseño permite la obtención de datos válidos sobre el pensamiento a través de la verbalización (Ericsson & Simon, 1993). Internamente, el método cuida la manera cómo las personas deben verbalizar sin que se altere la sucesión de pensamientos, sobre todo aquellos que median en la realización de una tarea.

Según Ericsson y otros (2006) “el postulado central del análisis de protocolo es que es posible instruir a los sujetos a verbalizar sus pensamientos, de una manera que no altere la secuencia y el contenido de aquellos que median en la realización de una tarea y, por tanto, estos deberían reflejar la información del razonamiento inmediato” (pág. 227). La teoría y modelos en torno a los informes orales como datos válidos para el estudio del razonamiento y los procesos cognitivos han sido especificados en el trabajo de Ericsson y Simon (1993), en el que explican tanto las teorías y mecanismos de generación de los informes como su sensibilidad a los factores experimentales.

El marco teórico propuesto por estos investigadores se derivó de la teoría de procesamiento de la información (Newell & Simon, *Human Problem Solving*, 1972), cuya premisa más importante fue que la información se almacena en memorias diferentes, en capacidad y en tiempos de almacenamiento. Presentan en su trabajo una clara distinción entre la memoria a corto plazo (MCP) con capacidad limitada y duración intermedia, donde se lleva a cabo el razonamiento simultáneo y la expresión verbal; y otra memoria a largo plazo (MLP) que tiene mucho más duración, donde se almacenan definitivamente algunas de las ideas de la MCP, pero que es de fijación lenta. En este modelo, se asume que la información adquirida recientemente es asimilada por el procesador central y se mantiene accesible en MCP para su posterior procesamiento. La información presente en la MLP debe ser primero recuperada, para que pueda ser transferida a MCP, antes de ser informada.

Los protocolos verbales son registros orales de pensamientos, facilitados por los sujetos cuando piensan en voz alta durante o inmediatamente después de completar una tarea. Para el investigador el objetivo de estos registros es capturar los procesos que ocurren en la memoria a corto plazo o memoria trabajo. Sin embargo, hay aspectos que se deben tener en cuenta como el hecho de que la memoria de trabajo tiene una capacidad limitada, y la información que se almacena en ella es por un período de tiempo breve, que puede desaparecer tan pronto como lleguen nuevos patrones de pensamiento.

Por esta razón, sólo los informes orales que siguen inmediatamente a un proceso de razonamiento son los que pueden reflejar con precisión el pensamiento consciente y en cualquier estudio debe apelarse a la conciencia inmediata de los sujetos (Ericsson & Simon, 1993). Hay muchos otros procesos de la memoria de trabajo que no son verbalizados, ya sea porque son

automáticos o porque su procesamiento intermedio pasa tan rápido que no hay tiempo para verbalizarlo (Ericsson y Simon, 1980; Newell y Simon, 1972; Stenning y Oberlander, 1995).

Otra de las observaciones a considerar para la investigación con verbalizaciones es la correspondencia con el lenguaje verbal (Ericsson & Simon, 1980). Los procesos que no son verbales, tales como los relacionados con las acciones físicas o imágenes visuales, pueden verse distorsionados cuando se traducen en palabras para responder a la demanda de pensar en voz alta. Ericsson y Simon se refieren a un estudio de Ericsson (1975) donde aborda algunas incógnitas sobre elementos viso-espaciales. Particularmente hacen énfasis en la resolución de rompecabezas y para lo cual se pidió a uno de los grupos del estudio verbalizar explícitamente sus estrategias. Esta decisión resultó en que las exigencias de verbalización indirecta podrían influir la forma de pensar, aspecto que habría de considerarse para la precisión de la investigación con pensamiento en voz alta en el diseño.

El uso de los protocolos en los estudios sobre el diseño busca revelar habilidades, procesos y mecanismos, además de cómo se articulan conocimientos y acciones de dibujo durante la actividad. En tal sentido, Dorst y Dijkhuis (1995) presentan dos enfoques para efectuar análisis de protocolo en la investigación del diseño: uno orientado a los procesos y otro orientado hacia el contenido. El primer enfoque se adopta cuando el objetivo del estudio se centra en la descripción de la estructura de los procesos de diseño en términos de una taxonomía general de resolución de problemas, es decir, estado del problema, operadores, objetivos o estrategias (Akin, 1993; Eastman, 1969; Purcell, Gero, Edwards, y McNeil, 1994). El segundo, está orientado a revelar el contenido de la información y el conocimiento utilizado en los recursos que se emplean para la construcción de inferencias (Goldschmidt, 1991; Schon y Wiggins, 1992; Suwa y Tversky, 1997). El enfoque orientado al contenido es más adecuado para examinar las formas en que los diseñadores interactúan cognitivamente con sus dibujos (Doorst & Dijkhuis, 1995; Tang & Gero, 2000).

Otra dicotomía para el uso de análisis de protocolos de diseño esta en definir la forma de verbalización de los procesos asociados a cada aspecto de la actividad en estudio. Ericsson y Simon (1993) precisan dos: concurrente y retrospectiva. En la primera forma se les pide a los diseñadores hablar en voz alta mientras trabajan, verbalizando sus pensamientos en curso y sobre la marcha de una tarea determinada. Sin embargo, para algunos investigadores el requisito de

hablar mientras se trabaja puede interferir con la percepción del sujeto (Lloyd, Lawson, & Scott, 1995). No obstante, de acuerdo con Ericsson y Simon (1993), pensar en voz alta implica una verbalización directa de los procesos cognitivos en términos de estados sucesivos de información atendidos en un momento determinado.

En la verbalización retrospectiva, por el contrario, se les pide a los diseñadores recordar y comunicar sus pensamientos después de la tarea. Esta técnica, tendría una desventaja para el estudio cognitivo del diseño y es la recuperación selectiva de la información, sobre la base de una información acumulada. Lo que implica que ciertos procesos de recuperación parcial en MLP conduciría a errores o reportes incompletos sobre todo por la decadencia de la MCP, como señalan Ericsson y Simon (1993).

En general, los estudios orientados al proceso del diseño se manejan desde protocolos concurrentes, aquellos con los que se busca observar las estrategias de procesamiento de la información en la actividad del diseño. Los estudios que utilizan protocolos retrospectivos, buscan la comprensión de los aspectos cognitivos que explican el papel del dibujo en la tarea, las formas de ver y otras cuestiones derivadas del contenido de diseño (Suwa y Tversky, 1997; Suwa, Purcell, y Gero, 1998; Suwa, Gero, y Purcell, 1999).

Investigadores como Suwa y Tversky (1997) y Cross et al. (1997), aplicaron técnicas retrospectivas para evitar algunos de los inconvenientes de los protocolos concurrentes y así poder acceder a los aspectos de percepción en el diseño. Los sujetos fueron invitados a recordar los procesos cognitivos mediante la recuperación de la información almacenada principalmente en MLP y parcialmente en la MCP, esto con la ayuda de vídeos (registro por medio de cámaras incluyendo al sujeto) que registraron toda la solución del problema de diseño en cada una de las sesiones.

Dado que para la evaluación de la interacción cognitiva de los diseñadores con las representaciones digital están involucrados aspectos de la percepción, elementos de la relación con el medio y estrategias de la resolución de problemas, se optó por emplear una forma de verbalización retrospectiva. Y para compensar la limitación de almacenamiento de la MCP el informe retrospectivo de las acciones de dibujo se apoyará en un registro de acciones de pantalla (captura de pantalla en formato de video), donde el diseñador podrá encontrar evidencias para recordar sus decisiones y procedimientos. Con esto se busca que los sujetos obtengan referencias

visuales sobre la secuencia exacta de dibujo, su ritmo, las fluctuaciones, los retornos o redibujos. Esas señales aparentemente ayudarán a recordar pensamientos del pasado (Suwa, Gero, y Purcell, 1998).

3.3 Participantes

Las investigaciones con protocolo verbal pueden en origen abarcar un gran número de participantes, sin embargo, la mayoría de los estudios emplea pocos sujetos, pues es un proceso largo y con un alto costo en tiempo para la recopilación, transcripción y análisis de datos (Nielsen, 1994).

La selección del grupo para este estudio es una muestra no aleatoria, de estudiantes (E) del último año de la carrera de arquitectura de la Escuela de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Los Andes. Los participantes, 3 mujeres y 1 hombre, poseen habilidades apreciables en la resolución de problemas de diseño y de comunicación verbal. Además, de tener experiencia, destreza y conocimientos acerca de programas de diseño asistido por computadoras, específicamente *Revit Architecture*. El criterio general utilizado para esta selección es el de la idoneidad que según Ruíz (2003) “los que por su conocimiento de la situación o del problema a investigar son los más idóneos y representativos de la población a estudiar” (pág. 64).

3.4 Técnicas y procedimientos para la recolección de datos

Se propone trabajar apegado a las recomendaciones de Ericsson y Simon (1993) para informes orales junto a un diseño de Análisis Comparativo Constante para la toma de registros (Glaser & Strauss, 1967). Esto último se refiere, primeramente, que los datos serán recolectados en un proceso iterativo sujeto a saturación y segundo, que la información recolectada una vez transcrita, segmentada y codificada se comparará con la del mismo sujeto para evaluar las categorías de control y descubrir las nuevas categorías para el análisis del siguiente protocolo. En la medida que las categorías se saturan en el mismo sujeto se disminuirán los registros de obtención de categorías, manteniendo un análisis comparativo constante con otros sujetos.

En esta investigación el proceso iterativo en el mismo sujeto se llamará *lazo interno* (Li) y se propone para estar más seguros de agotar las categorías, o nuevas definiciones para ellas, o relaciones entre categorías en un mismo sujeto. Al saturarse el proceso iterativo para un mismo sujeto, se tomará de la misma forma la muestra para otro sujeto diferente, repitiendo las mismas

condiciones y este proceso comparativo se llamará *lazo externo* (Le). En la Figura 21 se representa esquemáticamente la forma de las iteraciones Li y Le, que definen la dinámica de muestreo de los datos para los registros de protocolo de diseño.

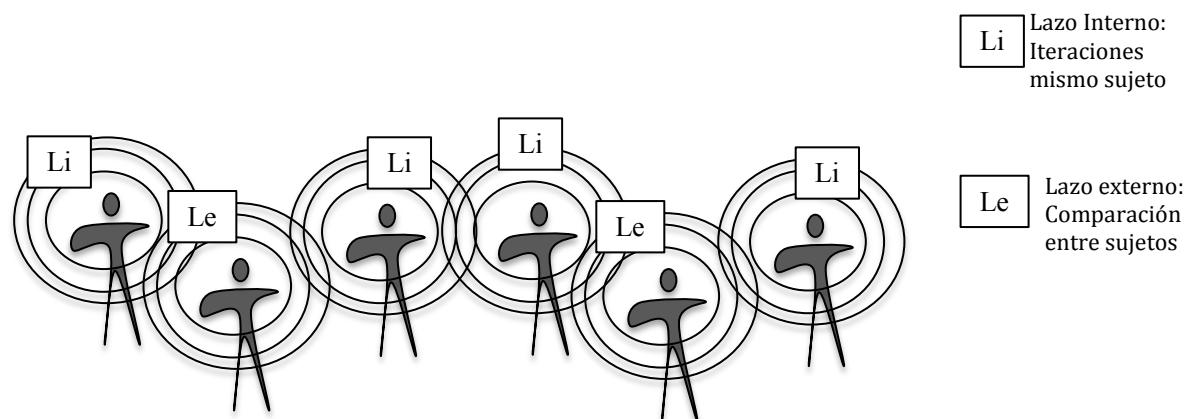


Figura 21: Esquema de iteraciones de muestreo.

Según Glaser y Strauss (1967) el universo de datos en el uso del método de comparación constante está basado en la reducción de la teoría y en la delimitación y saturación de categorías. Por esta delimitación teórica se economizan recursos de investigación en el posible universo de datos, ya que el trabajar dentro de los límites obliga al investigador a invertir. Sin un criterio teórico el delimitar un universo de datos recolectados se convierte en algo arbitrario y no contribuye a rendir en un producto integrado. Esto se debe a que el investigador insisten en aquello que probablemente más adelante sean incidentes o categorías irrelevantes.

3.4.1 Informes orales y verbalización

Dependiendo del tipo de información a ser verbalizada, de la fuente de la información sobre la que se piensa y de la existencia o no de procesos mediadores entre el pensamiento y la verbalización, esta puede ser de varios tipos y tener varios niveles. Según Ericsson y Simon (1993) hay dos tipos de verbalización: concurrente, cuando el sujeto verbaliza los pensamientos que surgen en su mente mientras realiza una tarea y se da en ausencia de procesos mediadores, y retrospectiva, aquella en la que se reportan los pensamientos con respecto a la tarea inmediatamente después de haberla completado; aquí se requiere que la información sea recodificada en el formato verbal del reporte. Ambas formas de verbalización son representaciones directas de los procesos cognitivos (Ericsson & Simon, 1980).

La verbalización de pensamientos en la vida cotidiana, que todas las personas han experimentado alguna vez, es diferente a la verbalización de un proceso cognitivo en curso. Para caracterizar esas diferencias Ericsson y Simon describen tres niveles para los cuales un sujeto puede verbalizar sus procesos de pensamiento y su contenido (Ericsson & Simon, 1993, pág. 79). El nivel 1, también llamado hablar en voz alta, es de vocalización, aquí no hay procesos intermedios ni mayor esfuerzo para comunicar los pensamientos. En este nivel los sujetos verbalizan la información que ya está codificada verbalmente en su memoria a corto plazo. Sin embargo, los autores llaman la atención sobre la diferencia con los casos donde el sujeto habla consigo mismo o desea comunicarse con otras personas.

En el nivel 2 de verbalización, o pensando en voz alta, aquí la información originalmente almacenada en la memoria a corto plazo no está en un código verbal, por lo que los sujetos tienen que volver a codificar la información no lingüística en código verbal. Este nivel involucra descripción o explicación del contenido del pensamiento. Y el nivel 3 de verbalización incluye informes introspectivos, aquí los sujetos explican, buscan razones, teorizan o interpretan su propio comportamiento o respuestas.

De acuerdo con Ericsson y Simon (1993), los informes orales concurrentes enlentecen el comportamiento o desarrollo de algunas tareas, pero los procesos cognitivos no cambian para los niveles 1 y 2 de verbalización, por lo que "la secuencia de la información se mantiene intacta y sin influencia de informaciones adicionales" (pág. 79). De este modo los autores concluyen que la información obtenida desde los niveles 1 y 2, son representaciones directas de los procesos cognitivos que ocurren en la memoria a corto plazo. Sin embargo, para el nivel 3 de verbalización los procesos cognitivos son más susceptibles y pueden cambiar debido a que puede sumarse información que no ha sido trabajada en la memoria a corto plazo. Es por esta razón es que Ericsson y Simon advierten a los investigadores no usar protocolos del nivel 3 de verbalización para investigar procesos cognitivos.

Si se toma como punto de partida los preceptos del modelo de verbalización de Ericsson y Simon (1993), se entiende la manera de cómo los pensamientos no verbales pueden ser traducidos a la forma verbal y así tener la capacidad de inferir representaciones no verbales desde las vocalizaciones observadas. Primeramente, el modelo hace referencia al contenido de la verbalización y la relación del contenido con la forma en cómo la información se presenta

internamente. En este sentido se explica que la cognición verbalizable puede ser descrita como estados que corresponden a contenidos de la MCP, y que la información vocalizada es una codificación verbal de la información en la MCP.

Adicionalmente el modelo supone, que el proceso de verbalización se inicia como un pensamiento que ha sido escuchado y que la verbalización es una codificación directa de ese pensamiento atendido y además refleja su estructura. Otro supuesto aborda la relación entre partes de las oraciones gramaticales pronunciadas en un solo impulso y su significado. En tal sentido, se mantiene que las unidades de articulación asociadas al significado (sintagmas) se corresponden con la estructura cognitiva, así es como las pausas y vacilaciones ayudan a predecir de los cambios de procesamiento de la estructura cognitiva.

En este punto se hace necesario explicar la diferencia entre dos formas de pronunciación o articulación de la verbalización como lo son “hablar en voz alta” y “pensar en voz alta”. Cuando un sujeto “habla en voz alta” pronuncia los pensamientos codificados en forma verbal y cuando “piensa en voz alta” recodifica verbalmente y pronuncia los pensamientos que se han mantenido en la memoria de alguna forma. Sin embargo, no siempre el sujeto sabe distinguir entre estos dos tipos de verbalización, pero con ayuda de la instrucción se puede influenciar la producción una u otra (Ericsson & Simon, 1993, pág. 222).

La instrucción de “hablar en voz alta” insta a los sujetos a expresar en voz alta lo que están diciendo para sí mismos en silencio. Es decir, se procura estimular aquel lenguaje interno, espontáneo, muchas veces vocalizado y que contiene además auto-instrucciones o diálogos consigo mismos. Lo que ocurre es que cuando la información es escuchada ya está codificada de forma oral, por lo que se activa internamente y proporciona una entrada para el procesador central sin procesamiento adicional.

Análogamente, en el pensamiento en voz alta se pide la verbalización tanto de la información codificada como otro tipo de pensamientos. La parte principal de la instrucción que se indica está bajo la forma de:

- Diga todo lo que piensa sobre.
- Manténgase hablando.
- Expresa todo lo que le pasa por la cabeza.
- Diga lo que escucha de su “voz interior”.

O como instrucciones complementarias:

- No planifique lo que va a decir o pensar.
- Siga pensando.
- No trate de explicar sus pensamientos.

Como se ha indicado, los protocolos verbales son registros orales del pensamiento cuando los sujetos piensan en voz alta durante o inmediatamente después de completar una tarea. Sin embargo hay que precisar que no son revelaciones directas de los procesos de pensamiento, sino la representación de un subconjunto de la información atendida en la memoria a corto plazo. Los procesos cognitivos, entonces, no se encuentran directamente en los protocolos, sino que tienen que ser deducidos a partir de transcripciones de los mismos.

3.5 Análisis y procesamiento de la información

Los informes orales emitidos por los diseñadores se procesan con las inferencias del investigador desde un formato de tipo texto. Se parte de un esquema de codificación basado en categorías pertenecientes al modelo de procesos cognitivos teóricamente fundamentado y válido para la actividad (Jin & Chusilp, 2006). Se estudian las verbalizaciones transcritas y segmentadas a fin de extraer los datos y relaciones que conformaran la caracterización y teorización del evento en estudio.

Se trata de construir inferencias válidas a partir de la verbalización transcrita, respecto de quienes produjeron el contenido del texto. Con este enfoque se busca puntualmente identificar procesos, revelar estrategias de representación y describir el comportamiento de los procesos asociados al razonamiento de información de diseño con herramientas digitales para el diseño.

3.5.1 Transcripción de la verbalización

La transcripción según Ericsson y Simon (1993) es la fase inicial de preparación de la data verbal para el análisis de protocolo. Básicamente, consiste en convertir los informes orales en documentos escritos. Los transcriptores cualitativos tratan de escribir y capturar en detalle la actividad de pensar en voz alta. En esta tarea se trata de incluir en la transcripción expresiones no verbales que son útiles como recursos interpretativos en el análisis de informes. Se debe además evitar excluir de la transcripción algunas características de la producción hablada como por ejemplo falsos comienzos, ignorar las pausas o el hecho de hablar pausado, que pueden indicar

exigencia de procesamiento y compromete las inferencias del investigador. Los marcadores del discurso proporcionan una valiosa información sobre el procesamiento cognitivo y sirven como indicadores de procesos o claves para la contextualización (Gumperz, 1992).

Una vez transcritos los protocolos se sugiere la revisión por parte de los participantes y de un grupo de otros investigadores para re-escuchar los informes, revisar las transcripciones y corroborar la fidelidad de los mismos junto con la fiabilidad de los datos (Ericsson & Simon, 1993).

3.5.2 Segmentación

Antes de la codificación del protocolo se procede en primer lugar a segmentar el texto transcrito. Cada segmento se debe corresponder, idealmente, con una oración gramatical que describa una acción o un proceso. Sin embargo, bajo las condiciones normales del habla, las declaraciones a menudo son frases breves o cortas o incluso palabras individuales que expresan acciones, procesos, conceptos o ideas. En el procedimiento de segmentación, Ericsson & Simon (1993) siguen un modelo de procesamiento de información y una señal apropiada para la segmentación son las pausas, la entonación, los silencios, así como otros marcadores sintácticos. Otros autores que han investigado protocolos de diseño bajo el modelo orientado al contenido la regla se basan en la separación de ideas, la cual pone énfasis en el contenido de la verbalización.

En este estudio se adopta para la segmentación el esquema con base en las dos posturas anteriores sumado a las acciones indicadoras del proceso de conceptualización dado por el modelo de Jin y Chuslip (2006) que se sintetizan en la Cuadro 4 y Figura 5 del capítulo anterior. La segmentación en este estudio se lleva de manera tal que un cambio en la intención y en el contenido de los pensamientos o acciones asociados al proceso de diseño conceptual será el comienzo de un nuevo segmento.

Una vez segmentado el texto transcrito se procede a examinarlo, segmento por segmento, con un esquema de codificación basado en categorías de acción. Como se ha referido, la propuesta orientada al contenido que goza de mayor reconocimiento en el ámbito de la investigación del diseño es la escala de categorías de Suwa y Tversky (1997). No obstante este esquema de categorías mencionado fue construido usando lápiz y papel como herramientas de mediación del diseño, por ello, para los fines de este estudio, se ajusta con los hallazgos del

trabajo de Chen (2001). Este procedimiento de segmentación y posterior estudio se ilustra en la Figura 22.

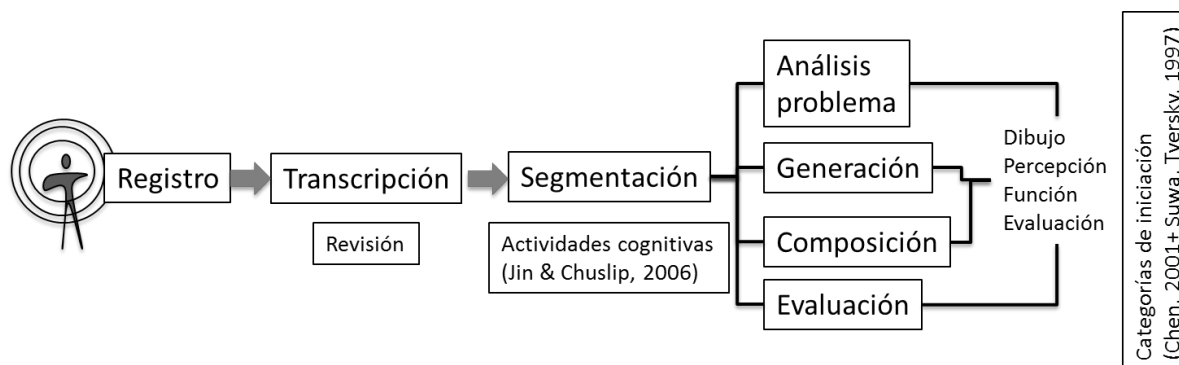


Figura 22: Procesamiento de información de protocolos

La escala de Suwa y Tversky clasifica el contenido de la información que almacenan los diseñadores mientras observan o piensan y abarca información visual y no visual. La primera refiere a los elementos representados y las relaciones espaciales, y la segunda a funciones y conocimientos. La información visual en los elementos y sus relaciones hace referencia al lugar y espacio de dónde proviene, diferenciando la visión de la cognición espacial. Por lo tanto, la categoría de elementos representados involucra no sólo pruebas de que los diseñadores invocaron los elementos, sino también que percibían funciones viso-espaciales de los mismos.

3.5.3 Categorías de iniciación

Suwa y Tversky (1996; 1997) clasifican el contenido de lo que ven, atienden y piensan los diseñadores en cuatro categorías de información. Ya fueron referidas en el capítulo anterior, sin embargo las retomamos en este aparte para conceptualizarlas e incorporarlas en el diseño de estudio de protocolos. Las acciones son físicas, perceptivas, funcionales y conceptuales. Las dos primeras representan la información visual, mientras que las dos últimas la no visual. Una característica importante que originó esta clasificación es que se observaron dependencias inherentes entre fragmentos de información pertenecientes a diferentes categorías. Por ejemplo, los pensamientos funcionales son estimulados y sugeridos por la atención que se presta a la información visual del dibujo. También es el caso de la evaluación de la relación espacial entre dos regiones en un boceto y la dependencia demostrada por la inspección física de la representación de cada región. Dependencias de este tipo son la clave para entender cómo los

diseñadores perciben la información viso-espacial de sus bocetos y cómo la utilizan para explorar cuestiones funcionales no visuales a través de las estrategias de dibujo.

A la primera categoría, Suwa y Tvesky, la denominan física y se refiere a las acciones que están directamente relacionadas con las labores de representación. Se compone de tres acciones: construir representaciones en el entorno de dibujo, tales como diagramas, símbolos, anotaciones, notas y frases; mover un lápiz o hacer gestos que no terminen en representaciones, prestar atención a la existencia de representaciones previamente dibujadas.

La segunda categoría, percepción, la refieren como las acciones de percibir las características visuales y espaciales de las representaciones, tales como la forma o el tamaño de elementos representados, así como las relaciones espaciales entre ellos. La tercera categoría, funcional, abarca a las acciones del pensamiento sobre cuestiones funcionales no visuales o conceptos abstractos con los que el diseñador asocia representaciones físicas o sus características perceptivas, como por ejemplo la relación espacial entre dos espacios.

La cuarta categoría, evaluativa, incluye los aspectos que tienen que ver con la información visual que es sugerida por representaciones físicas o características viso-espaciales de elementos. Y se hace referencia a ella de tres formas: a) evaluación el valor estético de las decisiones de diseño realizadas por acciones físicas o perceptuales, b) evaluar/resolver conflictos, y c) evaluar/resolver cuestiones emergentes relacionadas con el diseño.

Las cuatro categorías de Suwa y Tversky (1997) y la adaptación del estudio de Chen (2001) se tomaron como referencia para construir el conjunto de categorías de control que se usaran para analizar la primera iteración de lazo interno LI, o del sujeto individualmente. Este esquema de acciones y categorías se especifica en la Cuadro 5, y con el cual se analiza en principio tres niveles de acción asociados a la cognición de cada segmento. El nivel sensorial se corresponde a las acciones operativas, el nivel perceptual a las perceptivas, el nivel semántico en acciones funcionales y conceptuales, dependiendo de si tiene o no la competencia en las acciones físicas, y por último el evaluativo que mide acciones relacionadas con la evaluación de decisiones de diseño. Los códigos fijados en dicha Tabla se establecieron *a priori*, en función de la descripción de las acciones cognitivas teóricas, y por requerimiento del método de Ericsson y Simon (1993).

Cuadro 5
Categorías de iniciación y esquema de codificación

CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
ACCIONES DIBUJO	Dibujar	DI	Realizar nuevas. Dibujo de líneas, puntos, símbolos, paredes, componentes, etc.
		Ds	Representar un símbolo que indique relación
	Revisar	Rp	Escribir palabras para describir pensamientos
		Rf	Revisar forma, tamaño o textura
	Redibujar	Rb	Borrar
		Rrd	Redibujar
		Rd	Representar descripción de objeto en espacio
ACCIONES PERCEPTUALES	Atender características	Anr	Atender características de nueva representación
		Are	Atender nuevas características de representación existente
	Relacionar	Re	Crear o atender relaciones espaciales entre dos componentes espaciales o áreas
		Ret	Crear o atender relaciones espaciales entre presente y pasado
		Ruc	Atender la ubicación de un objeto en el espacio de un componente
		Ro	Descubrir relaciones organizacionales entre objetos, espacios
	Tácticas	TAs	Imponer el significado antes de describir las relaciones
		TAss	Sentimiento acerca del espacio
		TAe	Enfatizar características acerca del espacio
ACCIONES FUNCIONALES	Establecer	Ef	Implementar una función previamente explorada o pensada creando una nueva representación, característica o relación
		Enc	Asociar una nueva característica o relación con funciones que fueron pensadas con anterioridad o descubiertas.
		Er-i	Re-interpretación
	Pensar	EpF	Permanencia de una función
		Pfi	Pensamiento de la función independiente de la representación
		Prf	Recuerdo de una función
		Pdf	Descripción de una nueva función
ACCIONES EVALUATIVAS	Acciones cognitivas	ACj	Hacer juicios sobre una función
		ACrc	Generar solución funcional/resolver conflictos
		ACc	Cuestionar/mencionar cuestiones de diseño emergente/conflictos

Nota: Categorías con base en Suwa & Tversky (1997) y Chen (2001).

La Cuadro 5 contiene un resumen descriptivo de las categorías que se utilizarán para el primer lazo de análisis (Li). Cada categoría se divide en sub-categorías y refieren acciones específicas de comportamiento cognitivo asociado a la representación en el proceso de diseño (Suwa & Tversky, 1997; Suwa, Gero, & Purcell, 1998a; 1998b).

Las categorías se describen en los terminos de Goldschmidt (1991): “ver cómo” y “ver qué”. La secuencia de movimientos entre estos dos modos de razonamiento ocurre cuando el diseñador usa la argumentación figurativa mientras dibuje y cuando anticipa argumentos no figurativos que se refieren a la entidad o parte del objeto que esta diseñando. Por ejemplo, en la categoría acciones dibujo existen tareas cognitivas comunes para el dibujo digital y manual: dibujar, revisar y transformar. Dibujar, puede ser realizar dibujos con expresiones geométricas (líneas, puntos) o representar relaciones con simbolos, por ellos se codifican las tareas separadamente con DI (dibujo con líneas) y DS (dibujo con simbolos).

Junto a los códigos se describe resumidamente cada acción que serán ampliadas o nutridas con la observación durante la investigación con el protocolo de informe oral y gráfico.

3.6 Método de la Comparación Constante

Este método propone realizar simultáneamente procesos de codificación y análisis. Se trata de ir combinando en el análisis los datos cualitativos, los conceptos, las categorías, y las propiedades del evento estudiado, teniendo en cuenta la posibilidad latente del surgimiento de nuevas categorías con sus propiedades las cuales deben ser incorporadas en el proceso de análisis siguiente. Este método ofrece la posibilidad de examinar una gran variedad de datos, gracias a que cada uno de los *incidentes* debe ser comparado con otro o comparado con las propiedades de una categoría.

Las categorías de iniciación propuestas en el aparte 3.5.3 buscan cumplir con los requerimientos para el análisis de protocolos de diseño y resolución de problemas propuesto por Ericsson y Simon (1993). Sin embargo, estas categorías fueron construidas sobre la base del diseño con representaciones tradicionales (Suwa & Tversky, 1997) y evaluadas con representaciones digitales en un ensayo comparativo manual-digital (Chen, 2001). Las iteraciones siguientes están dirigidas a descubrir la singularidad del diseño con representaciones digitales más estructuradas, por lo que se esperan nuevas categorías y variaciones en las categorías de control.

Glaser y Straus (1967) establecieron cuatro etapas en todo el proceso de la comparación constante: la primera, comparar incidentes aplicables a cada categoría; la segunda, integrar categorías y sus propiedades; la tercera, delimitar la teoría y la cuarta, escribir la teoría.

Comparar incidentes aplicables a cada categoría se refiere a que el investigador comienza por codificar cada incidente dentro de tantas categorías de análisis como sea posible, sea que surjan categorías o sea que los datos emerjan y encajen en categorías existentes. La codificación puede consistir en anotar categorías o suponer categorías y mientras se codifica un incidente para una categoría, por lo que debe compararse con incidentes previos en el mismo y en diferentes grupos codificados de la misma categoría.

La comparación constante de los incidentes comienza a generar rápidamente propiedades teóricas de la categoría: rango de tipos, sus dimensiones, las condiciones bajo las cuales éstas son más pronunciadas o minimizadas, sus mayores consecuencias, sus relaciones con otras categorías y propiedades. Cuando las categorías y sus propiedades emergen, se descubre que hay unas que se han construido y otras han sido abstraídas de la situación de investigación.

Seguidamente el método conduce a integrar categorías y sus propiedades. Este es un proceso que a primera vista puede ser sencillo, pero hay que considerar que cuando la codificación es continua, las unidades de comparación constante cambian. Por ejemplo, cuando la comparación es de incidente a incidente y cuando es de incidentes con propiedades de una categoría. De aquí puede inferirse que es un método que promueve la integración de categorías y propiedades, así como de relaciones, por lo que se piensa que su resultado es la formación de grupos de información conjugados. Esta característica del método favorece el estudio de relaciones y asociaciones independientemente del orden de ocurrencia y continuidad de eventos y categorías en el proceso analizado. Razón por la cual es consistente el diseño planteado en la Figura 22 y permite analizar procesos cognitivos de la conceptualización y acciones de representación digital asociados a ellos.

A medida que la comparación se va desarrollando los mismos elementos comenzaran a delimitarse entre sí y esta delimitación ocurrirá en dos niveles: en el nivel de la teoría y en el de las categorías. Primero, la teoría se va consolidando, las alteraciones van disminuyendo y las modificaciones subsecuentes tendrán la función de clarificar la lógica, extraer propiedades no relevantes e integrar detalles no elaborados en el esquema principal de categorías.

En el segundo nivel se examina la saturación teórica. Aquí se consideraran los incidentes no registrados, olvidados, en la definición de una categoría; ya sea porque la categoría estuviera saturada o porque aquel incidente indicara una nueva propiedad de la categoría. Si el incidente

recordado genera una nueva categoría, ambos, incidentes y categoría pueden ser incluidos en la teoría.

Finalmente, de acuerdo con las dos consideraciones anteriores, el universo de datos en la aplicación del método de comparación constante viene dado por la reducción de la teoría y la delimitación y saturación de categorías. Por lo tanto, escribir la teoría sucede cuando se está convencido del marco de análisis porque forma una exposición razonable de los temas estudiados y que está expresada en forma tal que otros yendo al mismo campo podrán usarla.

3.7 Estudio de protocolos de diseño

El estudio consiste en solicitar a estudiantes de arquitectura que resuelvan un problema de diseño, limitándose a la fase conceptual, con apoyo de un programa digital y luego verbalizar la tarea.

La tarea de diseño digital se registra utilizando un software que captura la actividad en pantalla, *Cam Studio*, y lo almacena en archivos de video tipo avi. Esto con el fin de usarlos como apoyo a la memoria de trabajo en los informes retrospectivos. Los registros, tanto verbal como de video, se llevan a cabo en un ambiente familiar para los estudiantes, donde dicen sentirse cómodos y además no hay riesgo de interrupción. Luego de terminada la tarea de diseño, se solicita un informe oral retrospectivo de los procesos involucrados en la tarea y en su representación.

3.7.1 La tarea

En la primera parte del estudio, como ya mencionamos, se asigna al participante una tarea de diseño circunscrita en la fase conceptual. Básicamente, se le suministra información de requerimientos y condicionantes de un problema de diseño, un diagrama de contorno del terreno o área disponible de construcción y una explicación detallada del objeto a diseñar. Esta última es un intercambio de información estratégica sobre sub-objetivos, aspectos climáticos, cualidades del paisaje o posibilidades de la topografía.

En el objetivo general del ejercicio se informa claramente su nivel de desarrollo. El cual debe representar la idea inicial de un proyecto, es decir, un modelo conceptual de arquitectura en forma y función que contenga elementos suficientes para comprender, de manera adecuada, la idea propuesta de acuerdo con la demanda.

Para el diseño del programa de la tarea se tomaron en cuenta condiciones muy específicas de los problemas arquitectónicos como el uso, número de personas y lugar. El número de personas indirectamente indica la escala del proyecto y a su vez la escala define relaciones de proporción entre objetos, espacios, entorno y personas. La precisión del lugar denota la consideración de temas como el clima y el entorno natural y construido. Asimismo, en el programa se hace referencia al rango de edad del usuario que determina una posible caracterización del espacio a partir de sus potenciales usos y vivencias, el estrato socio-económico y la actividad laboral.

En el tipo, se hace énfasis sobre los aspectos funcionales, uso y demanda de áreas. Los usos del espacio se solicitaron en términos de necesidades a satisfacer, por ejemplo, permanecer, dormir, comer, aseo personal, almacenar, trabajar; todo dentro de una idea convencional de funciones propias de los tipos de espacios para habitar.

Dos determinantes se incorporaron como elementos asociados al lugar: las características ambientales y la normativa. Las primeras establecen las condiciones geográficas de emplazamiento, en términos de calidad ambiental del entorno mediante su ubicación, clima, temperatura, paisaje, vegetación y topografía. Se manejan posibles valores implícitos para quien conoce y evoca adecuadamente el entorno con calidades muy singulares como el viento, la temperatura baja, la niebla, la incidencia del sol, la humedad relativa, las cualidades especiales de topografía, entre otras; es decir, criterios para tomar decisiones de diseño en relación con el confort ambiental y la calidad de los espacios. Además, se precisaron datos sobre aislamientos y características de los linderos y aspectos funcionales como el sitio para el vehículo de acuerdo con las condiciones que en este sentido presentaría un caso real.

Además de los elementos del problema de diseño, se discutieron aspectos del manejo gráfico. Ya que el programa que se sugiere para el ejercicio posee una capacidad de lenguaje técnico de alto nivel y precisión solo se exigirá para la comunicación los valores por defecto del programa. No se exigen planos solo la justificación en detalle del desarrollo espacial que permitan evaluar el nivel de desarrollo de la capacidad para encontrar el mejor modo procesar las ideas y su pertinencia en la toma de decisiones proyectuales.

Por último, el tiempo estimado de ejecución para cada ejercicio lo determina en principio el estudiante considerando su conocimiento en el tema, sin embargo por parte del investigador no

se establece tiempo para el término de la tarea.

3.7.2 Sesiones de informes orales

De acuerdo con las directrices de Ericsson y Simon (1993) para llevar a cabo el registro de procesos cognitivos de diseño debe realizarse una sesión de entrenamiento para familiarizar al participante con el procedimiento; una sesión de diseño en la que el estudiante realiza la actividad asignada, mientras se registran sus acciones y movimientos; y una sesión de verbalización retrospectiva inmediatamente después de culminar la tarea, donde se registran en una grabación los procesos verbalizados.

A continuación se detallan los aspectos más importantes en relación con cada una de las sesiones:

a) Sesión de entrenamiento

Aun cuando las personas pudieran estar acostumbradas a la verbalización de sus pensamientos es necesario que para los estudios con protocolos de verbalización reciban cierto tipo de entrenamiento (Ericsson & Simon, 1993). En el diseño del estudio, por ejemplo, los investigadores conceden a los participantes una preparación inicial que les permita familiarizarse con la situación de investigación y acostumbrarse a equipos como grabadoras, cámaras o micrófonos, así como a recordar que deben mantenerse hablando una vez iniciada la verbalización.

Adicionalmente, los sujetos se deben acostumbrar a la presencia del investigador que también es parte del estudio, ya que este debe monitorizar la ejecución de la tarea, recordar la comunicación constante, sobre todo en pausas mayores a 15 segundos, o estimularla con preguntas como ¿qué estás pensando allí?, ¿qué estabas pensando? o ¿qué estabas pensando y cómo lo representaste?

Se hará énfasis en el hecho de no intentar explicar qué se está haciendo, es decir, cuando solo se quiera verbalizar secuencias de representación; esto con el fin de no desviar el interés en la verbalización retrospectiva.

Por último se evitará ejemplificar el procedimiento de verbalización, ya que esto puede llevar al participante a imitar el ejemplo y no reflejar su propia forma de pensamiento, de manera que la ejemplificación no se practicará en esta investigación.

b) Sesión de la tarea de diseño

Aquí el estudiante resuelve un problema de diseño arquitectónico y, mientras trabaja, piensa, dibuja o escribe y estas acciones se graban en audio y vídeo. Las de audio servirán para los protocolos escritos y las de vídeo para conducir la sesión de retrospectiva. En relación con la presencia del investigador, se estará lo suficientemente distante como para no intimidar al estudiante o interferir en la tarea, pero lo suficientemente cerca para tomar anotaciones sobre sus acciones o dar asistencia.

c) Sesión de verbalización retrospectiva

Se llevará a cabo inmediatamente después de la sesión de diseño, para que el participante pueda recuperar información de la memoria de trabajo. Esta sesión es individualizada y se desarrolla con la ayuda del registro de sus acciones capturadas con el programa *Cam Studio* durante la sesión previa. Se respetará el ritmo de explicación y habla propia de cada estudiante, pero se mantendrá la alerta de recordatorio cuando la pausa supere los 15 segundos. La sesión se grabará en audio para registrar al informe exacto del participante, que será transcrito.

3.8 Estudio Piloto: aproximación al registro y análisis de protocolos de diseño digital

El estudio se realizó con dos estudiantes del último año de la carrera de arquitectura de la Universidad de Los Andes. Los participantes desarrollaron tres tareas de diseño arquitectónico similares términos de contexto, complejidad funcional y alcance. Se les pide a los estudiantes utilizar como herramienta de expresión gráfica el programa *Revit Architecture* de Autodesk para el modelado digital. En total se registraron seis sesiones de diseño, tres por cada estudiante y el número de sesiones lo delimitó el análisis comparativo constante de Glaser y Straus (1967) asumido para el análisis.

Las tareas son similares en términos de complejidad, pero con diferencias programáticas. Esta decisión de variar en tema y programa es para prevenir la transferencia de experiencia de una tarea a otra y promover el uso de diferentes procesos cognitivos en el estudio. Los ejercicios de diseño se asignaron por igual a cada estudiante y abarcaron tres temas de diseño arquitectónico: una unidad habitacional modular tipo estudio, un módulo de aula preescolar y un estudio de retiro para un artista plástico.

Se solicita al estudiante que se circunscriba a la tarea de exploraciones formales y

funcionales según el uso espacial y condiciones definidas para cada problema. Se les pide solo utilizar las posibilidades gráficas y textuales de la herramienta digital y no se les suministra ninguna otra forma de expresión física manual.

3.8.1 Registro de datos

EL registro de los protocolos de diseño de cada participante sigue esquema procedimental de: presentación del estudio en general, discusión de expectativas por parte del participante, presentación del problema, análisis del contexto urbano y ambiental del problema, realización y presentación de la respuesta conceptual de diseño, informe retrospectivo, y por último informe reflexivo. Las entrevistas y ensayos correspondientes al entrenamiento para la verbalización de protocolos no fueron registrados, solo se almacenó el protocolo para estudio.

En la fase de presentación del estudio en general se les informa a los estudiantes acerca de la tesis de investigación, su objetivo general, la justificación y los criterios éticos relacionados con el uso de la información que habrán de suministrar. También se orienta al estudiante sobre la grabación de sus acciones de diseño y posterior verbalización de sus procesos de pensamiento y representación.

Seguido a este momento introductorio se comienza con la fase de la tarea presentando la demanda arquitectónica a resolver y especificando los requerimientos espaciales. Se discuten las condicionantes sociales, ambientales y urbanas, arquitectónicas y conceptuales como se muestra en la Cuadro 6. Cada ejercicio se desarrolló en días distintos sin patrón de sucesión por los motivos que se han explicado en el método de análisis comparativo constante.

Para el desarrollo del diseño conceptual a cada estudiante se le asigna un computador con el programa de arquitectura instalado y configurado. La tarea la realizan ambos estudiantes simultáneamente (Figura 23). Se les indica cómo sus acciones serán grabadas y antes de empezar con su trabajo de diseño deberán iniciar el programa *Cam Studio* para grabar todo lo que hagan en el programa de arquitectura. La duración de esta fase se limitó en términos del tiempo invertido para la concepción de ideas de diseño en formato digital y se ubicó en un rango de 45 a 60 minutos. Es decir, que las sesiones de la tarea terminaron cuando los participantes se declaraban estar satisfechos con el resultado.

Cuadro 6
Tareas de diseño

TAREA	1	2	3
Definición	Unidad habitacional modular tipo estudio	Módulo de aula preescolar	Estudio de retiro para artista plástico
Requerimientos espaciales	Dormir, comer, estar, aseo personal, servicios.	Trabajar, jugar, dormir, almacenar.	Descanso/dormir, pintar, cocinar, almacenar, aseo.
Condicionantes sociales	Estrato C.	---	Estrato B
Condicionantes Ambientales y urbanas	Ciudad Mérida, zona norte. Norte arquitectónico=norte coordinado.	Ciudad Mérida, zona norte. Norte arquitectónico=norte coordinado.	Ciudad Mérida, zona norte. Norte arquitectónico=norte coordinado. Terreno boscoso, área construible sin pendiente, humedad media-alta.
Condicionantes Arquitectónicas	Alcaldía municipio Libertador. Área máxima= 60 m ² . Altura máxima 4 pisos (2.60m c/piso). Repetición 3 módulos por piso.	Alcaldía municipio Libertador. Repetición 6 módulos.	Alcaldía municipio Libertador.
Condicionantes conceptuales	---	Experiencia espacial: dinamismo, naturaleza, libertad, flexibilidad, seguridad, lúdico, privado, luz.	Forma orgánica techo, respeto al terreno, integración interior exterior, espacialidad evolutiva.

Al término de la tarea los estudiantes presentaron sus diseños individualmente y luego se les solicitó generar un informe oral de lo habían hecho, también individualmente. Para registrar este informe oral retrospectivo se utilizó una grabadora de voz digital, y así registrar los pensamientos externalizados. Con un archivo de video, en el que quedaron registrados todos los movimientos de dibujo y escritura en el programa, se dio soporte a los recuerdos y a la memoria de trabajo. El estudiante iba narrando y recordando lo que había hecho y cómo lo había representado, en función de lo que veía en el video de la pantalla del computador y recordaba.



Figura 23: Instante de la tarea.

Cuando el estudiante hacía pausas de más de 15 segundos se le hacía un llamado para que recordara decir lo que estaba pensando en ese momento durante el trabajo y cómo lo había representado.

Otro tipo de informe que se registró fue las diferentes reflexiones sobre impresiones generales de la realidad del área informática en la escuela de arquitectura, las expectativas sobre el uso temprano de programas inteligentes para la concepción arquitectónica y otros cuestionamientos al currículo de la carrera. Aquí aparece la discusión sobre la brecha digital y la distancia que separa a nuestra escuela de los países desarrollados sobre todo en conocimiento y destrezas digitales.

Este procedimiento se repitió tres veces para cada estudiante. El ritmo de las sesiones se iba determinando con las variaciones en las definiciones, propiedades y categorías de análisis resultantes de la sesión anterior. Resultados y conclusiones que serán explicadas en el siguiente aparte.

3.8.2 Resultados y discusión

Cada protocolo de diseño se compone de un informe oral y un registro en video de acciones de dibujo digital. Antes del análisis se transcriben las grabaciones de la verbalización

retrospectiva y se segmentan según las actividades cognitivas de diseño conceptual definidas por Jin y Chusilp (2006). A cada segmento se le aplica un análisis con las categorías de acción cognitiva asociadas a la representación digital y definidas en el **Cuadro 6**. Estas transcripciones se complementan, al margen del texto transcrito, acotando los movimientos de dibujo digital no verbalizados y registrados en el video de cada tarea.

Como se ha mencionado el primer análisis se corresponde con el ejercicio de la unidad habitacional tipo estudio y es el que utilizaremos para ilustrar la implementación del método y sus resultados preliminares. En este lazo se consideraron las categorías de control diseñadas en base a Suwa y Tversky (1997) y otras de Chen (2001). En el Cuadro 7 se muestra la implementación del cruce de actividades cognitivas del proceso conceptual con acciones cognitivas asociadas a la representación digital. Se aprecia que en el segmento número 4 prevalecen las acciones como se previeron en las categorías de control, pero en los segmentos número 17 y 18 aparecen propiedades no referidas en el cuadro de categorías de control. Por una parte, en el segmento 17 se ejecuta la acción mover con el objetivo de refinar una idea, acción de representación que no está descrita en las categorías de control.

Por otra parte en el segmento 18, surge una propiedad que nombramos en principio *descarga de computo perceptual*, por estar asociada a los mecanismos perceptivos de apreciación de forma y tamaño, y donde el estudiante delega a las prestaciones del programa un control de competencia perceptiva visual. Esta acción seguirá siendo observada para todo el corpus de la investigación ya que se muestra para los dos estudiantes analizados para esta prueba.

Como consecuencia de esta observación el sistema de codificación de control se rectificó en la segunda iteración (L2) del estudiante E1, por consiguiente en las siguientes iteraciones Li se incluyó una nueva propiedad que llamamos *descarga perceptual* dentro de la categoría perceptiva. Esta acción de descarga perceptual puede representar, en relación a las acciones perceptivas, una transformación de los mecanismos perceptivos heredados de la representación manual, pero que ahora se endosan a procedimientos operativos de descarga de cómputo. En la categoría operativa se programa incluir acciones cognitivas traspasadas a la operatividad del medio digital.

En este reporte del estudio piloto solo se hace referencia al lazo L1 de E1, pero hay que mencionar que la descarga perceptual se repitió en el subsiguiente Li de E1, así como en los tres

Li del segundo participante estudiado (E2).

Cuadro 7

Registro verbal, actividad y acción cognitiva

NUMERO DE SEGMENTO	VERBALIZACIÓN	ACTIVIDAD	ACCION COGNITIVA
4	Después que ajusté cada una de las líneas fue que decidí hacer, este, decidí hacer como un módulo, de 20 por 20, que más o menos la escala, lo que más o menos mide un bloque convencional, como para tener una referencia de dimensión en la cual pudiera trabajar la edificación	Generar	Dibujar (DI) Percibir (Anr)
17	Otra de las cosas que pensé, fue bueno, quizás con esos ángulos que tenía. Bueno ahí trate de modificar las dimensiones para cada uno de los apartamentos quedara con el mismo esquema de los 50 m ² . En este caso lo que hice fue mover cada una de las paredes 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.	Componer Evaluar	Percibir (Anr) Dibujar (Rf) Mover (refinamiento)* Evaluar
18	Y bueno a cada una le coloque una herramienta de, una etiqueta de área para poder saber si todos estaban en las mismas dimensiones.	Dibujar/revisar Evaluar	Percibir (Are) Descarga de Cómputo* Evaluar (Acc)

Nota: *Nueva propiedad

De acuerdo con lo observado, el estudio piloto aporta indicios para nuevas categorías y definiciones relacionadas con la percepción y la operatividad del medio. De los datos informados en la Cuadro 7 se puede inferir, además, que existen diferencias conceptuales entre categorías cognitivas asociadas a los medios digitales en correspondencia a los convencionales, a pesar de hacer referencia al mismo orden cognitivo. Por ejemplo, la eficacia visual para la evaluación, que tiene su base en la percepción y en el razonamiento visual, de la herramienta digital ofrece a los

estudiantes formas concretas de estimación de propiedades visuales del objeto de diseño. Esta automatización libera espacio en la memoria de trabajo, faltaría dilucidar si el estudiante invierte ese espacio liberado en alguna forma de retroalimentación visual inmediata.

El estudio piloto arroja que adoptar la teoría de Jin y Chusilp (2006) contextualizar las acciones de representaciones digitales y procesos cognitivos a la fase conceptual fue favorable. Se observa, preliminarmente, que la relación entre los procesos cognitivos y las acciones de representación asociadas a ellos están definidas por la naturaleza de la mediación. Las herramientas digitales estructuradas para la arquitectura pueden influir en los modos de procesamiento de información de diseño en la fase conceptual, sacando los procesos de conceptualización del terreno abstracto y llevándolos a interactuar con la concreción de lo computacional.

La forma de retroalimentación que ofrece el sistema estructurado permite el pensamiento paralelo, ubicando lo conceptual dentro los términos constructivos y operativos del objeto arquitectónico real. Esto estimula a los estudiantes a evaluar posibilidades y explorar nuevos tipos y alternativas arquitectónicas. La ventaja que puede encontrar un estudiante de arquitectura en el proceso mencionado es la de formarse en un pensamiento más cercano al de un diseñador experto.

Los modos de pensamiento reflejados en los primeros datos revelan que los estudiantes, a pesar de sentirse cómodos dentro del entorno digital, luchan con los procesos aprendidos de la escuela tradicional y buscan comprenderlos en el nuevo entorno digital. En el siguiente párrafo se transcriben las palabras del estudiante E1 a propósito de esta última reflexión:

Dibuje el baño de manera tradicional como se hace en *Autocad* o como hemos hecho toda la vida. Dibujando la cruz con el centropiso, y ahí fue cuando me quedé pensado, pero es que *Revit* no tiene una herramienta de cortar en base a ese círculo como la tiene *Autocad*?

Este intento de digitalización del dibujo tradicional puede significar que los programas de CAD ya son parte del dibujo tradicional y es solo porque son únicamente representaciones de la geometría. En este estudio se avanza un poco más en la relación de las formas de pensamiento y el formato digital de expresión, considerando la aplicación de sistemas más concretos e inteligentes que se proyectan en el futuro cercano de la gráfica en el diseño arquitectónico.

Para finalizar, se considera la expresión manual, refiriéndonos al dibujo con lápiz y papel, como parte de la fisiología de un diseñador, no va a desaparecer por la adopción de nuevos instrumentos, sino por el contrario se cree que se van a fusionar con los métodos y formas de representación del entorno digital.

Capítulo 4. Resultados

Protocolos retrospectivos: espacios, procesos y acciones cognitivas

En este Capítulo se presenta el resultado de la exploración de los procesos cognitivos en la fase de ideación del diseño digital con análisis de protocolos retrospectivos.

Explorar el proceso de diseño digital como una forma de razonamiento visual planteó una perspectiva de relaciones dinámicas entre lo sensorial, perceptual y semántico durante las fases tempranas del diseño asistido con representaciones digitales. Desde las primeras observaciones se aprecia una fuerte conexión entre los dibujos y desarrollo del pensamiento. La forma iterativa de los movimientos revelaron el papel de las operaciones de transformación en la evolución de las ideas, es decir, la influencia de las transformaciones de dibujo en las transformaciones de diseño. Los resultados integran un producto cargado de información cognitiva, derivado de un diseño metodológico que, como una especie de tomógrafo, dio acceso a cada capa interior de la actividad cognitiva en los estudiantes en su fase de ideación.

El diseño conceptual, o fase de ideación, se produce cuando el estudiante intenta, inicialmente, comprender un problema de diseño y, posteriormente establecer una situación cognitiva que le permita resolverlo. Sin embargo, el proceso de razonamiento ocurre por la mediación de representaciones, mentales o físicas, que permiten visualizar los resultados o predecir las consecuencias en la toma de decisiones. Representar, por consiguiente, es un tipo de acción dialógica que se establece para gestionar transformaciones de pensamiento, a fin de reconocer conflictos y posibilidades, revisar y refinar ideas, generar conceptos o, sencillamente, pasar de lo invisible a lo visible en una situación de diseño.

Por lo tanto, la herramienta en este sistema juega un papel fundamental y las nuevas propuestas de representación y mediación digital, desafían las funciones del pensamiento por ser más estructuradas y orientadas al conocimiento específico. Al compás de esta mediación instrumental se dilatan los límites para la generación, almacenamiento y gestión de la información del diseñador que sumados a la virtualidad, como potencialidad inherente del medio, habilita de simulación cualquier acción de diseño. Es, en resumen, un relevo instrumental que “indudablemente conduce de manera diferente la respuesta cognitiva” (Oxman R. , 2007, p. 101).

El propósito de esta investigación surge de observar directamente la problemática del relevo instrumental en aulas de clase. Así pues, se considera necesario analizar el comportamiento de los procesos cognitivos ante el nuevo orden instrumental-tecnológico, e intentar develar su potencial contribución en el desarrollo intelectual de un estudiante de arquitectura.

El método más utilizado en la comunidad científica para examinar el aspecto sensorial y la información viso-espacial del proceso de diseño, como un tipo de resolución de problemas, es el análisis de protocolos (Ericsson & Simon, 1980). En la presente investigación se adoptó este método en un diseño metodológico basado en iteraciones de comparación constante de Glaser y Strauss (1967). Esta postura metodológica fue especialmente útil, ya que la teoría del diseño no explica la cognición mediada por la representación digital.

El análisis de protocolos como método de observación indirecta no reflejó abiertamente los procesos cognitivos, por lo que la información registrada debió pasarse a un formato de tipo texto para ser analizada. El proceso de análisis de los informes transcritos se llevó a cabo con la ayuda de categorías de análisis y para nuestro estudio fueron preestablecidas las de Suwa y Tversky (1997), para iniciar la exploración de los procesos. En la medida que avanzó la exploración se “ajustaron” las categorías iniciales hasta que, luego de saturar el proceso iterativo, se alcanzó la definición del sistema categorial que aproxima el comportamiento cognitivo del diseño digital en estudiantes de arquitectura.

El capítulo se divide en tres partes con aportes significativos en cada una. En la primera, se presenta el resultado de la experiencia con protocolos retrospectivos de diseño, en la segunda, se define y discute el sistema categorial emergente de los protocolos y, en la tercera, se muestra el razonamiento de diseño en *espacios cognitivos de registro definido*.

Los informes retrospectivos y sus correspondientes *protocolos de actuación* constituyeron la principal fuente de datos. Los informes orales se registraron en un formato de audio, y la actuación en uno de video, por captura de pantalla. Esta forma de registro de las acciones de dibujo significó un recurso extraordinario para asistir a la memoria de corto plazo durante la retrospección.

El contenido de cada informe transcrito se estudió a partir de una estructura de segmentación fundamentada en actividades cognitivas del proceso de ideación de Jin y Chuslip

(2006) y cada segmento, a su vez, fue analizado con el esquema de categorías de acción cognitiva asociada a la representación digital. El resultado de este procedimiento es un sistema categorial formado por seis clases pertenecientes a los tres órdenes de procesamiento cognitivo humano: sensorial, perceptivo y semántico.

La definición de este sistema comenzó con las categorías de iniciación, provenientes de la teoría (Suwa & Tversky, 1997), y se desarrolló por el análisis de contenidos de información cognitiva asociada a la representación. En esta parte del capítulo, se presentan cuadros comparativos que reflejan la evolución teórica para el caso de acciones de dibujo y procesos perceptivos, funcionales, evaluativos. Se aportan nuevos grupos emergentes denominados puntualmente de transformación recursiva y visualización.

La construcción de este entorno teórico permitió describir el comportamiento cognitivo de un estudiante de arquitectura para distintos problemas de diseño y comprender el interior de su razonamiento en unidades concretas de procesamiento aquí llamados espacios cognitivos de registro definido. En cada uno de estos espacios, precisados por actividades cognitivas de análisis del problema, generación de ideas, composición y evaluación, concurren una cantidad de procesos cognitivos que se superponen, desencadenan, yuxtaponen y subyacen unos dentro de otros. Es una dinámica rica, que produce un tipo de razonamiento visual caracterizado por esquemas cognitivos que relacionan fundamentalmente al dibujo con procesos de percepción, transformación recursiva y evaluación.

No se quiere anticipar en este capítulo una definición del comportamiento cognitivo, lo que aquí se presenta es la data cualitativa organizada, bruta, que será combinada y confrontada en el capítulo de discusión de resultados.

4.1 Protocolos retrospectivos de diseño

Para el registro y análisis de los protocolos de diseño se plantea una forma metodológica que combina el análisis de protocolos de informes orales de Ericsson y Simon (1980) y el análisis comparativo constante de Glaser y Strauss (1967).

Ambos métodos se explican detalladamente en el capítulo anterior, pero podemos resumir algunos detalles para contextualizar nuevamente el reporte de resultados. Para Ericsson y otros (2006) es posible instruir sujetos que puedan verbalizar sus pensamientos, de una manera que no

altere la secuencia y el contenido de aquellos elementos que median en la realización de una tarea y, por tanto, estas verbalizaciones reflejarían la información del razonamiento inmediato. La teoría y los modelos especificados por Ericsson y Simon (1993), especialmente los referidos a los informes orales como datos válidos para el estudio del razonamiento y observación de procesos cognitivos, han sido considerados en esta investigación. Al respecto, se tuvo especial cuidado en el análisis de la tarea, la generación de los informes y la sensibilidad del registro a factores externos que pudieran alterar la situación de investigación.

Las verbalizaciones retrospectivas de los procesos de pensamiento durante el diseño mediado por representaciones digitales estructuradas constituyen la principal fuente de datos acerca del comportamiento cognitivo. Los informes orales se tomaron en la misma sesión de diseño, propuesta para que los estudiantes resolvieran un problema de arquitectura dentro de los límites del diseño conceptual.

Sin embargo, para estos registros se tuvo en cuenta el hecho de que la memoria de trabajo tiene una capacidad limitada y la información que se almacena en ella puede desaparecer tan pronto como lleguen nuevos patrones de pensamiento. Por esa razón, la verbalización retrospectiva se hizo acompañar de los *protocolos de actuación* en formato de video. Los protocolos de actuación para Van Someren y otros (1994) representan “una de las pocas técnicas que dan acceso a los datos sobre el proceso de resolución de problemas” (pág. 16). Sin embargo, no se estaría exento de una recuperación selectiva de la información, en el criterio de una información acumulada, pero sin duda se alcanza a disminuir los efectos del límite de espacio en el mayor grado posible.

Para la retrospección, luego de que cada estudiante resolviera un problema de diseño se le pidió que contara cómo lo había resuelto y qué herramientas del programa digital había utilizado en la representación de cada uno. La resolución del problema fue grabada con un software de captura de pantalla y el archivo de video se reprodujo frente al estudiante en el momento de verbalizar sus pensamientos. La reproducción de sus movimientos pasaba por su vista a medida que iba hablando y la observación apoyó el recuerdo de sus acciones, argumentos y razonamientos. No obstante, la retrospección puede ser difícil si no se suministra el material adecuado que ayude al participante a recordar lo que hizo. En el caso de este estudio el formato del registro de video permitió que el estudiante revisara el proceso de resolución, hacia atrás o

hacia adelante, si le surgía algún recuerdo extemporáneo durante el curso normal de la reproducción. O, si fuera el caso detenerlo, si el estudiante requería de mayor tiempo para recordar.

Es común que los diseñadores no puedan explicar cómo resuelven un problema de diseño y mucho menos recordar el proceso o herramientas utilizadas para tal fin, por lo tanto, el registro de video, sin sonido, ayudó a reconstruir, con un aceptable nivel de fidelidad, cada uno de los eventos cognitivos que sucedieron durante la realización de su tarea. Podemos aseverar entonces que la memoria de trabajo estaba siendo asistida con un recurso conveniente para la recuperación de la información y las acciones realizadas.

En total, 24 registros forman los protocolos de diseño, 12 verbalizaciones y 12 protocolos de actuación, cuyo tiempo total efectivo es de 15 horas o 930 minutos y su distribución se puede observar en la Tabla 1. A estos tiempos se les suma el tiempo de los ensayos y entrenamientos previos al registro definitivo, que rondan la hora y hasta hora y media por estudiante. Los ensayos previos (sesión 3.8 del capítulo anterior) formaron parte del estudio, que apegado a reglas propuestas por Ericsson y Simon (1980), consiguió familiarizar a los participantes con la dinámica y el alcance de la investigación. Esta familiarización produjo más que conocimiento, sensibilizó al grupo de estudio y como consecuencia se consiguieron protocolos ricos en acciones, procesos y recuerdos.

El registro y transcripción de cada informe oral se nombró con un código de secuencia usando letras y números. Se empleó letra E para indicar al estudiante y la letra L el lazo de iteración. Entonces, el estudiante 1 que resolvió el problema 1, se codificó como E1-L1. Esta codificación permitió numerar con facilidad las verbalizaciones y su progresión en la construcción teórica en la estructura iterativa del análisis comparativo constante de Glaser y Strauss (1967).

Según Glaser y Strauss (1967) el universo de datos por la comparación constante se basa en la reducción de la teoría y en la delimitación y saturación de categorías. Resumiendo, lo expuesto en el Capítulo 3 acerca del diseño metodológico para registro y análisis comparativo constante de protocolos de diseño. Cuando las iteraciones se realizan para un mismo estudiante se llamará *lazo interno* (Li) y se llevan a cabo con el objeto de agotar las posibilidades producto de variaciones en estilos de diseño o tipos de problema. La saturación del proceso iterativo para

un mismo estudiante implicó tomar un nuevo registro en un estudiante diferente, repitiendo las mismas condiciones y heredando las categorías de los registros anteriores y así continuar en el análisis. Este proceso comparativo entre participantes se llamará *lazo externo* (Le), con el que se trata de abarcar las posibles diferencias en habilidades y estilos cognitivos por tipos de problemas.

Tabla 1

Tiempos de verbalización y protocolos de actuación

Estudiante	Tiempos por verbalización por tarea			Tiempos totales (h:m:s)
	L1*	L2*	L3*	
E1	1:00:09	00:39:47	00:33:30	1:13:17
E2	00:42:07	00:28:40	00:24:21	1:35:08
E3	00:40:11	00:42:41	1:30:06	2:52:58
E4	00:37:12	00:43:28	00:60:48	2:21:28
Tiempos de protocolos de actuación				
E1	00:58:24	1:00:59	1:44:47	3:44:10
E2	00:46:00	1:11:00	1:03:52	3:00:52
E3	00:55:06	1:41:40	1:28:27	4:05:13
E4	00:52:50	1:47:03	1:35:43	4:15:36
Tiempo total de protocolos				15:05:51

Nota: L1, L2, L3=lazos iterativos

Para el caso del presente estudio la saturación de categorías se comenzó a observar en la iteración E3-L2, es decir, al analizar el estudiante 3 habiendo resuelto el problema 2. No obstante, con tal observación no se dio término al análisis iterativo, sino que se prolongó con un tercer problema para el estudiante E3. El cuarto estudiante y sus 3 iteraciones permitieron verificar que ciertamente se estaba en presencia de una saturación de categorías y, por lo tanto, no hubo necesidad de nuevas iteraciones.

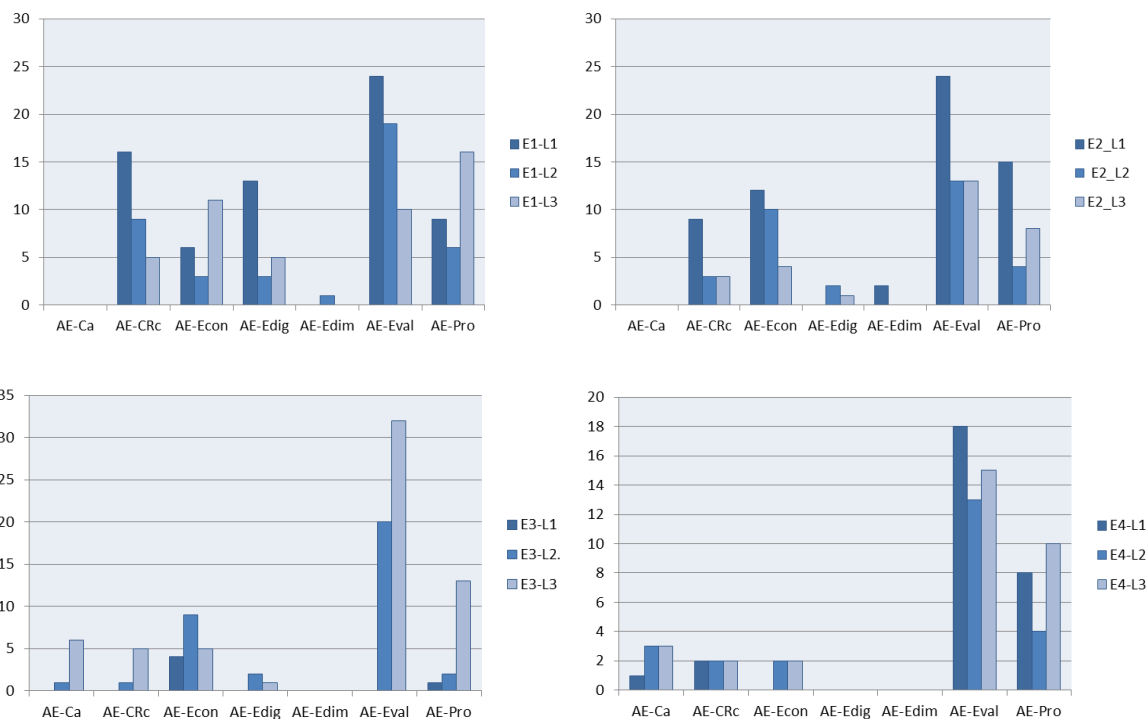


Figura 24: Iteraciones y categorías emergentes.

En la Figura 24 se ilustra lo explicado en el párrafo anterior con la categoría de evaluación por cómputo de áreas (AE-Ca). Esta categoría se refiere a procesos cognitivos de evaluación especialmente aquellos asociados a la valoración espacial por cómputo de áreas o dimensiones a través de herramientas de medición, mobiliario o componentes y el objetivo de esta es la toma de decisiones. Aparece en la iteración E3-L1 y se mantiene constante hasta por 6 iteraciones más, es decir, hasta la E4-L3. Si se observa detenidamente este evento se aprecia la particularidad de que los dos primeros estudiantes no hacían este tipo de evaluaciones, pero como se presentará en el capítulo de discusión de resultados ellos acudían a otras acciones cognitivas de evaluación con el mismo objetivo y todo esto tiene su explicación en el ámbito de los estilos de diseño.

El proceso de registro se inicia con el estudiante E1-L1 y su análisis con las categorías de iniciación, del primer lazo interno, contenidas en el Cuadro 4 del Capítulo 3. La comparación constante de los incidentes comienza a revelar rápidamente diferencias teóricas con las categorías de iniciación en cuanto a rango de tipos, dimensiones, condiciones bajo las cuales éstas son más pronunciadas o minimizadas, sus mayores consecuencias, sus relaciones con otras categorías y propiedades.

La emergencia de categorías es consecuencia de la situación de investigación, especialmente, porque los estudiantes revelaron con precisión los procesos cognitivos asociados a las propiedades del entorno digital. Es el caso de una categoría observada persistentemente y definida por acciones recursivas. En los informes se aprecia que los estudiantes aplican distintas herramientas de transformación para cambiar varias veces una misma entidad o conjunto de entidades con fines generativos o evaluativos.

Entre tantos casos de este tipo de recursividad podemos explicar con el segmento 73 del informe E1-L1, dicha acción recursiva de transformación:

En el momento pensé, también, que el espacio que tenía, como que me estaba sobresaliendo, de los 60m2, entonces, me reduje, me amplié, ay no, después lo miro y después veo si está bien lo cambio y ya. Lo pensé mucho, como que lo moví mucho y a la final, dije nada, después que lo termino, le pongo una etiqueta de áreas.

Se puede observar, en este episodio, que el estudiante realiza varios cambios de posición espacial de una misma entidad con fines evaluativos (*me estaba sobresaliendo, de los 60m2*), pero además, dentro de esta acción anidan otros procesos que acompañan la acción principal como los de tipo perceptivo (*después veo si está bien; a la final, dije nada, después que lo termino, le pongo una etiqueta de áreas*). Este esquema anidado puede ser a primera vista una consecuencia del diseño concebido para el análisis, pero también es cierto que en cada episodio de diseño concurren una la diversidad de acciones y procesos cognitivos interactúan y se relacionan entre sí. En este momento introduciremos lo que a continuación se va a discutir y tiene que ver con el comportamiento de los procesos cognitivos en términos de relaciones, dependencias o coexistencias, entre ellos durante un episodio de diseño.

Producto del análisis comparativo constante surge una nueva tabla de categorías en términos de acciones y procesos cognitivos. Se trata de las acciones de representación que inducen procesos cognitivos de generación de ideas o resolución. Entonces, aquí llamaremos acciones cognitivas a los movimientos de dibujo y a las transformaciones de representación; y los procesos cognitivos serán la resultante de dichas acciones.

Las nuevas categorías son consecuencia de la singularidad del medio y su mediación, y las categorías de iniciación, provenientes de la teoría, fueron redefinidas en concepto, dimensión y

rango. Este resultado es presentado en el siguiente conjunto de tablas comparativas, en las cuales es posible apreciar los cambios emergentes.

4.2 Sistema categorial, procesos cognitivos emergentes

El contenido de lo que ven, atienden y piensan los diseñadores fue organizado por Suwa y Tversky (1996; 1997) en categorías de información, la cuales, como se ha señalado, fueron tomadas como referencia para la construcción del sistema categorial en esta investigación. Los criterios de rango y tipo de categorías, igualmente considerados, estuvieron en función de elementos representados y sus características perceptivas, relaciones espaciales-funcionales y pensamiento acerca del conocimiento. Los dos primeros se relacionan con la información visual, mientras que los dos últimos son inherentemente no visuales.

Los protocolos de diseño aquí estudiados revelan que la banda de categorías de acciones visuales es más amplia, y en relación al tipo se observan más complejas. Estas últimas, se caracterizaron por la combinación de acciones visuales y no visuales en una misma acción cognitiva y es uno de los hallazgos más importantes del estudio. Se habla de la categoría emergente que llamaremos *transformación recursiva* y que se explicará detalladamente más adelante.

Un hecho importante en el reconocimiento de nuevas categorías es la relación de dependencia entre acciones cognitivas diferentes que desencadenan procesos también diferentes. En el Cuadro 8 se muestra el segmento 5 del informe E4-L2, donde el estudiante E4 realiza una actividad de composición, y en esa actividad las acciones de representación desencadenan procesos de inferencia, evaluación, concepción y visualización, pertenecientes a los órdenes cognitivos sensorial, perceptivo y semántico.

Aquí se observa que la atención a la relación espacial entre las dos funciones (baños y almacenamiento) se basa en el reconocimiento de la descripción física de cada área y la construcción de inferencias. Dependencias de este tipo serían claves para entender la percepción de la información viso-espacial en el diseño y cómo la representación contribuye a la exploración de aspectos funcionales, no visuales, durante la resolución del problema arquitectónico en el entorno digital.

Cuadro 8

E4-L2: acciones y procesos cognitivos anidados

Numero de segmento	Verbalización	Actividad	Procesos cognitivos
05	(1) Decidí colocar solamente dos baños porque como el número de alumnos era pequeño, no era tanto, pues no coloqué más sino que pensé que con dos era suficiente. (2) Entonces coloqué la tabiquería para los espacios internos, a su vez los baños de las niñas y los varones no los quería colocar juntos por razones de privacidad y de género, que desde pequeño creo que ya qué es incómodo mezclar niños con niñas. (3) entonces dividí los baños con un espacio que quizás sea el que puedan compartir los niños y niñas, qué era la parte de almacenamiento, que cuando...esa área fuera como que para dejar sus cosas, llegan dejan sus cosas, se cambian y tienen sus espacios divididos en la parte de sanitarios. (2) entonces coloqué la parte de almacenamiento como una especie de lockers. (5) Bueno en la parte de baños coloqué, bueno, ahí se ve un poco eso (vista 3d).	Componer	(1) inferencia (2) dibujo, atención evaluación (3) concepción esquema funcional, (5) visualización.

Del mismo modo las acciones de representación y percepción parecieran inseparables y se evidencia cuando los diseñadores al representar elementos perciben características de forma y tamaño, realizan inferencias o establecen significados. No obstante, las acciones perceptivas pueden tener fines de control visual, para descargar la atención hacia ciertas características de la composición.

Como se evidencia en el segmento 10, del informe E1-L1 y mostrado en el Cuadro 9, el estudiante realiza una actividad de generación de ideas donde las acciones de dibujo dominan el episodio de diseño. Se trata de la construcción reticular a partir de líneas guía que conducen el desarrollo de una idea modular para la repetición de los espacios. La retícula hace la función de control visual descarga acciones perceptivas de atención que en el análisis pudieran no aparecer, introduciendo para el sistema categorial el concepto de *descarga perceptiva*.

Cuadro 9
E1-L1: verbalización, actividad generación

Número de segmento	Verbalización	Actividad	Acción cognitiva
10	(1,2) Usé las líneas de modelo, porque las líneas de modelo se repiten en todos los niveles, entonces eso me ayuda a mantener la guía en todos los niveles. (3) Por eso entonces trabajé en base a esa línea, para hacer como una retícula, modular en todos los niveles. (3) Y en base a eso la giré a 45 para poder tener el giro inicial que quería para la edificación, en todos los niveles. Eh... al principio quería hacerlo con otro tipo de líneas, pero como no tenía las dimensiones con las que realmente quería trabajar me pareció que era más fácil tener unos ejes y después simplemente delimitar el espacio que iba a generar para proponer uno de los módulos de vivienda que estábamos realizando hoy.	Generar	(1) Evaluar, (2) Dibujar, (3) Descargar (perceptivamente). (3) Cambiar posición en el espacio.

El análisis comparativo constante permitió identificar y definir categorías complejas en torno a las acciones de visualización, descarga perceptiva y transformación recursiva. La visualización ha sido descrita en la literatura por trabajos como el de Bertoline y otros (1995) en términos de la capacidad de visualizar de imágenes mentalmente. Estos autores afirman además que la visualización proporciona un puente entre las ideas de diseño y su representación. Igualmente, Laseau (2000) afirma que la capacidad de dibujar está directamente relacionada con la capacidad de imaginar, mientras que la capacidad de imaginar se alimenta de nuevo en la capacidad de dibujar.

Estas definiciones generales dispusieron la atención hacia la visualización en los protocolos, que en definitiva se revelaron de dos maneras: una mental, relacionada con el trabajo de imaginar rasgos visibles de algo que no se tiene a la vista y otra simulada, que permite hacer visible, artificialmente, lo que no se puede ver a simple vista. En el Cuadro 10, se presentan dos segmentos de verbalización del estudiante E1, en los que se deja ver que en actividades de generar ideas y componer conceptos ocurren acciones de visualización y visibilización. En el primero el estudiante visualiza mentalmente detalles sobre un espacio central del preescolar (problema de diseño) y mientras lo concibe, además, expresa sensaciones acerca de dicho

espacio. En la acción de visibilizar usa la herramienta 3D para tener a la vista lo que no podía ver en una proyección plana. Por lo tanto, recurre a la simulación orbital tridimensional para examinar decisiones de diseño y atender características en tres dimensiones, que de otra manera no podría comprender.

Cuadro 10

E1-L2, L3: actividades generar-componer y acciones de visualización

Numero de segmento	Verbalización	Actividad	Acción cognitiva
15	Y también se me vino la idea que el espacio central pudiera tener muchos murales con insinuaciones naturales o de animales que me pudiesen dar algo más amigable y más agradable a la hora de acceder al espacio y realmente ver que es un área de niños, un área común para todos.	Generar	Visualizar mentalmente imágenes de concepto de diseño
33	Entonces, me iba mucho a la vista tridimensional para suplir esa necesidad porque no lo veía y no entendía porque no lo veía, hasta que al rato pues se me ocurrió lo que le comenté del rango de visualización.	Componer	Visibilizar 3d

Transformación recursiva es el nombre que se le dio a la categoría que emerge bajo la forma de una acción repetitiva con fines de realizar cambios a una misma entidad varias veces. Quizá lo más resaltante de este tipo de acción es su potencial recursivo con influencia sobre la exploración, refinamiento y reinterpretación de la información de diseño. En otras palabras, como se trata de herramientas con funciones transformadoras, de respuesta directa e inmediata, su utilización deriva en transformaciones laterales promovidas por un comportamiento iterativo de las evaluaciones por ensayo y error.

La velocidad de respuesta conseguida a través de estas operaciones se reflejó en la producción de nuevas soluciones, que ocurrieron en un juego de percepción-transformación-evaluación y percepción-redefinición-evaluación. Además, la dinámica recursiva promovió procesos de atención asociados a características existentes (AP-ACe) y reconocimiento de funciones potenciales a partir de cambios visuales (AF-Afmr) como se muestra en la Figura 25; y estos dos procesos se relacionaron con la búsqueda de nuevas alternativas de diseño.

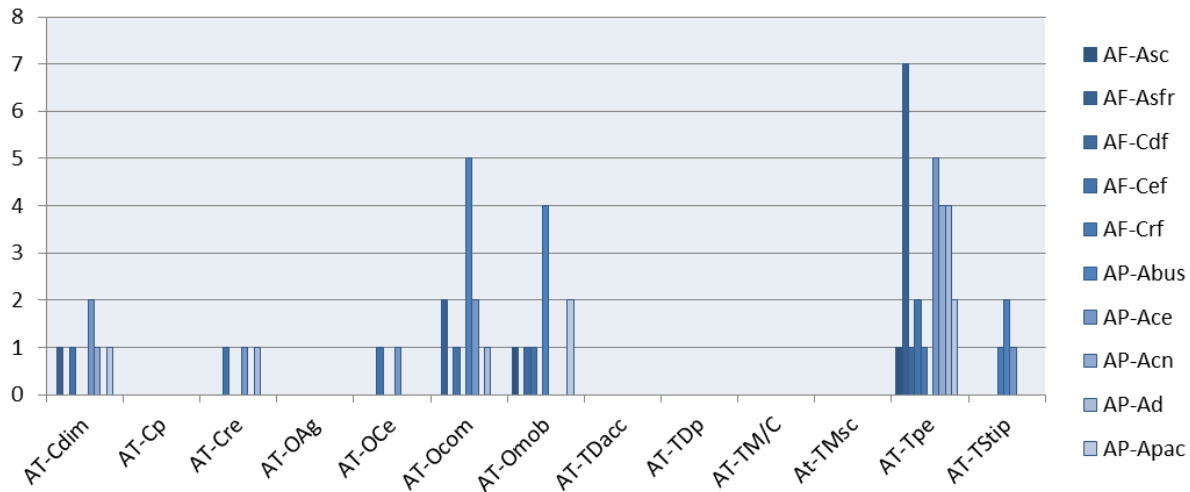


Figura 25: Transformación recursiva, atención y reconocimiento de la función.

El hecho de que el estudio este orientado al contenido, permitió que cada segmento pudiera ser examinado como una unidad cognitiva desde los órdenes de procesamiento de la cognición humana: sensorial, perceptivo y semántico. Como es sabido la información que ingresa en el sistema cognitivo se procesa primero sensorialmente, luego perceptualmente y por último semánticamente (Simon & Newell, 1972). En nuestro estudio las acciones de dibujo correspondieron al nivel sensorial, las de atención, inferencia y significación al nivel perceptual, y lo funcional y evaluativo al nivel semántico (Ver Figura 26).

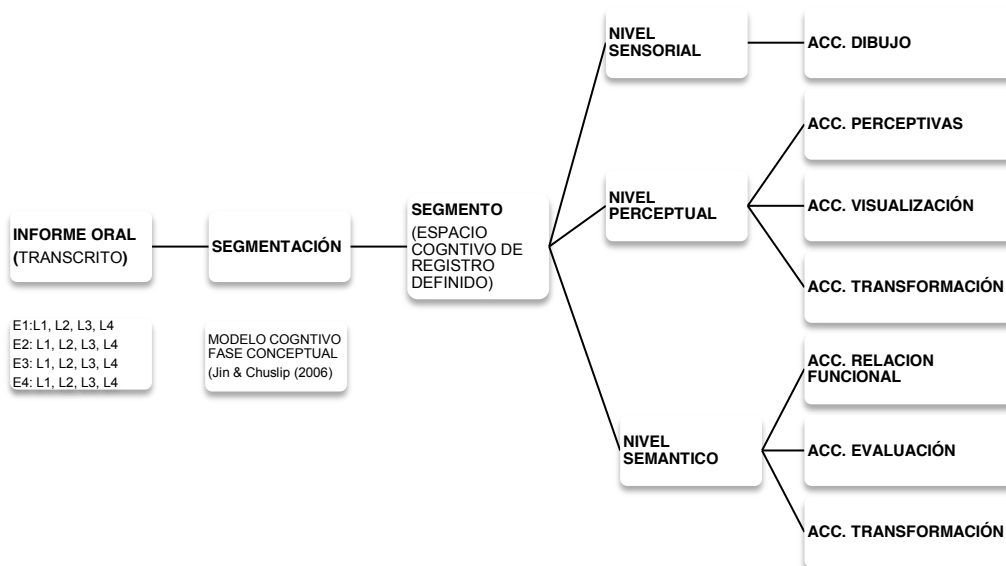


Figura 26: Orden cognitivo y criterios de segmentación

A continuación se presenta una descripción detallada de las categorías emergentes, la reconceptualización de acciones como resultado del análisis comparativo contante de los protocolos. En este momento vale la pena comentar que para el reconocimiento y definición de categorías se usaron, además del informe oral, los protocolos de actuación o registros de video, a fin de comprobar atributos operativos y de estrategia. Es el caso de la esencia recursiva de las acciones de transformación. Igualmente, se aprovechó para clarificar características de acciones cognitivas que no fueran verbalizadas de manera comprensible o que los términos utilizados para expresarlas no permitieran su identificación con suficiente claridad.

El formato de las tablas comparativas para presentar los hallazgos, informa acerca de lo existente desde punto de vista teórico y lo emergente producto del análisis en la relación de acciones de representación y procesos cognitivos asociados a ellas. Las acciones, se identifican de acuerdo con lo que el estudiante dibuja, ve, atiende, ejecuta o piensa como consecuencia de la interacción con el entorno de representación cuando resuelve un problema de diseño.

Los procesos se agrupan según el orden cognitivo al que pertenecen y para identificarlos, dentro del contexto de las acciones de representación que los desencadenan, se emplea un sistema de codificación de contenidos de información. Por ejemplo, el código AP es utilizado para las acciones asociadas a procesos perceptivos y si la acción se relaciona con atender características nuevas representadas el código será AP-Acn. Es decir, las letras AP, indican acciones en el orden perceptivo, el guión es un símbolo de unión entre la definición general del proceso cognitivos y la información específica en el código. La letra mayúscula luego del guión señala el tipo de acción, A de atención, y las letras en minúscula la especificidad de la acción, c de características y n de nuevas.

4.2.1 Acciones cognitivas de dibujo (AD)

La categoría de dibujo se refiere a acciones técnicas que tienen relación con la representación primaria de entidades geométricas, palabras, símbolos y componentes arquitectónicos en el computador. Se encuentra definida por tres tipos de acciones de dibujo: dibujar, escribir y transformar y aportan el 17% en el procesamiento cognitivo y se distribuyen como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2
Participación de las acciones de dibujo

Acciones de dibujo (porcentaje/17%)						
Dibujar (D)				Escribir (E)	Transformar (T)	
De	Ds	Dnec	Dppt	Ep	Tb	Tmre
70%	1%	2%	2%	4%	16%	5%
75%				4%	21%	

Como se muestra en el Cuadro 11, las acciones de dibujo se describen en términos de definición y edición de entidades, mas no su procesamiento con fines constructivos de solución.

Cuadro 11
Categorías emergentes de dibujo (AD)

Acciones de dibujo (AD)					
Iniciación			Emergentes		
Acciones Cognitivas	Código/descriptores		Acciones Cognitivas	Códigos/descriptores	
Dibujar	DI	Dibujo de líneas, puntos, paredes, componentes, etc.	Dibujar	De	Dibujar entidades: líneas, puntos, volúmenes, elementos arquitectónicos (paredes, techos, pisos, escaleras, rampas)
	Ds	Representar un símbolo		Ds	Representar un símbolo
Revisar	Rp	Escribir palabras para describir pensamientos		Dnec	Definir ejes y niveles constructivos
	Rf	Revisar forma, tamaño o textura		Dppt	Dibujo de puntos y planos de trabajo
Redibujar	Rb	Borrar	Escribir	Ep	Escribir palabras para describir pensamientos u objetos
	Rrd	Redibujar	Transformar	Tb	Borrar
	Rd	Volver a dibujar		Tmre	Mover, rotar, escalar con transformadores.

En comparación con las categorías provenientes de la teoría, las acciones de dibujar se renombraron como *dibujo de entidades* y abarcan un rango mayor de elementos de dibujo para el *boceteo estructurado*. Llamaremos aquí boceteo estructurado, a la exploración gráfica con representaciones estructuradas. En esta categoría la acción de creación de geometrías no solo de circunscribió a las líneas, puntos y elementos arquitectónicos sino que incluyó volúmenes (AD-De). La representación de símbolos (AD-Ds) y dibujo de líneas de referencia como ejes y niveles constructivos (AD-Dnec) se codificaron como acciones separadas. Igualmente, para el dibujo de puntos y planos de trabajo (AD-Dppt).

Las acciones de redibujo se sustituyen por acciones de transformación (AD-Tb, Tmre) ya que la herramienta digital permite más que volver a dibujar es cambiar la posición o forma con transformadores geométricos. *Transformar* se refiere a mover, rotar y escalar una entidad en una acción de dibujo no recursiva, aquí se diferencia de su forma recursiva, ya mencionada que podría entenderse como una acción simple, unidireccional, ya que no presenta el dinamismo de la transformación recursiva. Una acción del tipo de transformación no recursiva la verbaliza E1-L1 en el segmento10: *Y en base a eso la giré a 45 para poder tener el giro inicial que quería para la edificación, en todos los niveles...*; y E2-L2, en el segmento 04: *...quise añadir una curva con una inclinación que no me parece, de alguna manera, estorbosa para desarrollar el espacio, creando una forma de alguna manera regular y que puede ser repetitiva*; En ambas citas los estudiantes realizan cambios de posición a entidades, especialmente la rotación para ubicar con un nuevo ángulo el elemento, la hace una sola vez, como una forma de definición, de creación y no con fines exploratorios.

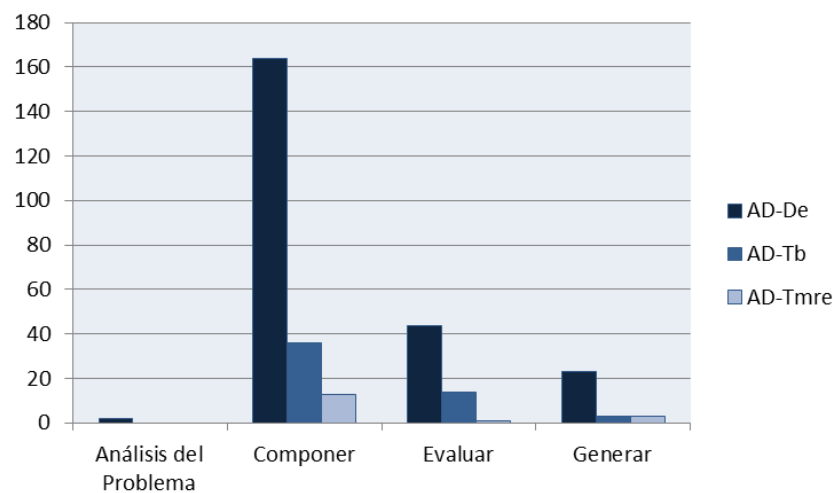


Figura 27: Acciones de transformación simple.

La Figura 27 muestra una visión general de estas acciones de transformación simple y su coexistencia con el dibujo de entidades en las actividades del proceso de diseño conceptual. Se observan mayormente en las actividades de composición y en menor medida de evaluación y concepción de ideas. La simultaneidad de estas dos acciones se reconoce en fragmentos del mismo protocolo E1-L1, del segmento 15:

Después que ajusté cada una de las líneas fue que decidí hacer, este, decidí hacer como un módulo, de 20 por 20, que más o menos, la escala, lo que más o menos mide un bloque

convencional, como para tener una referencia de dimensión en la cual pudiera trabajar la edificación.

Lo que verbaliza el estudiante como ajustar, es mover cada una de las líneas que previamente había dibujado. Es común observar que trazan líneas sin apego a la posición en el espacio ni tamaño, ya que la operatividad del programa está dirigida más hacia los procesos de edición y transformación más que a los de redibujo.

En general, los participantes realizaron representaciones en dos tipos de espacio: bidimensional y tridimensional y ambos bajo las reglas del sistema cartesiano de la aplicación. Es decir, que las vistas 2D y 3D vienen pre-configuradas en la interface bajo la forma de los estándares de las vistas de proyecto como la planta, alzados y secciones, y para la tridimensionalidad las de perspectiva o isometría. El programa permite acciones de dibujo y transformación indistintamente de la vista de proyecto, por lo que la forma de dibujo da lugar a un tipo de boceteo donde la percepción no está limitada a una expresión dimensional, sino que el estudiante se desplaza entre las dimensiones espaciales y no tiene que elaborar una nueva representación para ver lo que tiene en su imagen mental.

Esta dinámica de boceteo junto a las acciones de transformación cambia la noción operativa del boceteo tradicionalmente considerado. Aquí el orden perceptual y semántico se pueden conjugar y por consiguiente desencadenar reinterpretaciones perceptuales o descubrimientos, en términos de los modos de ver.

4.2.2 Procesos cognitivos y acciones de percepción (AP)

La segunda categoría se definió dentro del ámbito perceptual y se describe por las acciones de atención sobre características de tipo viso-espacial de elementos representados que exteriorizaron los participantes del estudio. Las acciones perceptivas comparten el código AP y el grupo está formado por las acciones de: atender, inferir y significar, como se muestra en el Cuadro 12.

Las primeras son totalmente visuales y están relacionadas con la atención de características, como forma, tamaño y texturas. La segunda acción es de reconocimiento de las relaciones espaciales entre los elementos o funciones, tales como proximidad, lejanía, alineación, intersección o conexión. Asimismo, en las acciones perceptuales están aquellas que procuran

denotación de características por similitud, uniformidad, diferencia o contraste y su vínculo con estados emocionales asociados al significado de las representaciones.

Cuadro 12

Procesos cognitivos emergentes en acciones perceptivas (AP)

Procesos y acciones de percepción (AP)					
Iniciación			Emergentes		
Acciones Cognitivas	Códigos/descriptores		Procesos Cognitivos	Códigos/acciones cognitivas	
Atender	Anr	Atender características de nueva representación	Atención	Ace	Atender características de representación existente.
	Are	Atender nuevas características de representación existente		Acn	Atender características de nueva representación.
Relacionar	Re	Crear o atender relaciones espaciales entre dos componentes espaciales o áreas		Are	Atender relaciones espaciales entre dos componentes espaciales o áreas.
	Ret	Crear o atender relaciones espaciales entre presente y pasado		Abus	Atención de características durante búsqueda de mobiliario y componentes.
Tácitas	Ruc	Atender la ubicación de un objeto en el espacio de un componente		Apac	Atender propiedades de área computada. Acción perceptiva de control visual.
	Ro	Descubrir relaciones organizacionales entre objetos, espacios	Inferencia	Ad	Descubrir relaciones organizacionales entre objetos, espacios.
	Tas	Imponer el significado antes de describir las relaciones		Irf	Reconocer una función potencial a partir de cambios visuales al dibujo.
	Tass	Sentimiento acerca del espacio		Inacc	Inferir acciones para aclarar decisiones o procedimientos
	Tae	Enfatizar características acerca del espacio	Significación	Ssn	Sentimiento acerca del espacio.
				Sec	Enunciar características acerca del espacio.
				Ss	Imponer significado antes de describir la relación espacial

Como se discutirá más adelante, las acciones perceptuales constituyen el tercer grupo más numeroso de acciones cognitivas registradas, considerando que de 2.001 acciones 336 son perceptivas, esto es el 17%. En numerosas ocasiones el estudiante tuvo que dibujar para exteriorizar sus pensamientos o conceptos de diseño y estas representaciones se asociaron con la percepción. Las representaciones se correspondían con significados (Ss) en el diseño, como en el

caso del segmento 10 de E3-L3: *Esa circunferencia o lo que va a suceder inscrito en esa circunferencia, es lo que va a dictar el rumbo el proyecto.* Conjuntamente, hay aquí una construcción perceptual que revela las relaciones entre el procesamiento visual y el conocimiento de diseño, es decir, un proceso de razonamiento visual del diseño.

También en estas acciones se demuestra la interrelación entre representaciones y conocimiento, como en E1-L3, segmento 18: *Entonces pensé que debía ver qué tan qué tan ligera es, así como cuando cae una pluma qué se mueve con el aire, así quería que se percibiera mi edificación o mi cubierta.* Ciertamente, en términos de conocimiento, los contenidos semánticos entre representación y referencias funcionales no son suficientes para comprender todos los aspectos de la conceptualización visual de la función, sino sólo puentes que conectan los dibujos con el razonamiento conceptual apoyado en los sentidos.

En cuanto a los tres grupos de acciones, específicamente, la acción de atender reúne varias operaciones perceptuales entre las que están la atención a características nuevas AP-Acn y existentes AP-Ace. De la primera, AP-Acn, el informe E4-L2, segmento 39 comunica:

Después vi que había como una ausencia entre cada uno de los módulos, quedaba como un vacío y decidí llenarlos con vegetación para armar mejor y que estuviera, como que estuviera más ligado cada uno de los módulos, que se viera como un conjunto completo y no todo desligado.

Al respecto se puede anticipar la una estrecha conexión entre la percepción y los aspectos funcionales, referencia que ilustran el conocimiento razonado desde el sentido de la percepción. De la segunda, AP-Ace, el informe E3-L3, segmento 33 comunica:

Y abajo, como el fuste de un árbol, abajo la columna, esta columna que está haciendo la suerte de un árbol globoso, como como un pino caribe, como un pino silvestre. Las ménsulas vienen como sensaciones de una rama de un árbol a la parte de arriba, eso quiero quede libre la parte de abajo, pero ese cerramiento puede ser dado para nivel de seguridad.

Para los fines del estudio cognitivo esto puede significar que la percepción de características existentes es promovida por la representación, pero igualmente estimulada por la imaginación.

La mirada en conjunto de las acciones perceptivas en todos los registros, como se muestra en la Figura 28, deja ver el comportamiento de este orden cognitivo en la fase conceptual. Las acciones perceptivas de inferencia (AP-Isol, AP-Inacc), atención de características existentes (AP-Ace), enunciar características (AP-Sec), búsqueda (AP-Abus) y descubrimiento (AP-Ad) se concentran mayormente en la actividad de componer.

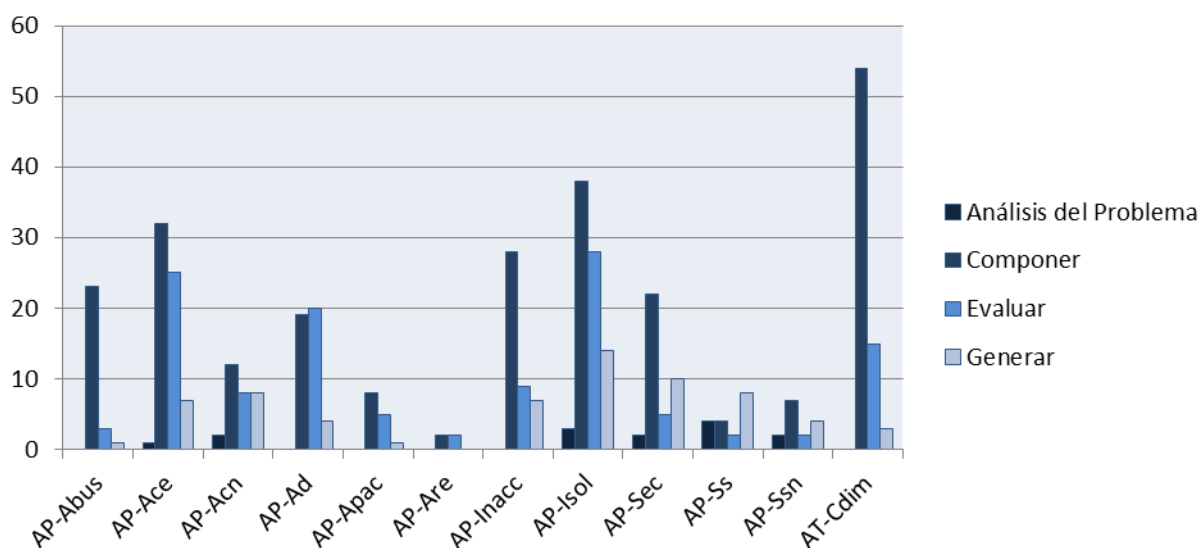


Figura 28: Acciones perceptivas por actividad

La información viso-espacial obtenida de las representaciones es la principal fuente de inferencias, y ha quedado asentada de distintas maneras. Es así como el estudiante E3-L3, segmento 46 en su informe de verbalización revela una inferencia de reconocimiento de función potencial a partir de cambios visuales:

Por supuesto puse dos áreas verdes una detrás de cada módulo de salones y en el área central, que queda un triángulo, si planteé un parque infantil, puesto que me parece área comprimida y de alguna manera controlada porque desde cualquier punto puedo visualizar qué pueden estar haciendo los niños.

Puesto que el estudiante distingue las posibilidades espaciales de una figura triangular que se forma al componer los módulos de salones, formula la respuesta de una función de recreación, el parque infantil, enunciando sus características funcionales de control y seguridad.

Del mismo modo, llama la atención la cantidad de acciones de descubrimiento en las tareas de componer y evaluar, véase la referencia a ella en el segmento 61 de E3-L3:

Y esta puerta me está dividiendo ambos espacios. Me di cuenta que no es necesario la puerta, entonces, esa puerta está en ese espacio; o en el segmento 38, E2-L3: Me doy cuenta de que el vidrio no llega en una de las esquinas, no cierra totalmente con lo que es la curvatura.

En promedio ocurren de hasta 9 acciones de descubrimiento asociadas a la percepción por protocolo, como se puede observar en la Figura 29.

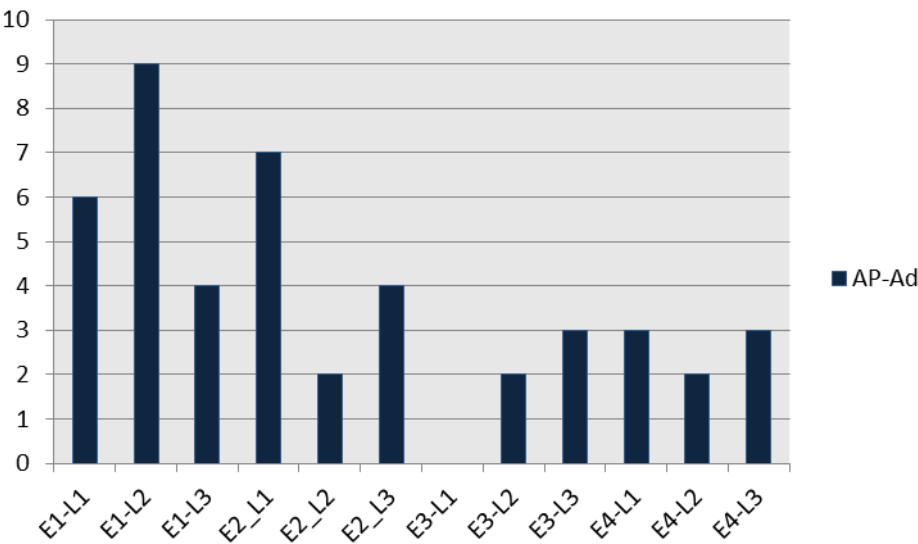


Figura 29: Acciones de descubrimiento por protocolo

Tabla 3

Participación de las acciones de percepción

Acciones de Percepción AP (porcentajes/17%)										
Atención (A)					Inferencia (I)			Significación (S)		
Ace	Acn	Are	Abus	Apac	Ad	Irf	Inacc	Ssn	Sec	Ss
19%	9%	1%	8%	5%	12%	18%	6%	4%	12%	5%
55%					24%			21%		

La información viso-espacial extraída de la representación es utilizada considerablemente para inferencias, de un universo de 336 acciones perceptivas observadas en todos los protocolos, el 55% de esas acciones promueven procesos cognitivos de atención, el 24% son para inferencias y el 21% se asocian con procesos de significación, como se muestra en la Tabla 3.

4.2.3 Procesos cognitivos y acciones de función (AP)

La categoría funcional se construye con las acciones de pensamiento reflejadas por operaciones mentales relacionadas con la función del espacio, aquellas no visuales o conceptuales, acompañada por la representación (Ver Cuadro 13).

Cuadro 13

Procesos cognitivos emergentes en las acciones de relación funcional (AF)

Procesos y acciones Funcionales (AF)					
Iniciación			Emergentes		
Acciones Cognitivas	Código/descriptores y		Procesos cognitivos	Código/acciones cognitivas	
Establecer	Ef	Implementar una función previamente explorada o pensada creando una nueva representación, característica o relación	Asociación	Asfr	Reconocer una función creando una nueva representación.
	nc	Asociar una nueva característica o relación con funciones que fueron pensadas con anterioridad o descubiertas.		Asc	Asociar una característica o relación con funciones que fueron pensadas con anterioridad o descubiertas.
	r-i	Re-interpretación			
	pf	Permanencia de una función	Concepción	Cef	Idear esquemas funcionales independientes de la representación
Pensar	fi	Pensamiento de la función independiente de la representación		Crf	Recuerdo de una función
	rf	Recuerdo de una función		Cdf	Descripción de una nueva función
	df	Descripción de una nueva función			

En ocasiones estas funciones o conceptos no derivan de la aparición de elementos o relaciones en la representación, pero sí son sugeridos por ella. Puede verse cuando en el diseño un estudiante piensa:

...que decidí hacer una forma más ortogonal, o sea, cuadrada en el sentido que me permitiera que una de esas alas estuviese concentrada todo lo que fuese la circulación y que tuviese la posibilidad de que fuera el núcleo de servicio, todo lo que requiere cada uno de los apartamentos (E1-L1: 28).

Lo hace a propósito de la solución espacial para dos áreas y pertenece al ámbito de pensamientos funcionales que se producen en su mente por la percepción de una relación

espacial entre dos regiones gráficas en la representación. Es probable que este tipo de dependencias entre ordenes cognitivos, en este caso entre la acción funcional y la perceptiva, sean un elemento significativo en la comprensión de la interacción cognitiva del diseñador con sus representaciones.

Esta tercera categoría se refiere tanto a las acciones de asociar como a las de concebir información no visual, a partir de propiedades espaciales de los elementos de expresión arquitectónica. Las acciones de asociación contemplan dos formas, la identificación de una función previamente explorada o pensada creando una nueva representación (AF-Afr) y la asociación de características o relaciones funcionales que fueron solo pensadas con anterioridad (AF-Ac).

Estas acciones conforman un 6% del comportamiento cognitivo y las proporciones de ese porcentaje se distribuyen en los procesos como se muestra en la Tabla 4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En la construcción de procesos funcionales los estudiantes mostraron 125 acciones para construir relaciones de función, y de este total el 38% orientaron procesos de asociación y el 62% de concepción, definición y recuerdo de configuraciones funcionales.

Tabla 4
Participación de las acciones de función

Acciones de Función AF (porcentajes/6%)				
Asociación (A)		Concepción (C)		
As_fnr	As_c	Cef	Df	Rf
11%	27%	35%	20%	7%
38%		62%		

Para ilustrar una de estas acciones resultantes en los protocolos, citaremos el segmento 6 de E2-L2: *...Una de las alas principales sería el acceso al lugar, y el área administrativa, y el fondo podría ser algún anfiteatro o algún según área de comida, o algo así...* En esta gestión funcional de tipo AF-Afr, el estudiante evidencia que partir de la composición con elementos de pared se establecen relaciones funcionales que pertenecen al programa de requerimientos de diseño para el módulo preescolar, y como consecuencia han sido pensadas previamente, sin embargo es por la representación que se desencadena el razonamiento del concepto espacial.

No obstante, el manejo de la información no visual con la que los diseñadores construyen relaciones espaciales no se limita a la asociación, también realizan acciones de concepción. Por

lo tanto, para describir esta categoría se observaron actuaciones de concebir patrones o esquemas funcionales no relacionados con la representación (AF-Cef), de recordar funciones (AF-Crf) y describir funciones (AF-Cdf). En la concepción de esquemas funcionales el estudiante realiza operaciones mentales como las reflejadas en E4-L2, en el segmento 29:

...Y pensé que ese espacio no solamente sea como un recibidor sino que este espacio sirviera para como una oficina principal, para, no sé, el director o algo que siempre es necesario tener el espacio no sólo de los niños sino también ese espacio para los profesores, que quizás los niños están en recreo, y tienen ellos espacio también. Entonces, estos dos, fue una de las opciones para que... pensé en ambas alas usarlos para espacio de los profesores...

En las que prácticamente interactúa recursivamente con sus pensamientos y construye la solución del espacio diseñado antes de representarlo.

En la Figura 30 se observan las acciones de función que reportan los estudiantes en sus protocolos. Para resolver los aspectos funcionales, la principal forma de construcción mental del espacio funcional está relacionada con la concepción de esquemas funcionales (AF-Cef), siendo el reconocimiento de funciones a partir de una nueva representación el segundo en importancia (AF-Asfr).

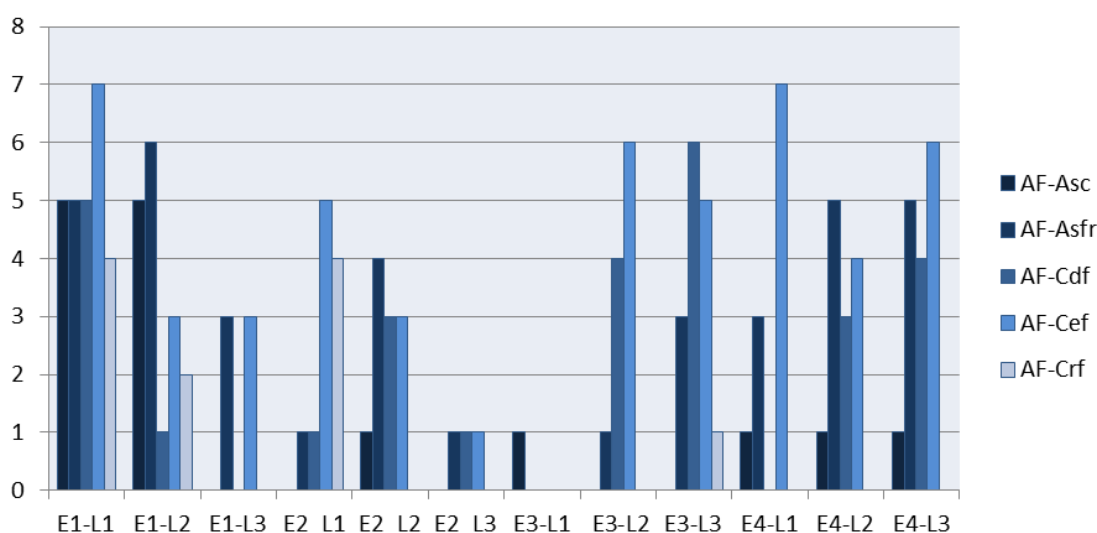


Figura 30: Acciones de función por protocolo.

Esto puede significar, ciertamente, que la información viso-espacial perceptible a partir de la representación efectivamente se convierte en señales de asociación de información funcional, sin embargo, no es indispensable la representación para plantear una configuración funcional. El hallazgo, tiene una implicación en las condiciones y maneras en que la información funcional pueda ser apreciada por una representación externa digital.

Las acciones funcionales

4.2.4 Procesos cognitivos y acciones de evaluación

Esta categoría abarca aquellas acciones de valoración de la información no visual para constatar la pertinencia o utilidad de un concepto o procedimiento en la búsqueda de la solución de diseño, y contiene el 22% de las acciones de evaluación reportadas en un universo de 2.001 de todas las categorías.

Evaluar se lleva a cabo a través de la valoración de conceptos, decisiones o procedimientos contrastados con los requisitos, limitaciones y criterios de diseño. Como proceso cognitivo exploratorio el estudiante evalúa para asegurarse que la porción de diseño generada es relevante, útil y buena. La relevancia y utilidad la determinaron a través de la comparación con los requerimientos y condicionantes de diseño, mientras que la adecuación o la congruencia con las cualidades del diseño dependen de sus criterios, ya que el objetivo del diseño es formular una propuesta viable que satisfaga las demandas del problema.

Lo registrado acerca de este orden cognitivo se muestra en el

Cuadro 14. Los resultados de los protocolos en el aspecto de la evaluación de decisiones de diseño, se presentan de tres formas: evaluación, cómputo y procedimiento. Al evaluar el estudiante realiza juicios de valor de alguna forma o función (AF-Eval), contrasta decisiones de acuerdo con requerimientos y condicionantes (AF-Ecrc), valora la viabilidad de un concepto (Ae-Econ) e indica el valor de una característica del entorno digital en la construcción de la solución.

Otras acciones de evaluación identificadas son las de operaciones de cómputo (AE-Ca), para calcular la importancia de una decisión o concepto, y la evaluación de sus procedimientos y estrategias (AE-Pro).

Generalmente, luego de realizar una evaluación el estudiante utiliza el resultado como entrada para realizar una nueva evaluación, en este caso la evaluación se convierte en una tarea recursiva para fines diversos sea de exploración, definición o reinterpretación.

Cuadro 14

Procesos cognitivos emergentes por acciones de evaluación (AE)

Procesos y acciones de evaluación (AE)					
Iniciación			Emergentes		
Acciones Cognitivas	Código/descriptores		Procesos Cognitivos	Código/acciones cognitivas	
Evaluar	Acj	Hacer juicios sobre una función	Evaluación	Eval	Hacer juicios de valor sobre una función o forma.
	Acrc	Generar solución funcional/resolver conflictos		Ecrc	Contrastar decisiones según requerimientos, condicionantes y criterios
	Acc	Cuestionar/mencionar cuestiones de diseño emergente/conflictos		Econ	Evaluar viabilidad de un concepto de diseño (útil y relevante)
				Edig	Valorar la influencia de una característica del entorno digital en la construcción de la solución.
			Computación	Ca	Calcular áreas y dimensiones a través de herramientas de medición, componentes o mobiliario
			Procedimiento	Pro	Reflexionar procedimientos o estrategias

Las evaluaciones en función de criterios, requerimientos o condicionantes se presentan, en general, como lo verbalizado por E3-L2, en el segmento 24: *Estoy intentando eso, moviendo a ver por dónde voy a hacer las cubiertas, a ver si esa pared satisface esa altura, si el elemento constructivo del courting wall se puede repetir en otras áreas. Básicamente era eso lo que estaba pescando.* A través de una herramienta de visualización 3D (constatada en los protocolo de acción E3-L2), el estudiante evalúa las posibilidades de la cubierta según criterios estéticos, de estilo arquitectónico, verbalizados anteriormente y recordado en el mismo segmento como:

...Entonces en este preescolar estoy buscando, es una casita que se asemeje a una dibujada por un niño, claro, abrir aquí ya hay marcado una tendencia, a lo mejor con gusto, un estilo arquitectónico propio, o bueno a lo mejor es lo que yo estoy buscando.

Luego evalúa si la pared satisface la altura para verificar si ese elemento de cerramiento puede ser utilizado en otros espacios del diseño. El segmento es toda una evaluación y evalúa distintas cosas distintos propósitos

Las evaluaciones se acompañan de inferencias, puede verse como ejemplo el segmento 37 de E3-L3, en el diseño para un espacio de retiro de un artista plástico: *...Porque entonces si coloco la cocina y el dormitorio ahí, puedo tener un área de trabajo más grande, pero ya lo tengo definido que va ser en ese el lado posterior*. Ocurre una acción de evaluación sobre la disposición de áreas de la cocina y el dormitorio, y luego infiere la ubicación del espacio de trabajo para el artista.

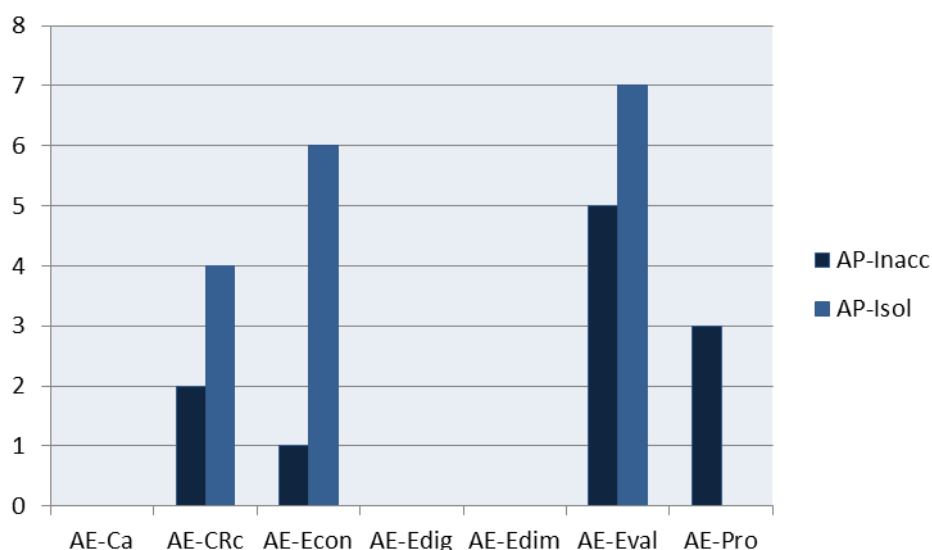


Figura 31: Acciones de evaluación e inferencias

Una acción de evaluación se enlaza con una inferencia, tal y como se muestra Figura 31. Las inferencias del tipo 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 explorar soluciones. Por otra parte, y en menor proporción, las inferencias de procedimientos AP-Inacc, se identifican con las decisiones en AE-CRc, AE-Econ, AE-Eval y con los procedimientos en AE-Pro.

Las inferencias aquí son, en muchas ocasiones, resultados intermedios hacia el proceso de toma de decisiones, y participan activamente en la búsqueda de la solución de diseño y sus estrategias. Lo más influyente, para las evaluaciones e inferencias en el diseño, es la información

viso-espacial extraída de la representación, ya que proporciona una respuesta bien definida de la solución.

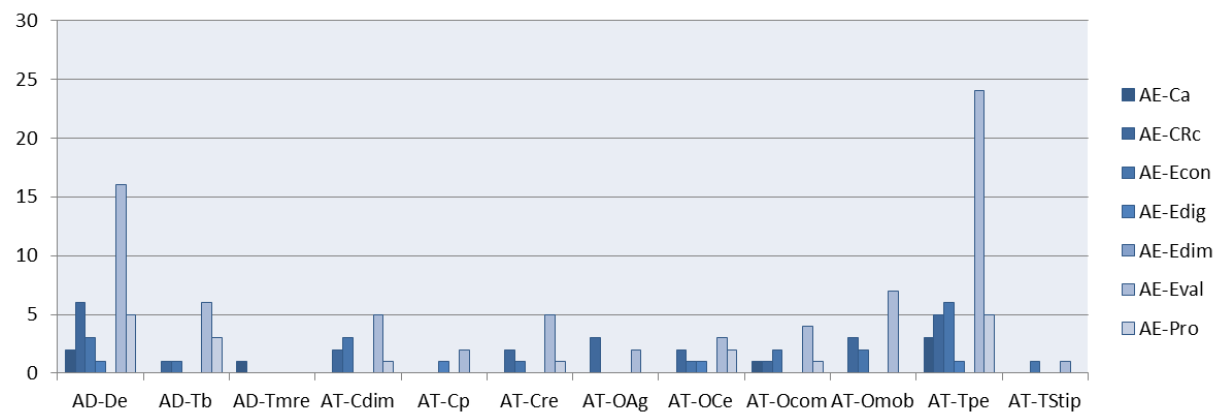


Figura 32: Acciones de dibujo, transformación recursiva y evaluación

Como puede apreciarse en la gráfica de la Figura 32, existe una relación de dependencia entre las evaluaciones (AE-Eval) y las acciones de dibujo (AD-De) junto a operaciones de transformación recursiva (AT-TPe). Esta relación, en general, ha sido ampliamente citada en la literatura sobre resolución de problemas de diseño, en las cuales ha quedado demostrado el vínculo indisoluble entre la generación de representaciones y la evaluación, como dos mecanismos dialécticos en el comportamiento del diseño (Goldschmidt, 1991; Simon & Newell, 1972; Suwa, Purcell, & Gero, 1998).

Estas acciones conforman un 22% con respecto al total de acciones cognitivas y sus porcentajes se distribuyen como se muestra en la Tabla 5. De 433 acciones cognitivas que orientan procesos de evaluación, 22% del total de 2001 acciones, las llamadas evaluativas orientaron el 77% de procesos de evaluación, mientras que el 33% restante fue por cómputo (5%) y valoración de procedimientos (18%).

Tabla 5
Participación delas acciones de evaluación

Acciones de Evaluación AE (porcentajes/22%)					
Evaluación (E)				Cómputo (C)	Procedimiento (P)
Eval	Ecrc	Econ	Edig	Ca	Pro
42%	15%	15%	5%	5%	18%
77%				5%	18%

4.2.5 Procesos cognitivos y acciones de visualización

Esta categoría pertenece al orden perceptivo, sin embargo, por razones muy vinculadas al entorno de la representación digital, se decidió separar las acciones perceptivas de tipo AP, de aquellas viso-mentales de tipo AV.

La visualización (AV) se expresa en los protocolos de dos maneras: una, exclusivamente mental, visualizar, relacionada con la acción de imaginar con rasgos visibles algo que no se tiene a la vista y otra, simulada, visibilizar, donde se hace visible artificialmente lo que no se puede ver a simple vista (Ver Cuadro 15). La consideración de esta última categoría dentro del orden perceptivo obedece a la noción de que los procesos de percepción que aplican a los objetos físicos e imágenes mentales son parecidos y, por lo tanto, se puede suponer que la percepción en imágenes simuladas obedece a los mismos mecanismos.

Cuadro 15

Procesos cognitivos emergentes en la visualización (AV)

Procesos y acciones de visualización (AV)		
Procesos Cognitivos	Código/acciones cognitivas	
Visualización	Vim	Visualizar mentalmente 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.

En tal sentido, lo que aquí denominamos *visualización simulada* lo refiere Won (2001, pág. 324) como “entre los movimientos de dibujo, el diseñador contempla las propiedades de las figuras en la pantalla y, él o ella, verán más fácilmente la representación, con algún tipo de imagen de visualización intensiva”; en su trabajo “The comparison between visual thinking using computer and conventional media in the concept generation stages of design”. Por consiguiente, este autor considera que los cambios de visualización en el programa de modelado estimulará al diseñador a generar imágenes mentales igual que de la forma tradicional, pero más fuertes y más frecuentes.

Las vistas tridimensionales proporcionaron posibilidades para dibujar mejor la forma de los elementos arquitectónicos, además de facilitar la percepción de su aspecto. Esto se aprecia en el segmento 21 del informe E2-L2: *Luego de haberme dado cuenta que volumétricamente le faltaba el cerramiento del techo, entonces decidí borrarlo y quedarme de nuevo con un solo módulo para trabajarlo completamente en 3D y luego si copiarlo, para dar una imagen continua.* Aquí el estudiante recurre completamente a la vista tridimensional para crear allí un componen de techo que le faltaba en el modelo del edificio.

En las vistas 2D los estudiantes realizaron acciones de dibujo asumiendo criterios de conveniencia, es decir, lo que es más fácil trabajar en 2D se hacía en una vista 2D. El protocolo E1-L3 en su segmento 13 informa este hecho de la siguiente manera:

Luego, decidí trabajar las alturas, entonces me fui a una elevación, en la cual cambié los nombres de las alturas y le coloqué PB como tradicionalmente uno conoce. Al primer nivel decidí colocarle nivel mezanina como un nivel apoyo, a él entonces no le coloqué el nombre de PB y traté de colocar un punto máximo de cubierta...

Las alturas se pueden nombrar por medio de texto y para esto es natural hacerlo en una vista plana, como tradicionalmente sucede cuando escribimos en procesadores de palabras o papel. La altura la trata de establecer también escribiendo dimensiones.

En la actividad de diseño aquí registrada se observa claramente el comportamiento señalado por Won (2001), de manera que los estudiantes expresaron en sus informes, insistentemente, las acciones de visualización simulada. En E1-L2, segmento 12 se informa: *...Luego me fui a la visualización tridimensional porque quería ver realmente a nivel espacial, si ese tipo de cosas funcionaban, esa forma de hexágono no era una forma rígida, ni se veía..este..extraño.* También en E1-L3, segmento 23: *...visualizándolo siempre en el espacio tridimensional, para más o menos ver cómo se trabajaba las proporciones.* El ciclo de comportamientos cognitivos que traza la visualización continuará hasta que ocurra la comprensión del objeto de solución.

Por otra parte, la atención del diseñador sobre el objeto modelado produce cierto efecto de contemplación y pasa a una forma más detallada de observación, desdibujando la noción de diseño conceptual en términos de dibujos abstractos o vagos. Es el caso del segmento 51 de E2-L1:

...cuando veo desde una perspectiva general y hago zoom empiezo a regresarme para acomodar ciertos detalles, terminar de alinear ciertas cosas, para que la planta se vea adecuada, se vea limpia, no tenga cosas torcidas. Entonces vuelvo a limpiar todos los espacios y en eso estos me alejo, me regreso, me alejo, me vuelvo a alejar, me vuelvo a regresar, porque siempre verlo desde lejos me da una perspectiva de qué puede haber mal, que cerca no lo estoy viendo.

En este episodio se observa el uso de dos formas de visualización, la vista 3D y el zoom (herramienta para acercar y alejar), ambas utilizadas para la evaluación y la retroalimentación. En este caso la retroalimentación inmediata de lo visualizado estimula al diseñador a seguir observando, evaluando y construyendo imágenes mentales.

Hasta ahora se ha presentado gráficamente el comportamiento de la acción en cada uno de los protocolos, Figura 33. Con respecto al total, las acciones de visualización ocupan el 10% en el trabajo de diseño. Se aprecia además en la misma Figura que las acciones dominantes corresponden al trabajo mental (AV-Vim, AV-Vref), y un poco por debajo, las de visualización simulada (AV-3D, AV-2D).

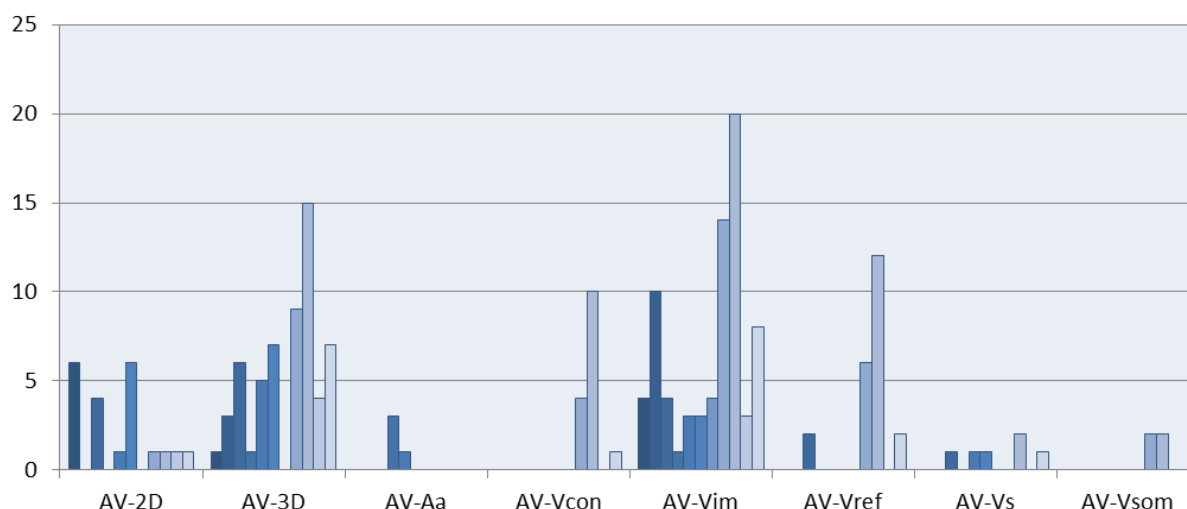


Figura 33: Acciones de visualización

Por consiguiente, conviene ilustrar el trabajo mental y para ello se citan dos segmentos donde el estudiante exteriorizó imágenes mentales. En el protocolo de E3-L2, segmento 24:

Al moverlo en la vista 3d estoy buscando emular un hogar, o sea, si vemos los grandes maestros de la arquitectura y en una ocasión usted nos puso un ejemplo bellissimo, un

ejercicio que hicimos en 3d Elizabeth y yo, una casita dibujada por un niño...Robert Venturi...

Se aprecia la categoría visualización de referencias (AV-Vref), a través del recuerdo de un modelo realizado alguna vez y su conocimiento acerca del concepto de diseño que utilizó el arquitecto Robert Venturi en el diseño de una casa para su madre; y todo confluye en la construcción de un concepto para la cubierta del módulo preescolar.

En el protocolo E1-L2, segmento 38, se verbaliza: *pensé, oye, yo pienso en niños y pienso, este, en colores, pienso en algo agradable, en algo bonito, entonces bueno vamos a explotar un poquito más ese concepto*. Aquí el estudiante imagina el color como concepto y las sensaciones que esa idea produciría en su solución. El punto significativo puede distinguirse en la Figura 33, y es la gran actividad de la visualización en la etapa de generación de conceptos, hecho incompatible la forma tradicional de lápiz y papel.

Finalmente, en la **Tabla 3** Tabla 6 se muestra que de las 202 acciones que orientan procesos de visualización el 54%, del total de 2001 acciones, desencadenaron procesos de imaginación del objeto arquitectónico, mientras que el 56% de este proceso fue por simulación asistida con herramientas de visibilización de proyecciones 2D y 3D, sombreado, sombras y acercamiento y alejamiento del modelo virtual.

Tabla 6
Participación de las acciones de visualización.

Acciones de Visualización AV (porcentajes/10%)							
Visualización (V)				Visibilización (V)			
Vim	Vref	Vcon	V2D	V3D	Vaa	Vs	Vsom
36%	10%	8%	10%	29%	2%	3%	2%
54%				56%			

4.2.6 Procesos cognitivos y acciones de transformación recursiva

Esta categoría puede pertenecer al orden sensorial, de dibujo (AD), sin embargo la característica de recursividad, relacionada con la posibilidad de cambiar propiedades de un mismo objeto varias veces con herramientas de transformación o entidades recursivas y en actividades cognitivas, indica que debe ser tratada como una categoría independiente de la de dibujo.

Las acciones observadas fueron del tipo transformar, ordenar y corregir, y se describen en el Cuadro 16. Las acciones de transformar giran en torno al ensayo, y su posterior constatación de la ubicación en el espacio, propiedades intrínsecas, tipo de componente o elemento, y la forma de una entidad o grupo de entidades. Las acciones de ordenar, son transformaciones asociadas al grupo de herramientas que permiten disponer u organizar bajo la forma de aplicación de patrones, simetrías, equidistancias, agrupación e inserción de entidades o grupo de entidades. Las acciones de corrección se registraron mayormente como recursivas y se manifestaron con cambios de dimensión, propiedades y forma.

Cuadro 16

Procesos cognitivos emergentes de transformación recursiva (AT)

Procesos y acciones de transformación recursiva (AT)		
Procesos cognitivos	Código/acciones cognitivas	
Transformación	Tpe	Definir posiciones espaciales de objetos o entidades por transformadores: mover, rotar, escalar, vincular.
	TDp	Definir propiedades
	TStip	Definir entidad por selector de tipos
	TDacc	Deshacer/rehacer acción (Ctrl Z)
	TMsc	Transformar por pinzamientos. Manipulación de sub-componentes: nodos, aristas, caras de sólidos o superficies.
	TM/C	Crear elemento arquitectónico a partir de caras en sólidos
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. Pruebas por ensayo y error
	Cp	Editar propiedades
	Cre	Editar por recorte y extensión.

Un hallazgo que surge de los informes es con respecto a la velocidad de respuesta de estas operaciones y su influencia en la promoción de transformaciones laterales. Quizá la explicación se encuentre en el potencial recursivo para la exploración, refinamiento y reinterpretación de la información de diseño. En otras palabras, las herramientas con posibilidades de cambiar recursivamente decisiones permiten mayor velocidad de razonamiento visual y transformaciones mentales en el esquema de pruebas por el ensayo y error.

La velocidad de repuesta entonces permite que el diseñador reorganice y reconstruya la información rápidamente en un juego de percepción-evaluación-percepción y percepción-definición-evaluación. Involucrando sobre todo procesos de atención asociados a las características nuevas y existentes, el reconocimiento de funciones potenciales y la inferencia.

Estas acciones ocupan un puesto importante en las tareas compositivas y conforman el grupo con mayor actividad en el proceso conceptual. Es decir, de 1.885 acciones contenidas en todas las categorías, la transformación recursiva ocurre 494 veces, un 26%, 3 puntos por encima de las acciones evaluativas. Y como puede observarse en la Figura 34 a las acciones de transformación recursiva (AT-Tpe) sólo la superan acciones de dibujo de entidades, de las que son inseparables, y las acciones de evaluación (AE-Eval).

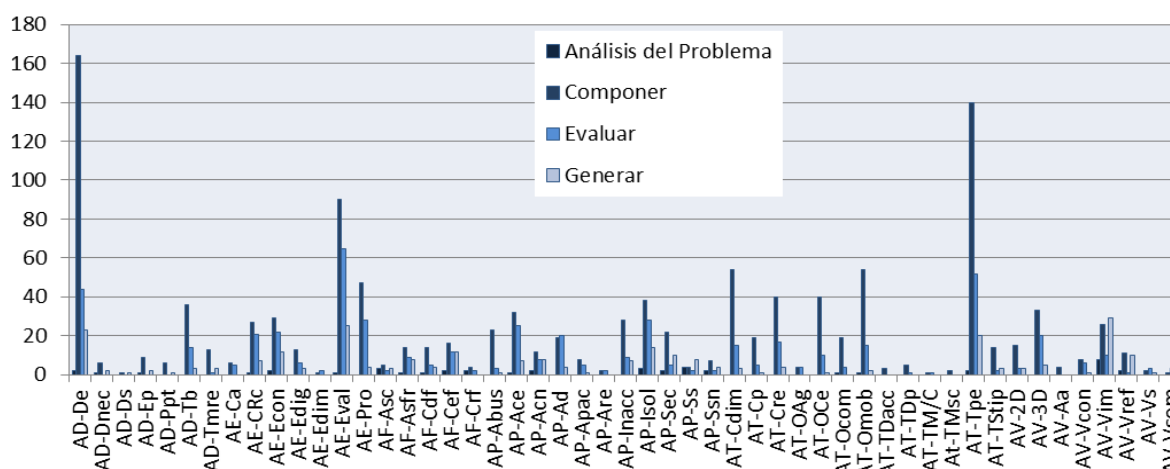


Figura 34: Acciones de transformación.

En el comportamiento cognitivo de los estudiantes se observa que asumen estas acciones con auténtica naturalidad en sus estilos de diseño. Este hecho plantea un enfoque cognitivo de razonamiento del diseño adaptado a la mediación, donde el proceso y la función operativa, mucho más que los mecanismos físicos, participan en la forma en cómo se percibe y procesa la información de diseño.

El segmento 25 de E1-L2 ilustra lo comentado en el párrafo anterior:

Y lo hice, pues en base a la herramienta copiar, de manera múltiple, y copié cada una de las líneas a 0.60 y la última, como no me cuadraba mucho, simplemente la acomodé con la referencia que tenía. Luego traté de girar, pero entonces lo gire y no, no, hice una referencia, entonces moví el centro de giro y de una vez él me da una paralela a la pared y simplemente lo corro y ya tenía el espacio que necesitaba para los seis o cinco espacios para los chamos.

En esta tarea de composición el estudiante utiliza dos tipos de transformadores, pero en todas sus posibilidades. Para componer el orden espacial lo hace por acciones de copia, copia

múltiple y alienación (AT-Oce) y para explorar nuevas disposiciones usa el transformador de mover y rotar (AT-Tpe).

Una transformación recursiva con fines evaluativos es usada al insertar componentes desde la librería, previa evaluación acerca del componente indicado para el espacio. Esta acción lleva consigo muchas veces eventos de descubrimiento inesperado y evaluación funcional. La selección es realizada con frecuencia para evaluar los aspectos ergonómicos del espacio y menos los de valor estético. Por ejemplo, en E1-L1, segmento 47 se verbaliza una acción de evaluación con (AT-Omob):

Como me di cuenta que no estaba proporcionando bien el espacio porque no tenía nada que me diera referencia, decidí irme a las herramientas, a los componentes para traerme lo primeros modelos que me dieran referencia o escala espacial, entonces me traje unos muebles...

Esta cita ilustra la acción evaluativa acompañada del trabajo con la librería de componentes, pero seguido aparece la acción recursiva con transformadores AT-Tpe y AT-Omob:

Entonces, originalmente me traje un sofá, pero pensé, oye, ¿lo voy a poner ahí?, bueno entonces, originalmente coloque un mueble. Traté de girarlo para que me diera el sentido, queda mejor esta esquina, es más funcional, o es menos funcional, o realmente lo necesito o no. Me pareció, ahí no debería estar, y lo cambié de lugar (E1-L1, segmento 49).

Las acciones transformación separan más visiblemente la conceptualización analógica de la digital. Estas acciones plantean un concepto de boceteo en términos de transformación y no como tradicionalmente se ha escrito, en términos de redibujo. El tiempo invertido en volver a dibujar podría separar al diseñador de la acción y como consecuencia modificar sus patrones de atención e inferencias, así como los de exploración y evaluación.

El número de acciones recursivas que se registraron en los protocolos es mayor a cualquier otra acción cognitiva, y esto puede dar sentido a las afirmaciones del párrafo anterior. De las 2.001 acciones registradas, 572 son transformaciones recursivas. La Tabla 7 muestra los porcentajes de desempeño de las acciones asociadas a los procesos recursivos. El 45% de las transformaciones se emplearon para cambiar una entidad en cuanto a su posición u orientación

en el espacio, explorar tipos o reformar atributos esenciales. Otro 27%, se invirtió en procesos de organización de entidades y configuraciones espaciales, y un 27% en operaciones de edición paramétrica de dimensiones, propiedades esenciales y composición espacial.

Tabla 7
Participación de las acciones de transformación recursiva

Acciones de Transformación AT (porcentajes/28%)												
Transformación (T)						Organización (O)				Corrección (C)		
Tpe	TDp	TStip	TDacc	TMsc	TM/C	Oce	Omob	Ocom	OAg	Cdim	Cp	Cre
37%	1%	4%	1%	1%	1%	9%	12%	4%	2%	13%	4%	11%
45%						27%				28%		

A continuación se presenta una mirada macroscópica del comportamiento obtenido en los protocolos para cada actividad de la fase de ideación. Se evidencia el resultado de lo externalizado por los estudiantes mientras resolvían problemas de diseño dentro de cada uno de esos espacios cognitivos y que ahora llamaremos *espacios cognitivos de registro definido*.

4.3 Espacios cognitivos de registro definido

Cada una de las acciones cognitivas de representación, dibujo, percepción, función, evaluación, visualización y transformación fueron observadas en segmentos de la verbalización. Como ya se ha mencionado, en el Capítulo 3, la segmentación del informe oral se rige por las actividades cognitivas definidas por el modelo de Jin y Chusilp (2006) para la fase de ideación. Entonces, se tienen segmentos del tipo de análisis del problema, generación, composición y evaluación. Estos “pequeños” espacios los denominamos *espacios cognitivos de registro definido*, debido a que cada segmento representa para el análisis una unidad cognitiva a ser examinada desde las acciones de pensamiento asociadas a la representación digital. Seguidamente se exponen los resultados particularizados para cada espacio con el objetivo de identificar los vínculos entre acciones de representación, procesos cognitivos y la tarea.

4.3.1 Espacio de análisis del problema

El análisis del problema abarca sub-actividades que buscan alcanzar la comprensión del problema. Esto quiere decir, la exploración de limitantes, necesidades a satisfacer, definición de objetivos, requerimientos y condicionantes, revisión o reelaboración del problema, definición de nuevos requerimientos y condicionantes y criterios de solución.

De acuerdo con la situación de investigación de este estudio, el problema fue planteado por el investigador y discutido en términos de requerimientos y condicionantes, al estudiante le correspondió la organización de la información. Fueron los mecanismos de descomposición y contraste lo que permitieron llevar a cabo distinciones valorativas más allá del espacio del problema y establecer relaciones coherentes y articulaciones lógicas.

En este espacio las acciones cognitivas que mayormente tuvieron lugar fueron acciones de Visualización de imágenes mentales AV-Vim, según se puede apreciar en el gráfico de totalización de la Figura 35. En concordancia con la gráfica, la comprensión del problema permite extraer información relevante a la solución y esa comprensión implica la construcción de una imagen mental que esquematiza el problema planteado. En el segmento 02, de E1-L2, se refleja:

Entonces, originalmente pensé que un salón preescolar pues debería tener un espacio integral, donde pudiera tener una visualización de lo que estaban haciendo todos los niños. A pesar de que fuera algo libre, pues, se tuviese cierto control y, entonces, bueno, esa fue mi intención, poder, siempre visualizar a los niños a la hora de que estén haciendo cualquier actividad. También pensé que, este, yo creo, no sé, en mi casa no hay niños, siempre he considerado que es mucho más fácil aprender jugando.

Aquí, las operaciones mentales realizadas están en concordancia los objetivos del problema, el de diseñar un salón de preescolar. Por otra parte, las premisas y referencias personales (AV-Vref) permiten identificar criterios de diseño como la libertad y el control.

En el mismo informe E1-L2, segmento 22, se entiende cómo se llevaron a cabo las distinciones valorativas mencionadas, para el caso del área de aseo personal del preescolar:

Entonces, me pareció que como son niños pequeños y son cosas, que son chamos que no usa un urinario, sino que es el mismo mobiliario para los dos sexos, pues simplemente hice una poceta para ambos. En este aspecto decidí hacer los lavamanos afuera porque bueno los chamos usan pinta-dedos, usan tempera, no sé, muchas cosas, plastilina, entonces es mucho más fácil tenerlos allí y poder lavarles las manos, dos personas a la vez, y decidí meter dos lavamanos que me parecía más correcto que meter dos wáter. Como más operativo me pareció a mí en ese aspecto, me pareció más rápido. Los chamos, tú le

agarras las manos, le lavas, el siguiente, lo lavas, agarras el siguiente lo lavas y, pues, por operatividad me pareció más cómodo hacerlo así.

El estudiante lleva a cabo una tarea de revisión y comparación de la propuesta funcional con la información suministrada y discutida antes de dar inicio a la tarea de diseño, haciéndolo de tal forma que intrínsecamente se verifica la correspondencia y compatibilidad con los requerimientos y condicionantes.

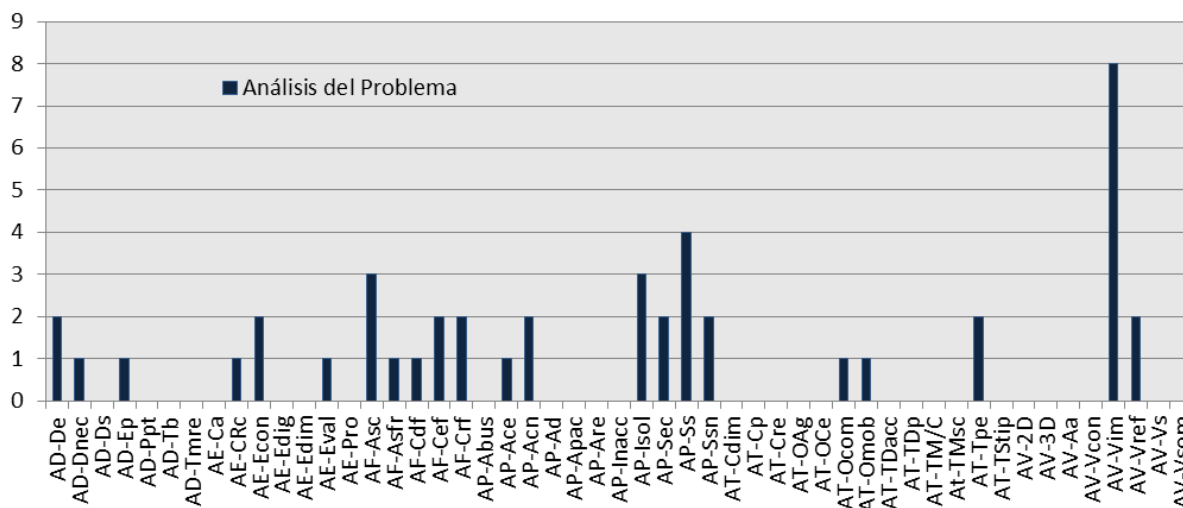


Figura 35: Acciones cognitivas y análisis del problema

De la misma Figura 35 se desprende que durante el análisis del problema se realizan acciones de representación como el dibujo de entidades (AD-De), y se valoró su uso a fin de explorar la lógica que subyace en la información proposicional del enunciado del problema. La representación en este espacio normalmente incluye el dibujo de líneas, líneas de referencia (AD-Dnec) y escritura de palabras (AD-Esp) con fines de organización y jerarquización de la información o conceptos de diseño. Del informe E2-L3, segmento 05 se desprende:

...Básicamente eso fue lo que trate de hacer. Los tres espacios bien definidos que es: el área de trabajo, lo que es el área de juego y, hacía falta un elemento, lo que es el área de descanso, porque los niños de preescolar, la mayoría, si es un maternal necesitan dormir, necesitan estar comiendo. A lo mejor en el espacio del maternal, en los baños, debería estar ubicada un área de cambiador para que los profesores hagan un cambio de pañales, porque se trata de un cuidado muy distinto de lo que es un salón de clases tradicional.

Se lee, que el estudiante plantea el curso de una parte de la solución con una estrategia general de funciones, visualizada por un esquema funcional de áreas. Al inicio de este episodio el estudiante deja ver, y fue comprobado con el protocolo de actuación, que elabora un esquema general de los espacios trabajo y juegos, y reflexiona la falta del área de descanso. Esto le pudo servir como punto de partida para escoger la secuencia de movimientos que persiguen la solución. Así cada una de las actuaciones realizadas a continuación fue orientada desde este esquema funcional.

Las acciones de evaluación fueron del tipo requerimientos y condicionantes, juicios de valor sobre forma o función y evaluación con respecto al concepto de diseño como se muestra en Figura 35. En el segmento 20 de E2-L2 se expresa:

Luego de hacer este mueble creé otra área de alfombra, porque para cumplir con las áreas determinadas que eran, ya como comenté anteriormente, ya se hicieron las áreas de sanitarios y las áreas de trabajo que ir a las áreas de escritorio con sillas. Y esta área de alfombras, pues, es el área de juegos, que es un área muy amplia y probablemente se puede integrar algún televisor o algo que les pueda ayudar a los niños para un mejor incentivo de la parte educativa.

Aquí, la valoración de la alternativa de solución propuesta lo hace desde una redefinición del problema, proyectando otro espacio adicional para juegos cuando en el planteamiento de necesidades se demandó una sola área.

Los estudiantes, como se puede apreciar en el episodio mostrado, no se limitaron a las características puntuales del problema dado sino que encontraron y formularon problemas dentro del contexto general del programa de diseño. Siendo esta una característica de la práctica reflexiva, argumentada por Shön (1992), donde los diseñadores seleccionan aspectos del espacio del problema y optan por nombrar e identificar las áreas a solucionar, es decir, ellos eligen el espacio a explorar.

4.3.2 Espacio cognitivo de generación

Para Jin y Chuslip (2006), generar involucra la concepción de nuevas ideas, la recuperación de la memoria información pertinente al problema y el conocimiento arquitectónico, para crear ideas iniciales de diseño.

De acuerdo con esto, los informes revelaron 83 segmentos de generación de ideas de un total de 509 a partir del planteamiento del problema en todos los informes, este valor representa el 16% de esta actividad cognitiva en la fase de ideación.

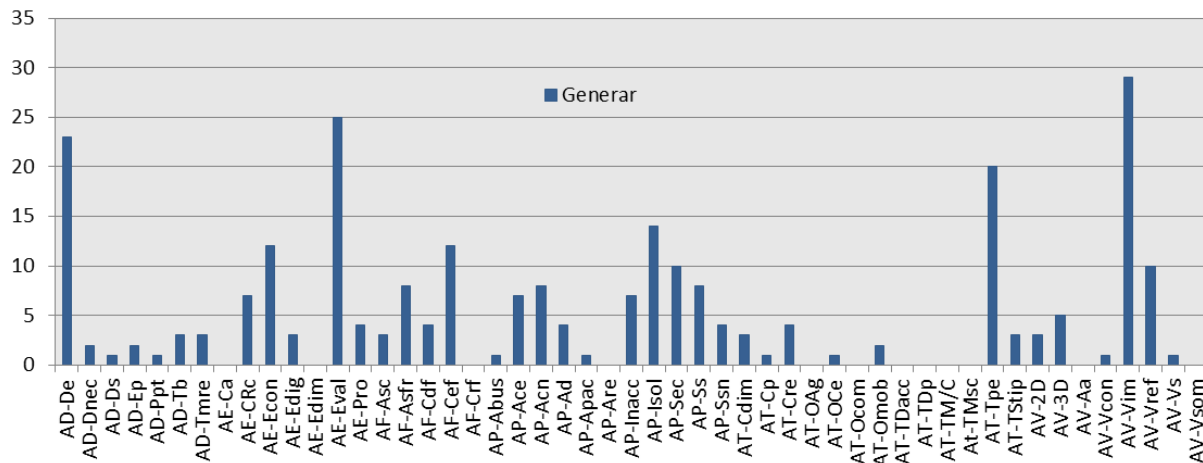


Figura 36: Acciones cognitivas y generación de ideas.

En la Figura 36 se presenta el panorama global de las acciones cognitivas de generación. Aquí, entre las acciones dominantes estuvo la visualización de imágenes mentales acerca del concepto de diseño (AV-Vim) y representan el 40% de los procesos de visualización en la generación de ideas.

Para ilustrar la forma en cómo fueron expresadas las acciones de visualización y sus desencadenantes usaremos el informe E4-L2, segmento 14 que informa:

...En el caso del espacio de juego, quizá el espacio debe ser más amplio porque creía conveniente que necesitaba espacio abierto dónde se podían desarrollar varias cosas, pero sin necesidad de que fuera un solo ambiente sino que ese espacio se pueda modificar y por eso fue que coloqué la tabiquería. Yo la coloqué como tabiquería móvil porque puede ser no solamente una pared que divida los espacios sino que esta pared de tabiques tuviera una función. En cualquier momento se necesita un espacio más amplio, pueden, o una especie

de actividad, la tabiquería se puede mover, como ampliar y reducir los espacios, y ahí fue donde simplemente la parte del dinamismo, de que el espacio pueda ser modificable y a su vez que tuviera libertad flexibilidad que se puede usar todo el espacio abierto o seccionarse en varios, dependiendo de lo que vaya hacer. Y hasta puedes como sala de juego, como los niños juegan mucho loco escondido y esas cosas, que fue lo que pensé, los juegos infantiles y hasta los tabiques, pues, sirven de eso y como una especie de laberinto y pues...bueno.

Aquí, precisamente, el estudiante utiliza varias funciones de la memoria y verbaliza el concepto de diseño con un profundo nivel de detalles. En primer lugar, recuerda el contenido del planteamiento del problema acerca del área de juegos y en segundo, enuncia el concepto de diseño de espacio abierto y flexibilidad ambos preconcebidos. Es de observar que el estudiante en lugar de generar relaciones abstractas creó espacios y elementos en términos arquitectónicos. Esto pareciera una consecuencia de soluciones que inician desde un proceso de evaluación (*...quizá el espacio debe ser más amplio...*) y no desde el análisis del problema.

En la misma Figura 36, se aprecia una importante presencia de acciones evaluativas (AE), un 20% de las acciones en la actividad, que acompañan la creación espacial, lo que puede explicar el vínculo de este proceso cognitivo con la acción mental y la generación de ideas.

Tres acciones se destacan en el panorama general de la Figura 36: dibujo de entidades (AD-De), transformación recursiva de posición espacial (AT-Tpe) e inferencia de soluciones (AP-Isol). Consideremos para la primera lo informado en E1-L2, segmento 42:

...Tratar de explotar un poquito más esa imagen visual, en base eso, pues, también trabajé la cubierta, hice el esquema de la cubierta con una rejilla, pero cuando lo estaba dibujando me di cuenta de que la cubierta no queda a la altura, uno la dibuja a una altura, que uno que preestablece, pero no en base a la pendiente que queda de la siguiente, del techo que ya había preestablecido, que ya había seleccionado.

Directamente se observa la interacción de las acciones de dibujo de líneas con el desarrolla de la imagen mental y otro tipo de acciones como perceptivas de descubrimiento (AP-Ad) (*...me di cuenta de que la cubierta no queda a la altura...*) e inferencias (AP-Isol) (*...pero no en base a la pendiente que queda de la siguiente...*).

Como se había comentado, los procesos cognitivos se tejen como una red de procesamiento donde unos suceden secuencialmente, otros se superponen y otros van paralelamente. El segmento citado E1-L1:42, está precedido por una imagen mental en el segmento 41:

En el cuarto hubiese la posibilidad de hacer unos mosaicos que a la hora que los chamos estén allá abajo puedan decir estoy durmiendo bajo las estrellas, o estamos en un área de colores, que se yo, que pudiese eso, darme una posibilidad de un poco más de apertura, de un poco más de libertad a pesar de estar encerrado en un espacio.

Lo que puede significar, y como se ha descrito en la literatura, que el diseñador, en nuestro caso el estudiante, necesita dibujar lo que va pensando como si fuera una necesidad interior, para seguir en la tarea de generación de ideas.

Durante la actividad de generación vemos que el estudiante, más que realizar acciones de cambio “unidireccional” (AD-Tmre), realiza acciones de transformación recursiva (AD-Tpe) casi en la misma proporción que las acciones de dibujo de entidades (AD-De). Si las acciones de dibujo de entidades corresponden al 65% de las acciones totales de dibujo en esta fase, las acciones de transformación recursiva representan el 59% de las acciones de transformación también en esta fase; proporción que puede apreciarse en la Figura 37. Esto demuestra que el estudiante dibuja y transforma recursivamente para generar ideas y no como en la noción de conceptualización tradicional donde se dibuja, se borra y se redibuja.

Lo anterior es uno de los aportes más significativos de este estudio en la caracterización del comportamiento cognitivo del diseño asistido por representaciones digitales estructuradas y cuya discusión y confrontación con los argumentos teóricos se realiza en el siguiente capítulo de discusión de resultados.

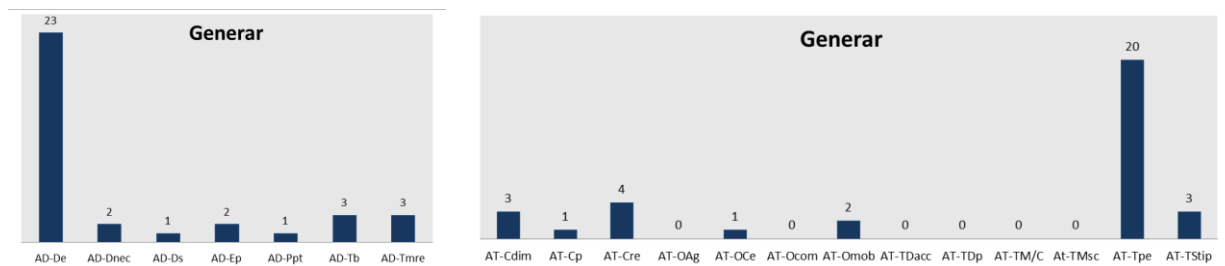


Figura 37: Acciones dibujo y transformación en la generación

En proporción, las acciones perceptivas (AP) representan el 25% de las acciones totales y la inferencia el 40% de la actividad perceptiva. El informe E1-L3, segmento 11, se deja ver la forma de las inferencias en la construcción mental de ideas: *Pues yo pensé, si es arte pop, pues, el arte pop también tiene ángulos, también tiene otro tipo de insinuaciones, entonces eso, pues también me dio una visión de que quizás los ángulos era la mejor opción...* Generalmente, esta forma de concepción de ideas conduce a una solución, pero para que sea satisfactoria requiere de otros procesos de evaluación. En este ir y venir del pensamiento a la expresión, el estudiante demostró cierto apego a la idea de los ángulos, a pesar de no estar encontrando una solución satisfactoria. Y en cierto momento, construyendo varias versiones, infiere una nueva forma de líneas, curvas y no anguladas, como se revela en el segmento 16 del mismo informe: *Luego que decidí la forma que quería de la spline, y se desarrolló la spline por extrusión, decidí mover un poco para ver, vamos atrás vamos adelante, e ir trabajando un poco eso...* La exploración del concepto de diseño parece trazar el camino de la solución y al estudiante, entonces, le ayudó a comprender las alternativas de solución formal y el problema en general, incentivándolo a realizar otros procesos como los de evaluación del tipo AE-Vcon.

En síntesis, el proceso generativo puede expresar bajo el esquema cognitivo de visualizar-dibujar/transformar-evaluar.

4.3.3 Espacio cognitivo de composición

Componer implica la evolución de las ideas iniciales de diseño en conceptos arquitectónicos (Jin & Chusilp, 2006). Esta actividad se realiza cuando los diseñadores combinan ideas nuevas generadas a partir de imágenes mentales con las ideas o conceptos resultantes de las acciones de composición arquitectónica. La composición se identifica en los protocolos sobre todo por la gran cantidad de acciones de dibujo y transformación, que en ciclos reiterativos los estudiantes producen conceptos de diseño más evolucionados en términos arquitectónicos y perfilan la solución a una forma más detallada funcional y constructivamente.

En la Figura 38, la perspectiva de las acciones de composición muestra la tarea definida por acciones de dibujo AD-De, acciones de transformación AD-Tpe y acciones de evaluación AE-Eval. La proporción de estas acciones en el balance de los totales es mucho mayor que para las otras actividades cognitivas de generación o evaluación. De 307 acciones de dibujo repartidas en todas las fases, 234 las realiza el estudiante durante la composición, es decir el 76% de las

acciones dibujo se realizan con el objetivo de componer. Del mismo modo que en actividad de generación las acciones de transformación acompañaron a las de dibujo, pero en este caso con un 80% porcentaje un poco mayor que el observado durante los procesos de generación de ideas. Podría inferirse que en esta fase el estudiante concreta pensamientos de diseño a través de acciones de dibujo, no obstante, realiza acciones de transformación para la definición o para la exploración de alternativas de solución. Estas transformaciones, en términos del proceso de diseño, Vinod Goel (1995) las definió como *verticales* para el primer caso y *laterales* para el segundo

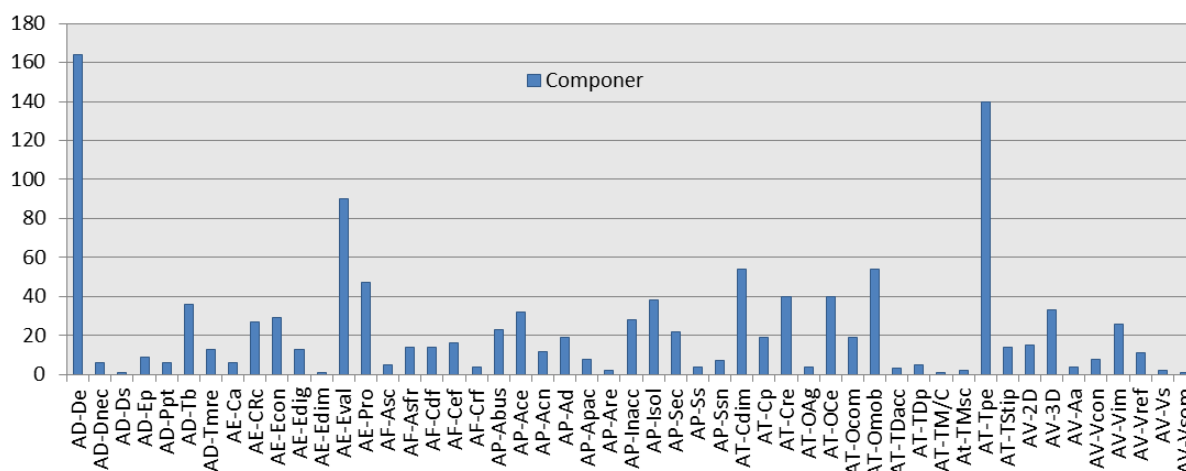


Figura 38: acciones cognitivas y actividades de composición

Nótese que en el siguiente segmento del informe oral E4-L2:15 estos dos tipos de transformaciones de proceso ocurren superpuestas:

La tabiquería. Lo primero que hice fue colocar, por similar, tocar los muros y después lo que hice fue seleccionar las que habían puesto y las cambié directo del selector de tipos. Aunque aquí, en la parte de tabiquería, pensé fue en la distribución, probé varias formas de cómo debía ponerse, pero lo que hice fue mover los tabiques en varias posiciones para tratar de diseñar un espacio dónde se permita el acceso y no bloquearlo, pero que igual, como se pueden mover se pueden cambiar. Lo hice por eso, pero moví varias veces los tabiques para ver cuál era la mejor opción aun así se puede mover de cualquier manera. Entonces por eso fue que en este caso lo deje así.

El estudiante en un momento compositivo modela las paredes y define su tipo en un proceso de transformación vertical. Seguido, repentinamente, irrumpe un pensamiento de

generación (...*Aunque aquí, en la parte de tabiquería, pensé fue en la distribución...*) y comienza un proceso de transformación lateral asistida por acciones de transformación recursiva del tipo de cambio de posición espacial AT-Tpe y acciones de evaluación del tipo evaluar función (AE-Eval).

Este es un hallazgo importante que demuestra que con representaciones estructuradas pueden coexistir cognitivamente transformaciones laterales y verticales durante los procesos compositivos. Lo revelado contradice, en cierto modo, la teoría de la representación analógica (Goel, 1995), donde se afirma que este tipo de representaciones obstaculiza la exploración y desarrollo de alternativas. Por otro lado, lo que si se comparte es que para las fases tempranas la representación estructurada induce a una cristalización temprana del diseño, pero lo que aquí se señala es que en cuanto a transformaciones laterales el boceteo estructurado no entorpece las tareas que involucran el cambio de ideas.

Si se observan de cerca las acciones de transformación recursiva asociadas a la composición, el resultado, demuestra la concurrencia de varias acciones recursivas de distinto tipo y además estas motivan otras acciones de distinta categoría. Como se aprecia en el segmento 21 del informe E4-L4 las acciones de transformación se superponen unas con otras manteniendo claro el objetivo de la acción:

...Como no tenía ninguna medida siento que la forma que podía decidir era probando moviendo paredes para ver el espacio, ciertas dimensiones que no se viera fuera de escala para lo que estaba dentro, sino que fuera armónico, lo veo así, que no se vea desproporcionado si no cambio la proporción, pero si medir usando el mobiliario más que todo. Con eso fue que saqué las proporciones usando el tamaño de las ventanas, de las puertas, del mobiliario.

Las acciones de cambio de posición espacial (AT-Tpe) inician los ejercicios de prueba para proporcionar el tamaño del espacio a la que le siguen evaluaciones parciales de cada transformación.

El estudiante en este caso y con el mismo procedimiento, toma otras herramientas recursivas de organización componentes (AT-Ocom) y mobiliario (AT-Omob). Se recuerda que la recursividad de estas herramientas viene desde su definición como entidad, ya que su propiedad más esencial es la de contener diferentes tipos de ella misma. Cuando el participante

verbaliza: *...saqué las proporciones usando el tamaño de las ventanas, de las puertas, del mobiliario*, expresa la secuencia que utiliza al colocar las entidades enunciadas y para concluir su trabajo de proporcionar el espacio cambia de tipo de ventana, puerta o mobiliario para la evaluación, es decir, la misma entidad es valorada, pero con dimensiones diferentes.

De acuerdo con esto, se puede pensar, que en este proceso subyace una buena adaptación mental al recurso de transformación o una buena correspondencia entre el procesamiento visual y la operatividad del sistema de entidades propuesto en el diseño del software.

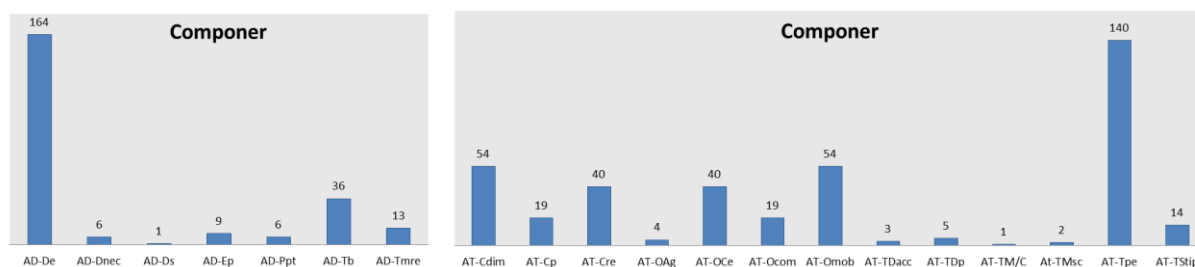


Figura 39: Dibujar y transformar en la composición

En la Figura 39 se detalla la correspondencia entre las acciones de dibujo, como acciones simples y las de transformación como acciones complejas de acompañamiento. Los valores en número de coocurrencias entre AD-De y AT-Tpe, indican simultaneidad de ambas acciones, siendo el 76% de sus totales para la primera y el 80% para la segunda. Igualmente, en las acciones de organizar mobiliario (AT-Omob) y su correspondencia con las componer entidades AT-OCe.

Las acciones perceptivas en la composición se presentan muy equilibradamente, como se aprecia en la Figura 40. A través de la interacción con la representación los estudiantes demostraron ocupar gran cantidad de tiempo en atender características existentes y construir inferencias. Bajo estas consideraciones el procesamiento de la información de diseño, por mecanismos perceptivos, surge desde la atención de características existentes (AP-Ace) en una proporción del 16% del total de acciones perceptivas. En el E1-L1, segmento 51 el estudiante expresa:

...en base a cómo iba moviendo los esquemas, me di cuenta de que no funcionaba, que no era lo que realmente pensaba. No sé si era realmente chévere llegar a ese espacio o no, entonces, decidí eliminar esa idea completamente, simplemente porque no la visualicé tan agradable en planta, no me parecía que era la mejor solución.

En este espacio cognitivo se conjugan diferentes acciones. Las perceptivas como descubrir (AP-AD), atender características existentes (AP-Ace) y las evaluativas del tipo valor de función (AE-Eval) para producir un concierto de procesos en el orden perceptivo-evaluativo-perceptivo al atender la representación durante la composición del área de ingreso a un módulo habitacional.

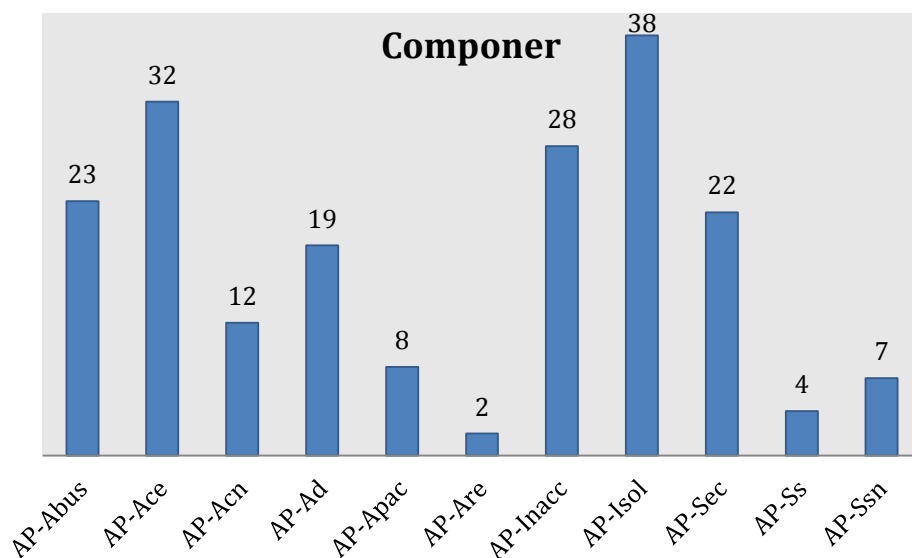


Figura 40: Acciones perceptivas en la composición

En el mismo orden de ideas, en el contenido de la verbalización E3-L3, en el segmento 73 se reconocen acciones perceptivas de tipo inferenciales, es decir, inferencias desencadenadas por información visual:

...¿Por dónde se accede entonces a esa habitación?, recordando que para esta pared existe la necesidad que quedé libre. Entonces, el acceso inmediato va a ser acá, una puerta, puse la más grande como para...vine a 1 m y medio para dar ese pasillo, ese espacio que se necesita. De inmediato me consigo con la puerta del baño, recordando que también puede alguien entrar a eso, pues es el único que va a tener.

La acción parte de un cuestionamiento, al mismo tiempo que el estudiante atiende características de la representación. Este registro ratifica el vínculo directo, en varias ocasiones observado, entre pensamientos funcionales y acciones perceptuales. De hecho, al estudiante fijar la atención en el problema del acceso se presenta una inferencia, acerca de la ubicación de la puerta, como consecuencia de la información visual manipulada donde solo estaba representado el conjunto de paredes cerradas.

La exploración funcional puede justificar muchas acciones perceptivas ya que los estudiantes perciben características visuales y espaciales desde la representación y las utilizan para razonar la solución espacial. En resumen, la composición queda definida por procesos vinculados de la forma Dibujar-transformar-evaluar.

4.3.4 Espacio cognitivo de evaluación

La actividad de evaluar se ubica en el segundo lugar en importancia dentro de las actividades cognitivas trabajadas por los estudiantes y será descrita desde las acciones verbalizadas en los informes orales. La evaluación la desarrollaron los participantes como un proceso cognitivo exploratorio con el fin de asegurarse de que sus conceptos fueran relevantes, útiles y buenos.

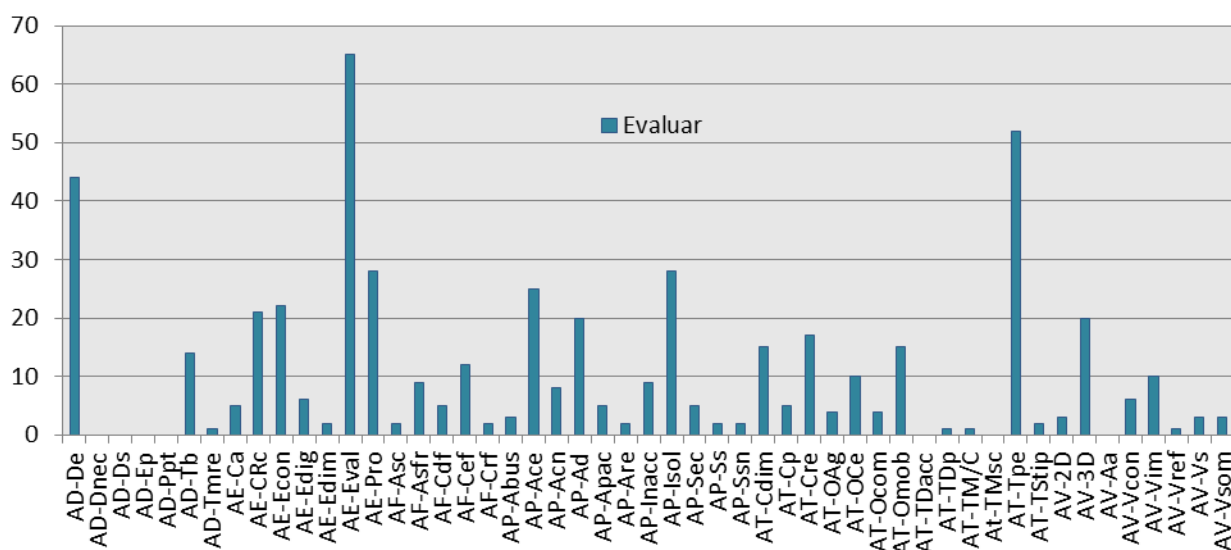


Figura 41: Acciones cognitivas en la actividad de evaluación

Como se demuestra en la Figura 41, las acciones de evaluación de mayor proporción fueron las de juicios de valor de forma o función (AE-Eval) y representan el 43% del total de acciones evaluativas en esta fase.

Del segmento 41 de E3-L3 se desprende que las acciones cognitivas se acompañan entre sí, y las evaluativas, en este episodio, comparten la cognición con acciones de transformación recursiva:

...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.

La evaluación ocurre luego de un par de acciones perceptivas, de descubrimiento (AP-Ad) y de atención a características existentes (AP-Ace). El estudiante utiliza para este proceso evaluativo acciones de transformación AT-Tpe, y el resultado lo aprovecha como dato de entrada para la próxima evaluación. En este segmento se exterioriza la forma interna de un espacio evaluativo, caracterizándose fundamentalmente por lazos de repetición consecutiva desencadenados por acciones de transformación y percepción, como se demuestra en la Figura 42.

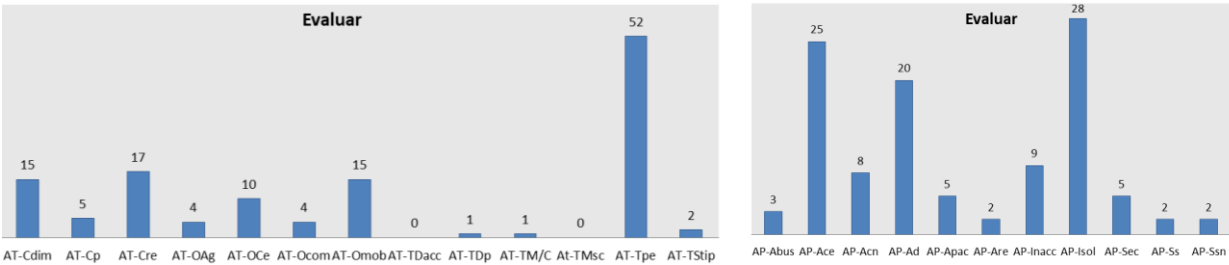


Figura 42: Acciones de transformación recursiva y percepción en la actividad de evaluación

Se puede constatar, una vez más, que los procesos de pensamiento en los estudiantes son iterativos, y se hacen explícitos a través su verbalización. Esta forma iterativa pareciera un comportamiento natural del diseño, ya que ha sido observada reiteradamente durante la comprensión del problema de diseño, generación de ideas, composición y ahora en la evaluación.

Los informes orales evidencian que la evaluación es un proceso de valoración continuo que implica contrastar cada paso con los criterios de diseño (AE-Econ) y requerimientos y condicionantes de diseño (E-Crc). Es un proceso en el que además, se descubren nuevas evaluaciones (AP-Ad) como en E3-L3:41,...*Lo que hice fue, no, ya va, esta escalera primero no la quería tan grande*. Estas valoraciones nacen del proceso mismo de evaluación y definitivamente están asociadas a las acciones perceptuales de atención (AP-Ace) e inferencias

(AP-Isol), como lo demuestra la Figura 41. En una iteración local, interna, y conocida generalmente, por la repetición consecutiva de una actividad cognitiva que se lleva a cabo para explorar y desarrollar ideas, llevándolas hasta el punto donde se continua con la siguiente actividad cognitiva (Jin & Chusilp, 2006). Resumidamente, el proceso evaluativo quedaría definido por el esquema de proceso cognitivos de dibujar-percibir-transformar-evaluar.

Para terminar, los resultados demostraron que el diseño es un proceso de acciones de representación desencadenantes de procesos cognitivos anidados. Estos procesos se tejen como una red cognitiva en la que navegan las ideas y pensamientos de los diseñadores. Asimismo, las capacidades visuales de percepción, pueden ser definidas solo desde su contenido cognitivo, a diferencia de otras acciones como las de dibujo o evaluación.

4.4 Resumen del capítulo

Vista desde la teoría las primeras etapas del proceso de diseño son cognitivamente intensas y estructuralmente indefinidas. Las actividades que se llevan a cabo este momento de la resolución del problema son esencialmente con fines de búsqueda y exploración, en ellas se practica el tanteo y el ensayo y error. Tales particulares, hacen que el estudio de la ideación sea un reto especialmente agudo, tanto para el diseño metodológico y observacional como en su instrumentación.

A continuación se especifican, puntualmente, los principales hallazgos de los resultados y sus consecuencias para la discusión que sigue en el próximo capítulo:

- Sistema categorial. Se redefinieron las categorías providentes de la teoría en términos de operatividad y significados construidos a partir de la interacción con el entorno digital. El sistema de categorías se define por seis conjuntos de acciones cognitivas asociadas a la representación, dibujo, percepción, función, evaluación, transformación recursiva y visualización. Las categorías nuevas se revelaron a partir de acciones asociadas al orden sensorial y perceptivo, y definidas como transformación recursiva y visualización. La transformación exhibe una forma compleja, es una acción que acompaña a los movimientos de dibujo, pero lleva consigo la propiedad de recursividad. La visualización reúne las acciones de visualización en dos formas, una mental y otra simulada. La mental, visualizar, describe la tarea de imaginar con rasgos visibles algo que no se tiene a la vista y la simulada, visibilizar, donde se hace visible artificialmente lo que no se puede ver a simple vista.

De un total de 2001 acciones cognitivas asociadas a la representación un 17% corresponde a las acciones de dibujo, 17% a las de percepción, 6% a las de función, 22% a las de evaluación, 28% a las de transformación recursiva y 10% a las de visualización.

- Acciones de dibujo. En comparación con las categorías provenientes de la teoría, las acciones de dibujo se redefinieron como *dibujo de entidades* y abarcan un rango mayor de elementos de dibujo. Las acciones de redibujo se sustituyen por acciones de transformación simple, no recursiva, ya que la herramienta digital permite cambiar la posición o forma con transformadores de geometría más que volver a dibujar. Esta dinámica de boceteo conducida por las acciones de transformación cambia la noción operativa del boceteo tradicional de lápiz y papel.

- Acciones y procesos cognitivos de percepción. La información viso-espacial obtenida de las representaciones es la principal fuente de atención a características existentes, inferencias y significación, expresada como actividades perceptivas dominantes en el proceso de ideación. Los informes orales demostraron una estrecha relación entre la percepción y los aspectos funcionales, referencia que ilustra que el conocimiento es inicialmente razonado desde el sentido de la percepción. De un total de 334 acciones perceptivas en todos los protocolos el 40% son inferencias y el 20% se corresponde con la atención a características existentes.

- Acciones y procesos cognitivos de función. Cuando un estudiante piensa en aspectos funcionales lo hace a propósito de la solución espacial y se producen en su mente por la percepción de una relación espacial entre regiones gráficas en la representación. Es probable que este tipo de dependencias entre los órdenes perceptivo y semántico, sea un elemento significativo para la comprensión de interacciones cognitivas desencadenadas por la representación.

El manejo de la información no visual con la que los diseñadores construyen relaciones espaciales se define principalmente por procesos de asociación y concepción de esquemas funcionales. De un total de 124 acciones semánticas de función el 37% es por asociación de relaciones o características funcionales asociadas a la representación y el 64% es por concepción de configuraciones o esquemas funcionales.

- Acciones y procesos cognitivos de evaluación. Los resultados de los protocolos en el aspecto de la evaluación de decisiones de diseño, informaron tres tipos de acciones de evaluación: evaluar, proceder y computar. Generalmente, la evaluación se presenta como un

proceso cognitivo de forma anidada y repetitiva, ya que el estudiante utiliza el resultado de una evaluación como entrada para realizar una nueva, en el caso de exploración, definición o reinterpretación de información de diseño. Existe una relación de dependencia entre las evaluaciones (AE-Eval) y las acciones de dibujo (AD-De) junto a operaciones de transformación recursiva (AT-TPe) y se expresan claramente en la Figura 32.

- Acciones y procesos cognitivos de transformación. Estas acciones pertenecen al orden sensorial, de dibujo (AD), sin embargo la característica de recursividad, indicó que debió ser tratada como una categoría independiente a la de dibujo. Un hallazgo importante en relación con la transformación recursiva fue la velocidad de respuesta que estas operaciones tienen para la promoción de transformaciones laterales. La velocidad de repuesta entonces permitió que el estudiante reorganizara y reconstruyera la información rápidamente en un juego de percepción-evaluación-percepción y percepción-definición-evaluación. Involucrando sobre todo procesos de atención asociados a características nuevas y existentes, reconocimiento de funciones potenciales e inferencias.

La relación cognitiva de los estudiantes con las herramientas de transformación recursiva ocurrió con auténtica naturalidad en sus estilos de diseño. Este hecho plantea un enfoque de razonamiento del diseño adaptado a la mediación, donde el proceso y la función operativa, mucho más que los mecanismos físicos, participan en la forma en cómo se percibe y procesa la información de diseño.

- Acciones y procesos cognitivos de visualización. Estas acciones, fueron tratadas en el sistema categorial igual que la anterior. Esta categoría pertenece al orden perceptivo, sin embargo, por razones muy vinculadas al medio de representación digital, se decidió separar las acciones perceptivas de tipo Acciones Perceptivas AP, de aquellas viso-mentales de tipo Acciones de Visualización AV. Reconocer la visualización simulada dentro de los informes orales se considera un aporte importante al sistema categorial de análisis de contenidos de diseño, ya que se demostró que los cambios de visualización en el programa de modelado estimula al diseñador a generar imágenes mentales igual que de la forma tradicional, pero más fuertes y más frecuentes.

- Espacios cognitivos de registro definido: análisis del problema, generación, composición y evaluación. Durante el análisis del problema las acciones cognitivas que mayormente tuvieron

lugar fueron las de visualización de imágenes mentales AV-Vim. En estas acciones los estudiantes no se limitaron a las características puntuales del problema sino que encontraron y formularon problemas dentro del contexto general del programa de diseño. En la generación de ideas, en lugar de construir relaciones abstractas, se crearon espacios y elementos en términos arquitectónicos. El proceso generativo se expresa bajo el esquema cognitivo de visualizar-dibujar/transformar-evaluar.

La composición, implica la evolución de las ideas iniciales de diseño en conceptos arquitectónicos. Se identifica en los protocolos por la gran cantidad de acciones de dibujo y transformación, que en ciclos reiterativos los estudiantes producen conceptos de diseño, más evolucionados en términos arquitectónicos y perfilan la solución a una forma más detallada funcional y constructivamente. En muchas ocasiones las acciones perceptivas estimularon la exploración funcional, ya que los estudiantes perciben características visuales y espaciales desde la representación y las utilizan para razonar la solución espacial. La presencia de las acciones de transformación recursiva se observan cerca de las acciones de evaluación, y los resultados demuestran la concurrencia de varias acciones recursivas de distinto tipo que motivan otras acciones como las evaluar aspectos de forma y función. En resumen, la composición queda definida por procesos conectados de la forma dibujar-transformar-evaluar.

En el espacio cognitivo de evaluación los estudiantes desarrollaron acciones evaluativas como un proceso exploratorio, con el fin de asegurarse de que sus conceptos fueran relevantes, útiles y buenos. La forma iterativa pareciera un comportamiento natural, inclusive del diseño en general, ya que ha sido observada reiteradamente durante la comprensión del problema de diseño, generación de ideas, composición y ahora en la evaluación. Los informes orales evidencian que es un proceso de valoración es continuo, de iteración, que implica contrastar a cada paso los criterios de diseño, y requerimientos y condicionantes del problema.

Para terminar, los resultados demostraron que el diseño es un proceso de acciones de representación desencadenantes de procesos cognitivos anidados en episodios de actividad. Estos procesos se tejen como una red cognitiva en la que navegan las ideas y pensamientos de los diseñadores.

Capítulo 5. Conclusiones y Discusión

Esta investigación tuvo como propósito develar y analizar los procesos cognitivos asociados a las acciones de representación digital en estudiantes de arquitectura. Sobre todo, encontrar un sistema categorial que permita caracterizar los procesos cognitivos vinculados a las transformaciones de diseño en la fase temprana. Igualmente, se buscó diferenciar la percepción de los contenidos y orientaciones semánticas bajo la influencia del formato digital. Con los datos se establecieron relaciones y vínculos que permitieron aproximar una caracterización del comportamiento cognitivo del diseño temprano ante la mediación digital.

A continuación, se discuten y contrastan los principales hallazgos de este estudio con las teorías generales del diseño y la representación como vehículo cognitivo. Especialmente, se tratan los procesos perceptivos de la información de diseño, las particularidades de la evaluación, la iteración y la recursividad y las transformaciones laterales. En una dinámica argumentativa se debate sobre la cognición externa y el “comportamiento” de los procesos cognitivos que subyacen, superponen, desencadenan y yuxtaponen en episodios de diseño durante la fase de ideación.

5.1 Relaciones cognitivas entre espacios, acciones y procesos

Como se refirió, el proceso de diseño se caracteriza por actividades de análisis, síntesis y evaluación en cualquiera de sus fases (Akin, 1986; Boekholt, 1984; Hamel, 1990). El análisis es una actividad vinculada a la exploración y descomposición del problema en sub-problemas. La síntesis se refiere a los intentos de resolver aisladamente los sub-problemas y combinarlos para formar un diseño completo. Esta, particularmente, es una actividad que para la fase temprana se expresa como generación y composición, tal y como lo describe Jin y Chuslip (2006) en su modelo cognitivo. Y por último, la evaluación, referida a la valoración de la solución o soluciones parciales en función de si estas cumplen o no con los requerimientos y condicionantes inicialmente establecidos. Este es el esquema general.

Análisis, síntesis y evaluación es el orden lógico cognitivo descrito para los diseñadores y supone la condición de secuencialidad, es decir, que cada actividad debe terminarse antes de pasar a la siguiente. Por lo tanto, a nivel macro el proceso de diseño parece descomponerse en esos fragmentos de procesamiento y esa descomposición, que según Purcell y otros (1994),

compromete distintos tipos de razonamiento. Sin duda, es una cuestión interesante lo documentado por los investigadores con respecto a las diferencias cognitivas entre cada actividad del proceso, así como el uso de varias formas de pensamiento. Según estos argumentos el enfoque del diseñador cambiaría de actividad en actividad y los fragmentos aparecerían como facetas diferentes de la descomposición y procesamiento secuencial. Del mismo modo, Purcel y otros (1994) reconocen la existencia de episodios breves de gestión y planificación de objetivos intercalados entre las actividades principales de la resolución del problema.

Pese a la importancia del esquema de descomposición teóricos como Akin (1986) y Lawson (2010) no comparten la posición universalmente aceptada y minimizan la importancia de la demarcación del proceso de diseño en etapas y su disposición secuencial. Ömer Akin (1986), especialmente es partidario de la caracterización en términos de operaciones, más que en etapas o fases. Las operaciones, según este autor, tienen dos ventajas para los estudios de cognición, una, que son elementos observables a lo largo del proceso y otra que su disposición revelaría la estrategia del diseñador para resolver su problema.

En los protocolos aquí estudiados el “comportamiento” de las actividades cognitivas nos permite compartir de cierta manera los argumentos de Akin. Primeramente, se considera que cada actividad conforma un espacio cognitivo que se presenta en el proceso de forma episódica, repetitiva y no ordenada. Esto significa que cualquier actividad sea de análisis, generación, composición o evaluación, se repite varias veces a lo largo del proceso de resolución y sin orden alguno. Cada episodio es un espacio individual y en él no concurren los mismos procesos cognitivos, ni se ejecutan las mismas acciones, aun cuando se trate de la misma actividad. Por lo tanto, se habla de espacios de diseño únicos e irrepetibles, es decir, cognitivamente distintos.

En los espacios de análisis, generación, composición o evaluación, anidan acciones y procesos asociados también de análisis, síntesis y evaluación, y eso los caracteriza. Los procesos se desencadenan por las acciones de representación y no siempre a un proceso le corresponde la misma acción, en definitiva, todo varía en cada episodio de diseño. Como no hay un intervalo igual a otro, ni hay una secuencia exacta de actividades, lo que ocurre, básicamente, es que el estudiante ejecuta distintas acciones para un mismo proceso y distintos procesos en una misma actividad, recurriendo a una dinámica de movimientos definida por el sub-objetivo de diseño trabajado y el estímulo gráfico.

La forma no secuencial ha sido referida en algunos trabajos de investigación como “bucles de retroalimentación” (Akin Ö. , 1986) que no es otra cosa que el comportamiento en espiral de las actividades y acciones de diseño. Estas vueltas cognitivas se activan cuando se produce y se pone a prueba una solución parcial, es decir, cuando se genera una solución y luego se determina si cumple o no con el objetivo que representa dicha solución (Boekholt, 1984). Aquí se identifican, además, que estas valoraciones a las soluciones parciales se efectúan considerando evaluaciones anteriores, pero también posteriores cuando el ciclo de retroalimentación entre actividades va en sentido contrario.

Con apoyo en los protocolos de diseño se describen a continuación las constantes cognitivas que caracterizan cada actividad en la fase de ideación y que están exclusivamente asociadas a la representación digital. Igualmente, se discute la influencia de los procesos de evaluación en el progreso de una solución de diseño, así como la convalidación de algunas teorías del diseño como el razonamiento visual y en él las singularidades de la mediación digital.

5.2 De los procesos perceptivos y las acciones de representación

La percepción es un proceso que surge de las acciones de reconocimiento y atención en la representación. En el diseño la representación con fines cognitivos ayuda a exteriorizar la imagen mental y esa forma física del pensamiento permite extraer información viso-espacial pertinente a la resolución del problema o sub-problemas. La aparición de esta información puede ser intencional o inesperada, pero sobre todo es el elemento principal para la elaboración de inferencias (Suwa, Gero, & Purcell, 1998). No obstante, se piensa que no es solo la función de memoria externa o la de proveedor de pistas visuales como el único elemento influyente en la cognición externa, sino que a esto hay que agregar la naturaleza del espacio que provee tal información visual.

El proceso de conversión de información mental a física no es lineal, responde a una dinámica de intercambio constante entre lo producido mentalmente y los mecanismos de percepción y representación (1991). Así mismo, las imágenes mentales que derivan de lo percibido visualmente no son una copia exacta de lo ideado, el diseñador realiza evaluaciones entre lo que piensa y lo que dibuja. Las evaluaciones son, básicamente, para valorar la solución respecto a conceptos y criterios de diseño, y también para contrastar la calidad de lo expresado gráficamente.

Con respecto a este último argumento, se comienza por señalar que la noción de mediación con el “dibujo” digital es diferente a la mediación analógica. Como se mencionó, lo que ocurre en la mediación tradicional es que el diseñador evalúa su habilidad para representar lo que tiene en mente mientras razona la solución de diseño. Por el contrario, según lo observado en los protocolos, los estudiantes con la mediación digital no demostraron este tipo de evaluación y la relación que establecen con los símbolos gráficos se dio mayormente para fines de diseño. Esto puede sugerir, por una parte, que la simulación gráfica digital es coherente con el sistema perceptivo y, por otra, que se obtiene una ventaja cognitiva por la liberación de espacio en la memoria de trabajo.

Según el estudio de Bilda y Gero (2006) sobre el impacto de las limitaciones de la memoria de trabajo en el diseño durante la conceptualización, la memoria de trabajo se sobrecarga con la ideación y la generación de ideas si no tiene el apoyo de dibujos o representaciones. La consecuencia de saturar la memoria a corto plazo, por el trabajo mental, conlleva a una disminución en la producción de ideas si no se es un diseñador experto. Por lo tanto, se puede inferir que si se es un diseñador novato, como es el caso de los estudiantes, cualquier eventualidad que permita mayor espacio en la memoria de corto plazo favorecería el proceso de la generación de ideas.

Cabe agregar que la tarea de diseño se apoya en una serie de transformaciones graduales de imágenes, y para el proceso manual termina cuando el diseñador considera que ha logrado suficiente definición gráfica y coherencia entre lo visual y lo conceptual; entre lo dibujado y lo pensado. Para el caso digital lograr una definición gráfica no es importante, porque la calidad gráfica está implícita, el ejercicio dialógico termina con la evaluación de conceptos y criterios de diseño.

En el plano de la representación el proceso perceptivo, como tradicionalmente se conoce en el diseño, se vincula al dibujo de formas elementales que respetan las relaciones tipológicas y topológicas de la geometría. En este estudio, la representación no solo implica la regla anterior sino la manipulación de entidades arquitectónicas como unidades gráficas y de transformación recursiva como acción complementaria a las acciones de dibujo.

Para la discusión que sigue es importante dejar claro la noción de representación adoptada en este estudio y obtenida de la observación de los protocolos de diseño. Para los fines

cognitivos se caracteriza esta como la combinación de acciones de dibujo y de transformación para generar y componer una unidad arquitectónica en el espacio de diseño. De la misma manera se quiere dejar por sentado algunas posturas que se comparten de la teoría y que son heredadas del diseño analógico. Al igual que Goldschmidt (1991), se piensa que la representación no es simplemente intentar colocar sobre una superficie física las imágenes que se tiene en la mente, sino que es mucho más que eso, es un proceso dialéctico que oscila entre acciones de dibujo y acciones de significado, que para en el caso digital, se expresa en los términos de acciones de dibujo, transformación recursiva y significado.

El vínculo intrínseco entre dibujo y el razonamiento en el diseño ha sido observado desde la mediación de lápiz y papel, en este caso la cantidad de acciones físicas de dibujo reportadas son proporcionalmente mayores que cualquier otra acción analizada (Bilda & Demirkan, 2003; Bilda & Gero, 2006; Cross, 2001; Chen, 2001; Ericsson, 2006; Fish & Scrivener, 1990; Goldshmidt, 1991, 1992; Scaife & Rogers, 1996; Suwa & Tversky, 1997). Para el caso digital, son más frecuentes las transformaciones que las acciones de dibujo, por ello en este estudio no se utiliza el término dibujo sino el de representación para hacer referencia a las equivalentes acciones físicas de dibujo tradicional. Aunque las acciones de dibujo siguen siendo dominantes, porque es la esencia de la tarea, estas se desdibujan como acciones simples, tal y como se aprecia en la Figura 43 donde estan paralelamente acompañadas de transformaciones.

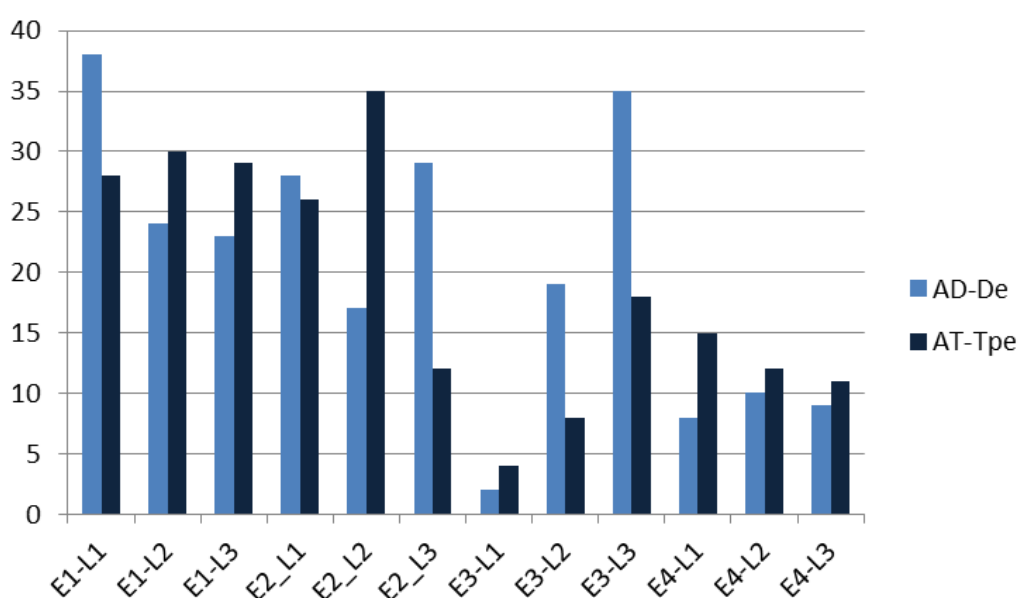


Figura 43: Correspondencia entre dibujo de entidades y transformaciones de posición.

Por consiguiente, las acciones de dibujo en términos de dibujar, borrar y redibujar, no caracterizan a la representación en el diseño digital. Si se considera la postura de Goldschmidt (1991), de que el diseño es el resultado de un conjunto de acciones físicas que permiten definir con suficiente grado de especificidad y coherencia un objeto arquitectónico, solo cuando se suma la transformación gráfica se alcanza este objetivo. La acción de dibujo completa en la representación digital se acompaña operativamente de transformaciones gráficas, recursivas o no, como una acción única para los fines de procesar la información de diseño.

En resumen, ambas acciones están íntimamente vinculadas, y en la Figura 43 se demuestra que a una acción de dibujo AD-De le corresponde una de transformación recursiva AT, casi en la proporción de 1:1. El comportamiento de ambas acciones confirma que el estudiante dibuja y transforma en el entorno digital, y no dibuja y redibuja como lo hace en el diseño analógico.

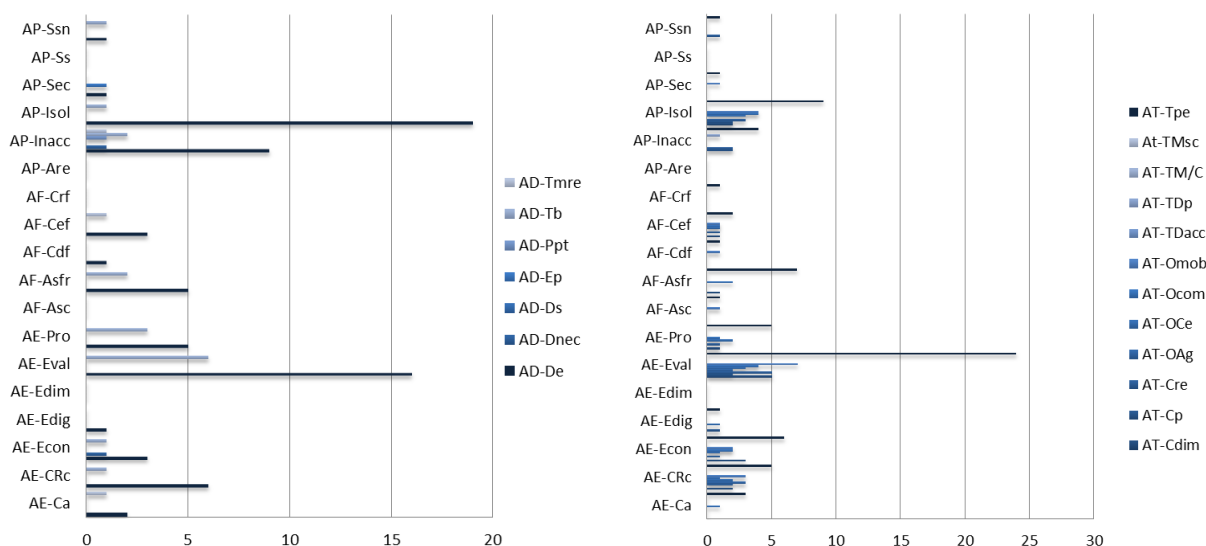


Figura 44: Relación de las acciones de dibujo y transformación con procesos perceptivos y semánticos.

En su proceso de representación los estudiantes revelaron que las acciones de dibujo AD están asociadas mayormente al nivel perceptual, en cambio las transformaciones AT al nivel evaluativo (Ver Figura 44). Según esto, la información les surge cognitivamente de abajo hacia arriba, dado que la percepción de las características visuales y espaciales (AP-Ace) ocurre a través de acciones de dibujo de entidades (AD-De). No obstante, cuando las AD se acompañan por transformaciones recursivas AT, estas tienen fines semánticos, evaluativos de forma y función (AE-Eval), como se aprecia en detalle en la Figura 44.

A pesar de que el pensamiento de los aspectos funcionales, no visuales, es fundamental en la actividad de diseñar, se encontró que las acciones funcionales AF aparecieron cuando el estudiante se inició en actividades de composición (Ver Figura 45).

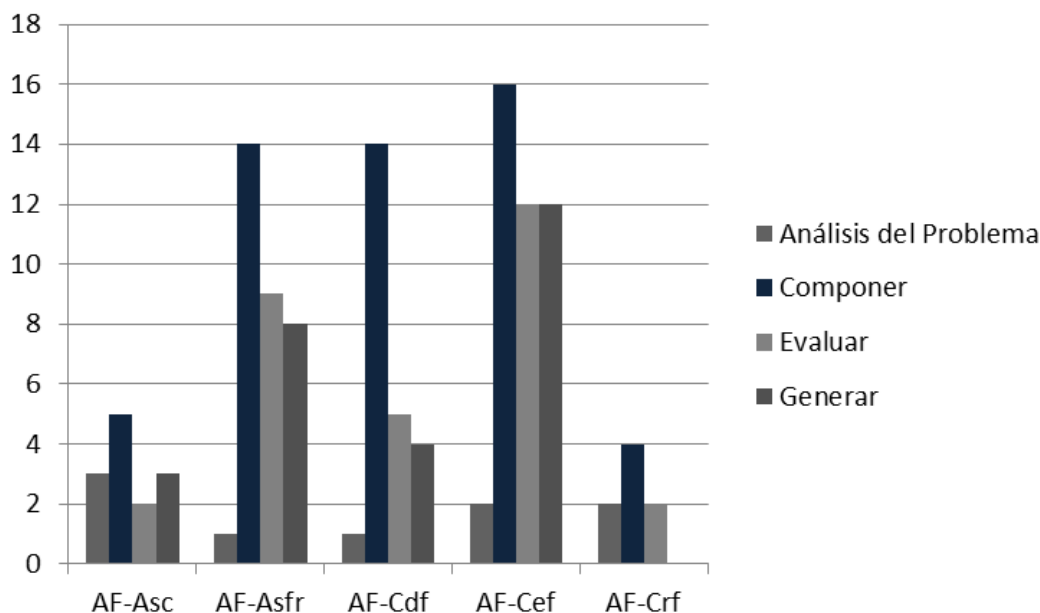


Figura 45: Acciones funcionales.

Desde aquí los dibujos se desempeñaron como proveedores de señales visuales y espaciales para la asociación de cuestiones funcionales. Suwa y otros (1998), en el análisis de los procesos cognitivos en la fase conceptual, comparten la tesis de que los pensamientos funcionales surgen progresivamente en la medida que avanza el concepto de diseño en la representación, con apoyo de los procesos perceptivos.

A este período Suwa lo denomina “preparación del pensamiento funcional”. En él los diseñadores a medida que van creando elementos básicos de dibujo mantienen la atención en la información viso-espacial, sin que necesariamente recurran a pensamientos funcionales. Sólo después de todo un período de interacción con acciones gráficas surgen de las características viso-espaciales, asociaciones y concepciones de esquemas funcionales.

Teniendo como referencia las consideraciones anteriores, en el Cuadro 17 se muestra algunos episodios de concepción y composición de acciones funcionales para un mismo protocolo, E2-L1, en el que se resuelve un módulo habitacional. Aun cuando no se exponen todos los segmentos de la verbalización involucrados en el pensamiento funcional, este conjunto

es suficiente para apreciar, por una parte, que la interacción cognitiva consiste en la inspección, reconocimiento y percepción de contenidos funcionales, sobre la marcha en el diseño, y por otra, que los pensamientos funcionales aparecen en forma discontinua, y la mayoría en actividades de composición.

Cuadro 17

E2-L1: episodios de razonamiento funcional

Segmento	Verbalización	Actividad cognitiva	Acción Funcional
02	Inicialmente lo que hice fue poner dimensiones básicas 6.00 x10.00 que me da 60.00 m máximo, lo que debería usar, que me dan para el apartamento. Entonces, con ese rectángulo empecé a girarlo para darle un concepto de forma por nivel, o sea una planta, para ver cómo la distribuía. Inicialmente, quise hacer una cruz sin una de sus alas, plantear en el centro la circulación, pero me pareció que era, primero estructuralmente poco seguro, un poco complicado, y además me ocupaba mucho espacio de un área	Análisis generación	AF-Cef
En segmentos del 3 al 15 pausa de acciones funcionales			
16	...pensé que como este era un apartamento para una pareja máximo, no necesitaba posiblemente un comedor sino que simplemente el mesón de la cocina servirían para suplir la necesidad.	Componer	AF-Crf
En segmentos del 17 al 27 pausa de acciones funcionales			
28	En ese caso, de momento, no pensé en el área del fregadero solamente me imagine en el área para lavadora. También intenté cerrar esa área para la lavadora porque <i>Revit</i> necesita crear una pared para encima de la pared crear una puerta.	Componer	AF-Crf
29	Cuando intenté poner las paredes ellas eran muy anchas y decidí no ponerlas y dejar el electrodoméstico solo, ya que igual, como es para una pareja y es raro que alguien entre al baño de la visita pues no hubiese inconveniente que la viera.	Evaluar	AE-Eval
30	Entonces pasé al área social donde planteo un espacio integrado entre cocina, comedor que sería un mesón y sala. Entonces empiezo a diseñar el mobiliario de las sillas para ese mesón, puesto que se me hace un poco difícil llegar a encontrarlo en la librería.	Componer	AF-Cef

En el cuadro, el segmento 02 pertenece a una actividad de análisis del problema, en cuanto a limitantes de espacio, y lo que refleja tener en mente el estudiante es la distribución de áreas en torno a un centro de circulación. En los catorce segmentos siguientes se realizan actividades de composición, generación y evaluación, intercaladamente, todas dirigidas a la organización, estructuración y redefinición de áreas del diseño. En el segmento 16, citado, aparece explícitamente una reflexión general consecuencia de lo explorado, recordando una función del área de la cocina, que forma parte del programa de diseño proveído. Esta forma secuencial con pausas intermitentes en entre acciones funcionales, se repite a lo largo del proceso de solución.

La función parece atenderse por mecanismos de *distancia cognitiva* para razonar el objetivo en curso.

Al segmento 16, donde se recuerda una función (AF-Cef), le antecede un segmento de composición del área de habitación. En ese segmento, detalla toda el área y al estar conforme con su diseño es cuando inesperadamente vuelve al aspecto funcional, en este caso de la cocina.

Ahora, en el mismo cuadro, se cita el segmento 28, y aquí el estudiante está resolviendo una función de la cocina: lavar. En el siguiente, el segmento 29, trabaja con otros elementos del conjunto espacial, evaluando la ubicación de unas paredes y un baño de visitas. Nuevamente, de forma inesperada regresa a la definición del área de la cocina y concibe su esquema funcional. Puede entenderse que este “salto” sea un fenómeno de la mente frente a la dinámica del estímulo gráfico. El dibujo, como memoria externa, está marcando el ritmo en el movimiento de las ideas, las cuales surgen de forma inesperada y otras veces se descubren o reinterpretan, originando cambios de dirección en el proceso de solución.

Este salto en la secuencia de trabajo lo trata Yukina (2008) en su libro sobre habilidades y estilos de diseño en estudiantes de arquitectura. Esta investigadora identifica un tipo de estudiantes con tendencia al razonamiento simultáneo predominantemente y ellos demuestran la capacidad de saltar de una tarea a otra. Este razonamiento lo explica cuando un estudiante piensa en un aspecto del diseño mientras resuelve otro. Consideramos entonces, que al estímulo gráfico puede sumarse el estilo de diseño y el modo de razonamiento de cada diseñador.

Las representaciones revelan, en efecto, información perceptible que dan lugar a interpretaciones y descubrimientos (Shön & Wiggins, 1992). Las interpretaciones perceptuales y los descubrimientos producen episodios de dibujo y transformación, cuya sincronía puede apreciarse en la Figura 46. De las verbalizaciones y los protocolos de actuación, se desprende que estos dos procesos cognitivos predominantemente son la respuesta a señales visuales que proporciona la representación existente, donde la interpretación, tiene forma evolutiva y el descubrimiento, accidental.

Ambos responden a diferentes tipos de señales visuales y mecanismos perceptivos en el boceteo estructurado. Tanto el descubrimiento como la interpretación, se ven influenciados por acciones de transformación recursiva del tipo de posición espacial (AT-Tpe), arreglo espacial (AT-Cre), organización de componentes (AT-O-Com), como se ilustra en la Figura 46. La

dinámica recursiva la sugieren Shön y Wiggins afirmando que el diseñador trabaja en una forma de *percepción constructiva*.

Si observamos la data referida en la Figura 46, se puede tener una idea de cómo se desarrolla la percepción constructiva en el caso digital. La reconfiguración de porciones del dibujo con procesos recursivos (AT-Tpe) tiene una coincidencia con el descubrimiento en un 80%. Estos surgen durante evaluaciones de forma y función (AE-Eval) en un 46% de las veces, en valoraciones de conceptos de diseño (AE-Econ) en un 18% y al hacer verificaciones con requerimientos y condicionantes otro 18%. Los porcentajes demuestran el potencial de la representación digital en la interconexión ente las acciones, especialmente, para advertir ideas o conceptos que no se tenían presente en un instante determinado.

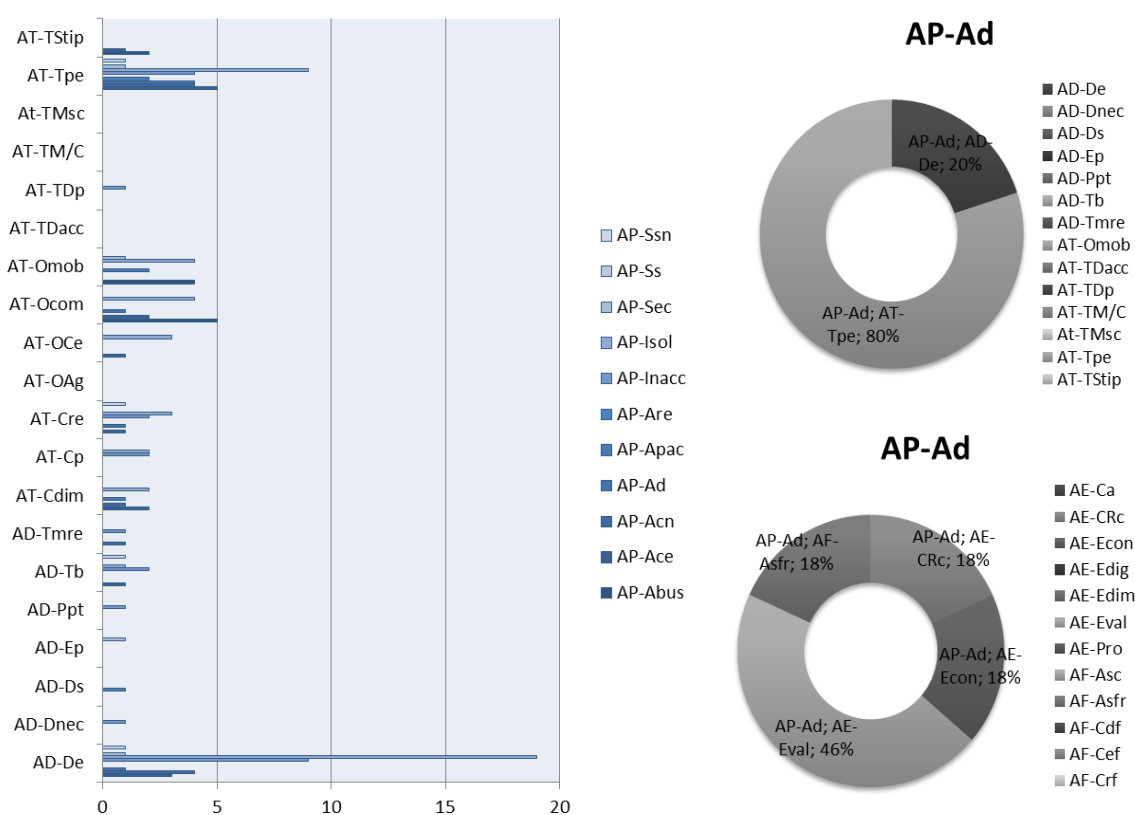


Figura 46: Dibujo, transformación y acciones perceptivas.

La forma de percepción asociada a una consecuencia no intencional de movimientos en la representación, como es el caso del descubrimiento, abre posibilidades hacia otros dominios que son relevantes al contenido de la memoria de trabajo, aunque el diseñador no este pensando en ellos para un momento dado. Básicamente, el descubrimiento aquí es una secuencia de acciones

dinámicas, entre ver y dibujar, que sumadas a la forma recursiva de las transformaciones significa para el estudiante un proceso vinculado a la atención, reconocimiento e interpretación.

La reinterpretación, por otra parte, se refiere a la transformación o adaptación de ideas previas expresadas en el dibujo. Esta acción también es referida como “la capacidad de transformar, desarrollar y generar nuevas imágenes en la mente al dibujar” (Menezes & Lawson, 2006, pág. 572). A pesar de que la reinterpretación es una característica cognitiva de los diseñadores expertos (Suwa & Tversky, 1997; Goldschmidt, 1998; Kavakli & Gero, 2002), los participantes en sus verbalizaciones revelaron referentes de transformación, con descripciones geométricas o analogías mentales, que permitieron seguir su rastro y precisarlos.

Observando acciones perceptivas (AP) y de visualización (AV), se identificó cómo se forman ideas de diseño desde referentes mentales y cómo es resultado de la interacción con las representaciones. Los segmentos 14, 15 y 16 de E1-L3, ilustran los argumentos mencionados con el uso de referentes analógicos y formales en la concepción de una idea de cerramiento espacial (Ver Cuadro 18).

Cuadro 18
E1-L3: referentes analógicos y formales

Segmento	Verbalización	Actividad cognitiva	Acción Perceptiva
14	Cuando empecé a hacer la <i>spline</i> , primero estaba como experimentando un poco con la forma porque recordé que el artista no quería invadir a la naturaleza, y recuerdo una de las clases de historia, que decía que los japoneses cuando trabajaban, ellos eran muy respetuosos con la tierra, porque para ellos era el activo más importante, entonces, no quise verlo como algo natural sino como algo de valor agregado a pesar de tener mucho valor.	Generar	AP-Sec AV-Vim Av-Vref
15	Entonces, como él quería respetar un poco la tierra, recordé que los japoneses, pues, elevaban a un poco más de 1m sus viviendas, de manera tal de que por debajo pudiese crecer cualquier tipo de planta y no invadía la naturaleza.	Generar	Av-Vref
16	Entonces, primero planteo el spline, después que lo planteo, lo elevo 1.20m, más o menos, y ahí es donde voy a empezar a emplazar mi edificación, o mi taller (16).	Componer	AD-De AD-Dmre

Los referentes geométricos en las citas del cuadro se indentifican por la verbalización de la forma de un cerramiento con una línea curva de tipo *spline* y los de analogía, por la alusión a algunos aspectos de la cultura japonesa que recuerda el estudiante de una clase de historia.

La Figura 47 evidencia el comportamiento resumido en el Cuadro 18, donde las acciones perceptivas asociadas a la reinterpretación con referentes formales, provienen de la atención a características de elementos y configuraciones en la representación. Estas se identifican como AP-Ace, AP-Acn, AP-Sec. Los referentes por analogías, en cambio, se inscriben en acciones de visualización de imágenes mentales de conceptos de diseño (AV-Vcon), visualización de referencias externas (AV-Vref) y de visibilización en proyecciones tridimensionales, isométricas o de perspectiva (AV-3D), de configuraciones en la representación.

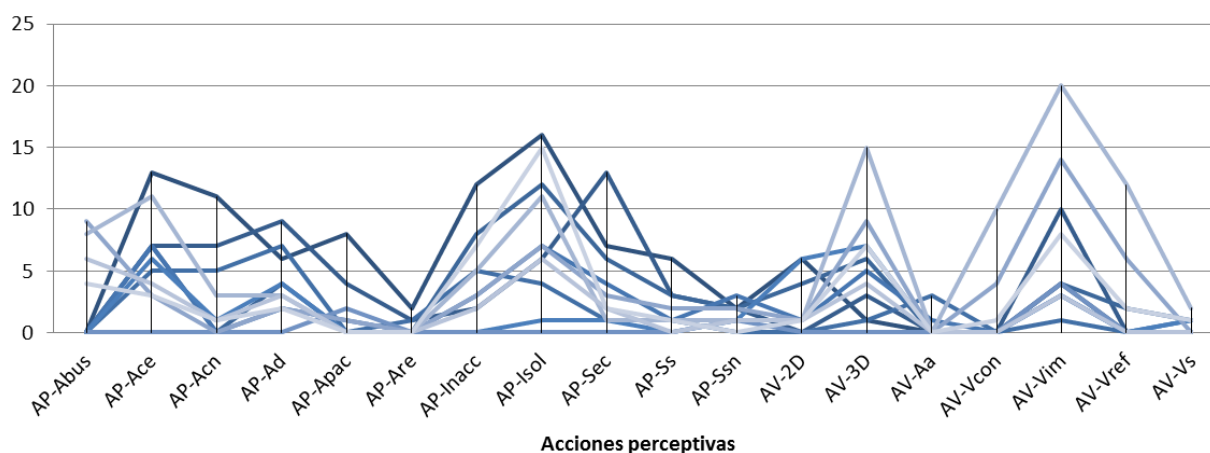


Figura 47: Máximos de acciones perceptivas y de visualización.

Como puede entenderse la reinterpretación varía según los mecanismos de percepción involucrados en la acción. Según Fish & Scrivener (1990), si es por reconocimiento, esta deriva de la percepción del contenido visual y la información de la memoria. En el nivel más bajo se reconocen formas simples, curvas y colores, asociándolos, tal vez inconscientemente, con el contexto recordado. El reconocimiento visual en tres dimensiones permite mayor número de connotaciones que en dos dimensiones, a pesar de que las teorías perceptivas explican el hecho de que podemos reconocer y hacer connotaciones de un objeto desde cualquier punto de vista (Arnheim, 1969).

El comportamiento de los participantes en relación a este aspecto específico de la dimensionalidad del área gráfica digital (2D o 3D) y la percepción, se muestra en la Figura 48.

Las coincidencias simples entre las acciones y el espacio de trabajo, confirman que se reconocen características y patrones así como la espacialidad de objetos independientemente de la vista. La Figura 48 evidencia, por ora parte, el papel de la visión tridimensional en la ocurrencia de descubrimientos e inferencias.

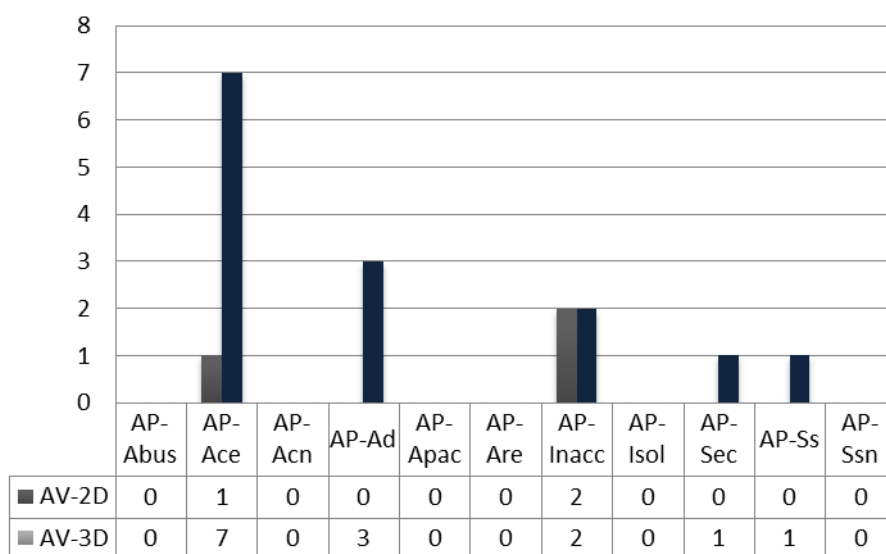


Figura 48: Acciones perceptivas y la dimensionalidad del espacio.

Para Larkin y Simon (1987), la facilidad y la rapidez para realizar inferencias depende de cuán disponibles, y a que velocidad, están los operadores de reconocimiento y síntesis para modificar y aumentar la estructura de los datos. Estos autores argumentan que las habilidades de reconocimiento de información son muy sensibles a la forma en cómo el tipo de representación exhibe información ante los sentidos o la memoria. Es decir, que el reconocimiento se ve condicionado por el modo en cómo una representación hace evidente la información.

Las entidades y sus relaciones geométricas se identifican y se verbalizan claramente en los protocolos. La forma explícita de información digital, acerca de la geometría y topología de las entidades y conjuntos representados, dispone la condición necesaria para facilitar inferencias. Puede apreciarse esta claridad en el segmento 17 de E3-L3, donde se informan características geométricas de las entidades en la representación del concepto de diseño con propiedades del círculo áureo:

Las líneas auxiliares simplemente, estoy dibujando esas proyecciones de líneas donde tocan la retícula, donde tocan la tangente de la circunferencia. Estoy dibujando líneas para

tenerlas como referencia. Si estuviese buscando el círculo aurístico simplemente termino de rellenar todos esos espacios, todos los abatimientos de las líneas y logro dónde va a cerrar la composición.

Sin la representación es muy difícil clarificar las características mencionadas y más aún realizar inferencias a partir de ellas. Aunque puede pensarse, que con suficiente conocimiento la misma información puede manejarse mentalmente, el costo de procesamiento para inferencia puede ser mayor si se trata de diseñadores noveles o estudiantes. La Figura 49 muestra la estrecha relación entre representación e inferencias. Larkin y Simon (1987) sostienen que esto se debe fundamentalmente a que la representación y el sistema visual, facilitan la mayoría de las *inferencias perceptivas* necesarias para la resolución de problemas de diseño.

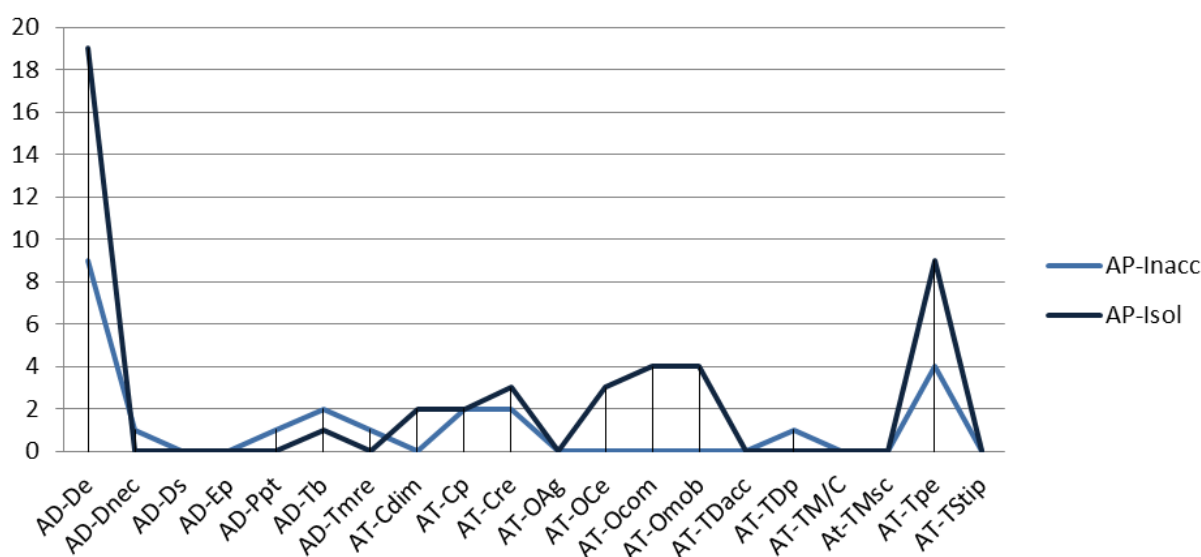


Figura 49: Acciones de dibujo e inferencias

Las inferencias perceptivas, para estos investigadores, son aquellas relacionadas con “ver mentalmente”, es decir, las inferencias que son similares a las obtenidas en experiencias perceptivas anteriores. Este tipo de generaciones aparecen con facilidad en los estudiantes, a diferencia de otro tipo de inferencias, como pueden ser las simbólicas. No obstante, también es cierto, que las inferencias perceptivas se han practicado mucho más en la formación académica que las simbólicas.

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. Esta manipulación viso-mental, asistida por la gráfica, tiene consecuencias apreciables en el diseño, pero son iteraciones difíciles de registrar y observar. En los protocolos se pudieron encontrar rastros de estas transformaciones, sobre todo en secuencias de revisión como la realizada por E1-L3, en el segmento 23 de su verbalización:

Decidí correr un poco más, porque sentía que el espacio estaba quedando demasiado gigante para dejarlo completamente libre. Entonces perdí un poco la escala, pero después me puse a revisar todos los espacios para ver más o menos qué percepción podría tener o que o qué visualización podría tener y me agradó.

Esta forma mental-cognitiva no es ámbito de esta investigación y solo se hace referencia a ella, en este momento, con fines de diferenciación conceptual.

El razonamiento perceptivo inducido por la representación se circunscribe a las propiedades y funciones de la forma visible. Ullman y Craig (1990) reportaron que en el proceso de diseño mecánico esbozar conformó el 67% de las actividades realizadas. En contraste con este valor, el porcentaje de las acciones físicas de diseño y transformación simples encontradas en este estudio constituyen el 45% del total de las acciones cognitivas, como se refirió en el capítulo anterior. El otro 17% se distribuye entre las acciones de percepción, 6% de función, 10% de visualización y 22% de evaluación. Esta generalidad de proporciones permite adelantar conclusiones respecto a lo que perceptivamente la representación estructurada puede significar para la comprensión y retroalimentación de las ideas de diseño en el formato digital.

Según los porcentajes indicados podemos afirmar, que el diseño digital es la consecuencia de un conjunto de operaciones viso-mentales de tipo perceptiva, funcional y evaluativa conducidas por acciones de dibujo y transformación recursiva. Además, se considera que la forma concreta de la representación de los datos de diseño proporciona suficientes pistas visuales de conexión mental para la comprensión y revisión de las ideas. El boceteo estructurado, por consiguiente, apunta a la memoria de trabajo para la asociación, inferencias, concepción de configuraciones funcionales y evaluación de ideas de diseño en la fase temprana. Asimismo,

descarga al diseñador de las valoraciones relacionadas sobre sus propias destrezas de dibujo, que muchas veces confunden y limitan la concreción de sus pensamientos.

En resumen, la percepción en el formato digital, participa en el proceso de construcción gráfica de la idea, se evidencia cuando el estudiante genera nuevas imágenes, ve su idea representada y se da cuenta de la consecuencia de los cambios realizados a la idea original. Este proceso de ir y venir de la imagen a la mente, se repite hasta que el diseñador está satisfecho con una solución resultante. De las relaciones más sobresalientes observadas durante la dinámica de la ideación, es precisamente la conexión de las acciones perceptivas de atención con las de representación digital (AD, AT).

Shah y otros (2000), con base en el dibujo manual, consideran que la creación de la representación mental, como se ha mencionado, ocurre en la dirección representación-diseñador y esta depende del lenguaje, la calidad de la representación y, el dominio y contexto del conocimiento. Por lo tanto, los ciclos iterativos de representación suceden, efectivamente, hasta que el diseñador se “contenta” con sus interpretaciones o comprensión de la forma producida. Como también ya se ha introducido en párrafos anteriores, las habilidades de dibujo participan en los mecanismos perceptivos, Shah y otros, consideran que la habilidad y la calidad del lenguaje gráfico, que varía entre los diseñadores, facilita la forma de expresarse y por consiguiente su *feed-back perceptivo*.

La reciprocidad entre la representación y la atención se indica en la Figura 50. El intercambio cognitivo entre las acciones de dibujo, transformación y los procesos perceptivos, especialmente aquellos asociados a la observación o interpretación de una idea, se manifiestan en cinco acciones de atención: búsqueda, reconocimiento de características existentes y nuevas, descubrimiento y control de tamaño por cómputo de área.

Se aprecia que los estudiantes con representaciones digitales son capaces de buscar, reconocer e interpretar características nuevas y existentes en una dialéctica representación-atención, y en una forma parecida a como se ha hecho referencia del diseño con dibujo tradicional (Jupp & Gero, 2010). La percepción visual en este caso se considera durante la convergencia de la representación gráfica de los elementos y símbolos arquitectónicos, con la descripción de tales elementos en términos de tamaño y disposición en el espacio. Según la gráfica señalada las acciones de dibujo puramente (AD-De) conducen los procesos de atención

hacia características nuevas (AP-Acn) y existentes (AP-Ace), mientras que con acciones de transformación, del tipo AT-Tpe y AT-Stip, se conducen procesos de descubrimiento AP-Ad. Por otra parte, las transformaciones utilizadas para organizar espacios (AT-Ocom, AT-Omob) se relacionan con acciones de búsqueda, ya sea de una composición espacial, de elementos o componentes.

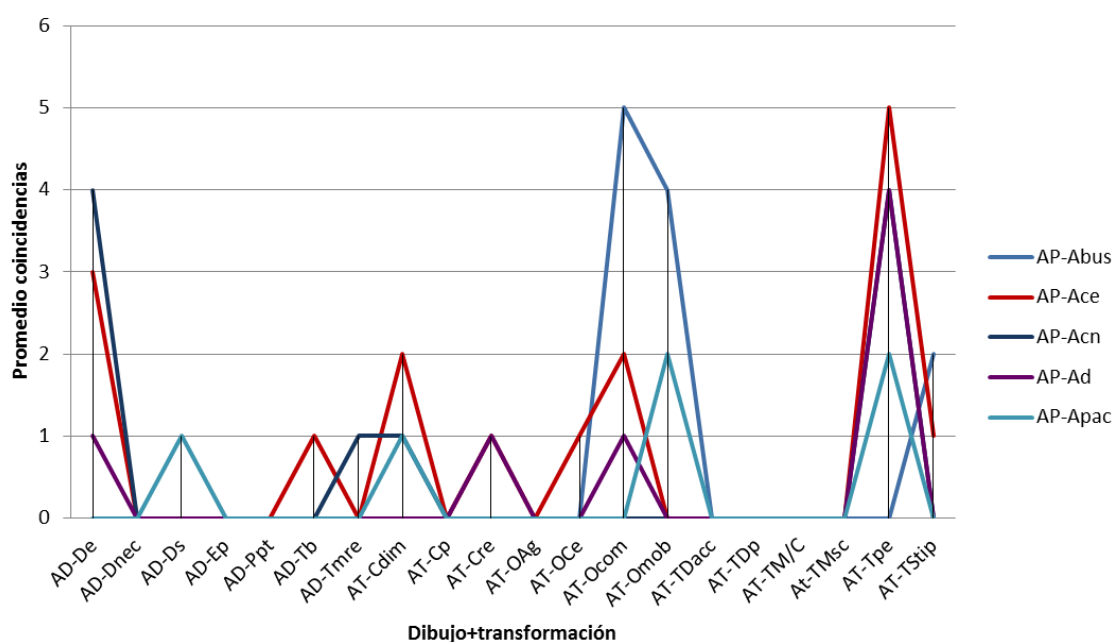


Figura 50: Relaciones dibujo y transformación en el rango de la atención.

En el siguiente segmento (E1-L1:72) se observa un episodio de composición, donde el estudiante atiende características, transforma características, realiza inferencias y evalúa el lenguaje y la herramienta de trabajo:

Ahí decidí montar una sala, volví a girarla porque bueno volví a girar el mobiliario, porque pensé que ya que estoy trabajando en un espacio ortogonal, él debería responder a las mismas líneas de las paredes. Entonces me parece bastante cómodo, me parece muy muy muy cómoda la herramienta de espacio con la que yo puedo girar las cosas.

Desde la perspectiva del estudiante la imagen digital estructurada es perfectamente comprensible al verla. El lenguaje unívoco de la gráfica y la facilidad para disponer los elementos, proporcionan una interacción visual que, perceptivamente, conduce a establecer relaciones e inferencias desde lo particular hacia lo general y viceversa (Arnheim, 1969), durante acciones de diseño.

Aprovechar las características percibidas en transformaciones laterales, es posible por procesos de identificación, diferenciación y asociación que ayudan a mantener la coherencia entre los elementos y las estructuras organizativas del espacio arquitectónico. Este orden hace posible que el estudiante se concentre en lo que pertenece a determinados conjuntos o agrupaciones de elementos dentro de la forma y aquello que no lo está. A propósito de esto, Arnheim (1969) explica que una figura puede apreciarse como parte de otra, ya que la mente es capaz de organizar patrones visuales, espontáneamente, de una manera tal, que percibe al más simple como derivación de una estructura más compleja. Si esto ocurre los diseñadores pueden identificar con facilidad semejanzas, coherencias y estructuras organizacionales en el formato digital, ya que este preserva, por una parte, la lógica de desempeño entre entidades del modelo y, por otra, la conexión de lo modelado con la realidad arquitectónica.

De acuerdo con los argumentos discutidos puede entenderse que 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 tanto su forma de trabajo como sus ideas; explicación también legítima para los arquitectos. Por consiguiente, dibujar constituye la vía principal para visualizar soluciones de diseño y cristalizar procesos de pensamiento, en términos de explorar ideas y soluciones funcionales. Los resultados demuestran además que la forma estructurada de boceteo no impide la percepción y generación de conceptos del tipo viso-espacial y la interacción con este tipo de gráficos no merma a transformación lateral, tal y como afirmara Gursoy y Ozkar (2010).

5.3 De los procesos evaluativos y el progreso de la solución

La evaluación es considerada una de las actividades más importantes en el proceso de solución de un problema arquitectónico (1969). El papel protagónico, que muchos investigadores le han atribuido, resulta de su trascendencia en la estructura iterativa básica del proceso de diseño, esencial para los ciclos de retroalimentación. A esto se le suma la propiedad capital de dar sentido a la triada de análisis, síntesis y evaluación en la solución del problema (Kalay Y. , 2004). Teniendo en cuenta estas consideraciones, se entiende por qué cuando el diseñador desarrolla una idea, para alcanzar cualquier objetivo de diseño, realiza tantas evaluaciones. Los porcentajes de evaluaciones asociadas a acciones de representación son elocuentes. El 23% del total de acciones vinculadas a la representación digital le da el puesto como el proceso cognitivo

que más utiliza un estudiante para resolver un problema de diseño arquitectónico (Ver Figura 51).

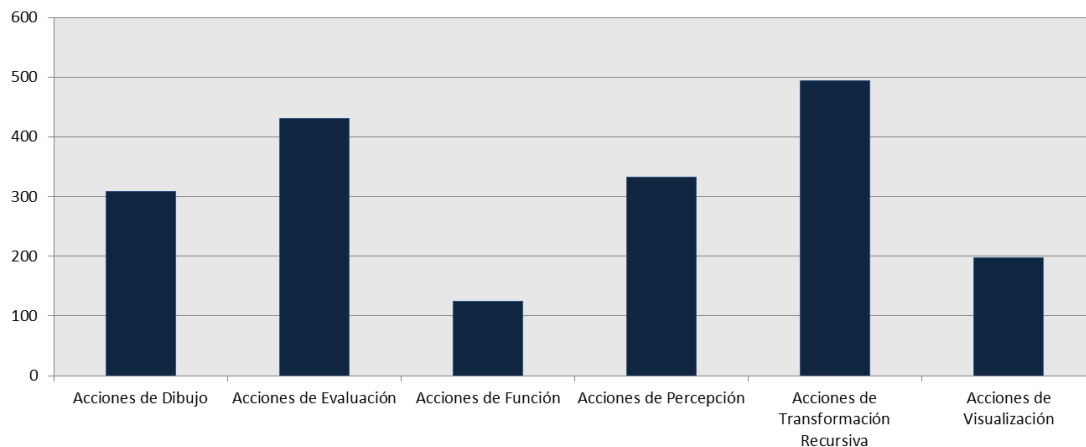


Figura 51: Totales de acciones cognitivas

A través de la evaluación el estudiante ha demostrado que puede conocer los efectos de las decisiones que va tomando sobre cada parte de la solución y, además, prever cuál es el siguiente paso en el proceso. Por lo tanto, evaluar no solo le permite orientar el proceso generativo, enmarcado los objetivos principales de la problemática arquitectónica, sino que le posibilita la definición y clarificación de la solución. De igual forma, lo dispone para el descubrimiento de oportunidades, lo incentiva para la exploración y finalmente lo induce a realizar correcciones oportunas a fin de conseguir la mejor solución posible.

La evaluación mediada por la herramienta digital es un proceso cíclico e iterativo y se asocia estrechamente con la particularidad recursiva de las acciones de representación. Esta actividad tiene diversas fuentes de información, por un lado, están los requerimientos y condicionantes del problema, los juicios y criterios de diseñador y los conceptos de diseño. Por otra parte, están las soluciones parciales que surgen del proceso mismo, es decir, que el resultado de una última operación de evaluación es el punto de partida de la siguiente evaluación. La excepción a esto es cuando la información proviene de lo que rodea externamente el proceso de la solución, no de ella misma, y existen otras fuentes como aquellos conocimientos acumulados por la experiencia de diseño con otros problemas resueltos, como puede apreciarse en el segmento 18 de E1-L1:

Como ya habíamos hablado de que era 2.60 cada uno de los niveles. Al principio yo pensé en trabajar 3.50 porque ya he hecho en otros proyectos, en base al tipo de losa que he trabajado, el tipo de luces que iba a trabajar; siempre he trabajado con casetones este tipo de proyectos, por la versatilidad que me da las luces, que me da el espacio.

En esta verbalización el estudiante exterioriza su experiencia en la resolución estructural y explica cómo ha sido su proceder en el caso de otros proyectos y esos resultados qué incidencia tienen en la solución en curso. Esto es, una vez consideradas las características de desempeño y comportamiento de la losa el estudiante predice la solución en los términos de versatilidad espacial.

El comportamiento que está siendo predicho por el estudiante, *la versatilidad*, debe ser comparada con aquello especificado en los objetivos, *2.60 m de altura*, y el resultado de la comparación deben ser juzgado para lograr una evaluación con implicaciones sobre la solución general. La consecuencia de esta evaluación le permitió identificar áreas que necesitan ser mejoradas, o áreas cuyo desempeño comprometa otras condiciones del diseño, como lo expresa en el segmento 20:

Sentí que era muy poco la altura para el espacio como tal, porque me puse a pensar, oye, si va a tener servicio ¿cómo voy a pasar los servicios? o ¿va a tener cielo raso, va a ser así?

Si la evaluación depende de la información de la entidad arquitectónica, como factor influyente, es el recurso gráfico utilizado para representar los atributos de la solución evaluada lo más determinante. Por consiguiente, con la representación digital se observa que los estudiantes obtienen, lo que significa para Kalay (2004), condiciones ideales para la expresión de una solución. Se hace referencia, estrictamente apegado a lo que afirma este investigador, a que es semánticamente correcta, completa y eficiente. La semántica adecuada de la representación evita que información contradictoria pueda conducir a una evaluación incorrecta.

Desde aquí, la representación estructurada permite que a través de entidades concretas, como paredes, puertas, ventanas o escaleras las lecturas funcionales y de configuración de áreas arquitectónicas sean inequívocas desde la esencia. Correspondencia esta que puede identificarse en la gráfica de relaciones de dibujo de entidades y procesos semánticos de evaluación y función de la Figura 52. En esta figura se aprecia cómo casi todos los procesos se enlazan, especialmente, con las acciones de dibujo de entidades.

Una representación completa desde los modelos paramétricos se obtiene a través de datos que simulan los atributos de los elementos arquitectónicos reales, no solo como elementos individuales sino en términos de relaciones de unos con otros, por ejemplo, la relación indiscutible de una ventana con la pared que la aloja y esto conduce a interpretaciones directas.

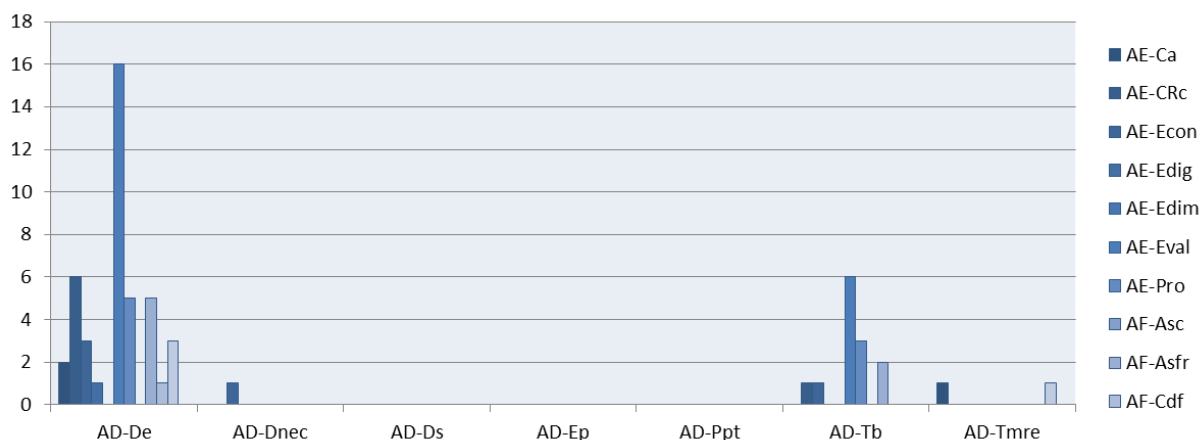


Figura 52: Relación dibujo y procesos semánticos.

De otra forma, la representación es eficiente para la solución si a través del modelo o recursos del software se puede encontrar rápidamente información pertinente, que atañe a la valoración de requerimientos y condicionantes, criterios o procedimientos adecuados para el seguimiento y curso de la solución.

Por ejemplo, cuando un estudiante realiza una evaluación de tamaño de áreas, en el formato manual tiene que hacerlo visualmente, y en los programas paramétricos no tanto ya que cuenta con recursos de cálculo automatizado, como el reporte de áreas en tiempo real. Esta opción permite que a través de la representación las decisiones que conciernen al cambio de dimensiones del espacio se informen en valores y por consiguiente el ciclo evaluativo se establece como un evento exploratorio. Esto se aprecia en el segmento 30 de E1-L1:

En base a ese revisaba la proporción de áreas con la herramienta de las etiquetas, y eso me ayuda mucho porque no tenía que pensar, oye, si tiene o no tiene, si tiene que calcular, o tengo que dividir la forma para saber si realmente tengo el área que necesito o no. Entonces eso me facilitó mucho trabajo, ese tipo de herramienta me facilitó mucho el trabajo; me ayuda a mantener todo en base al mismo esquema de dimensiones.

En general, los protocolos demuestran que de la manipulación gráfica proviene gran parte del estímulo para la evaluación. No obstante, Newell y Simon (1972) afirman que los procesos de respuesta son tanto externos como internos. Considerando esta influyente posición, se procuró distinguir en los protocolos la eventual diferencia entre una asociación mental para evaluar y los mecanismos de contraste a través de la representación. En algunas secuencias registradas e inscritas en la afirmación de Newell, como las del informe de E1-L1, segmentos 48 y 49, se observa el trabajo conceptual y el mecanismo de representación en la evaluación de conceptos de diseño:

Yo ya más o menos había pensado, tenía un esquema de lo que yo ya quería dentro del apartamento como tal, para que me pareciera más cómodo (48).

Entonces, originalmente me traje un sofá, pero pensé, oye, ¿lo voy a poner ahí?, bueno entonces, originalmente coloque un mueble. Traté de girarlo para que me diera el sentido, queda mejor esta esquina?, es más funcional, o es menos funcional?, o realmente lo necesito o no? Me pareció, ahí no debería estar, y lo cambié de lugar (49).

Además, en esta verbalización, se aprecia que el estudiante utiliza un conjunto de preceptos para la evaluación de la configuración espacial. Una secuencia de operaciones se llevan a cabo para transformar una propuesta inicial y la decisión de si esta satisface o no ciertos criterios funcionales. Al unísono, surgen las nuevas situaciones que deben ser valoradas y el nuevo estado del problema es redefinido por las transformaciones realizadas.

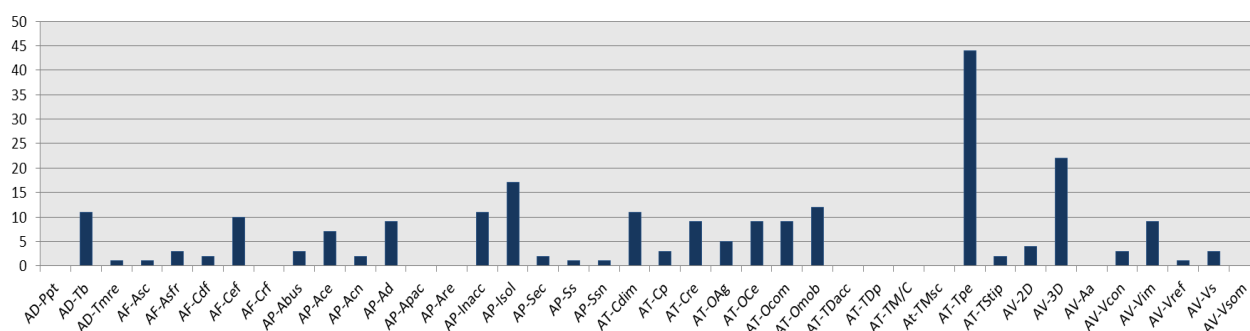


Figura 53: Acciones cognitivas en evaluaciones iterativas

En algunos episodios las secuencias de prueba conducidas por evaluaciones están dirigidas solo por transformaciones recursivas aplicadas a entidades o sus configuraciones, como la citada anteriormente. En todo el espectro de acciones de representación las que definen al proceso

evaluativo como iterativo son las de dibujo del tipo AT-De, AT-Tb junto a las de transformación del tipo AT-Cdim, AT-Cp, AT-Cre, AT-AG, AT-Oce, AT-Ocom, AT-Omob, AT-Tpe y AT-Stip, como se muestra en la Figura 53.

Entre los procesos perceptivos, también ilustrados en la misma figura, que están presentes en la evaluación iterativa son la atención en la forma de AP-Abus, AP-Ace, AP-Acn, AP-Ad, AP-Inacc, y las inferencias del tipo Ap-Isol, AP-Sec. Igualmente, se atribuye a los procesos de visualización, AV-2D, AV-3D, AV-Vcon, AV-Vim, AV-Vref y AV-Vs su potencial iterativo en la evaluación.

En otras palabras, la secuencia de transformaciones con fines evaluativos comprende la identificación en el modelo digital requerimientos y condicionantes sobre características nuevas y existentes. Los descubrimientos e inferencias acompañan al proceso evaluativo desde la manipulación de dibujos en desarrollo. En el orden perceptivo, las acciones visualización y visibilización de características nuevas y existentes tuvieron consecuencias en la valoración y contraste de conceptos y limitantes. Si se han de definir los principales procesos en términos de acciones durante la evaluación, entonces se puede indicar que según las acciones mencionadas en la evaluación predomina la secuencia de procesos de atención, prueba y manipulación.

Según Eastman (1969), el procesamiento de la información durante la solución de un problema de diseño sólo puede entenderse a fondo cuando se tiene en cuenta la influencia de los modos naturales de representación. Eastman se refiere, particularmente, a las acciones y a las transformaciones que le corresponden a la información de diseño e ideas en progreso. Por lo tanto, si el diseñador requiere información para llevar a cabo una evaluación representa gráficamente y este hecho fomenta la identificación de limitaciones pertinentes a la valoración. Asimismo, cada representación implica operaciones que sólo pueden transformar los elementos comprometidos en la acción de evaluación y el tipo de información relacionada, esto significa que el subconjunto de entidades graficadas se manipula en un contexto cognitivo definido por las acciones de representación.

Cabe recordar, en este momento, una cuestión interesante sobre la evaluación y que Eastman (1970) logra reconocer en su estudio sobre el análisis de la intuición en el proceso de diseño. El hecho es que sus participantes saltaron de las ideas a las soluciones, antes de analizar completamente el problema. Los diseñadores siempre generaron elementos de diseño y luego

determinaron las cualidades asociadas. Al respecto Eastman afirma, que esto refleja la manera de cómo los arquitectos dirigen las soluciones y sostiene que para ellos es la evaluación lo más importante y no el análisis del problema, como pudiera pensarse.

Lejos de nuestra intención está el querer afirmar que el análisis del problema no es significativo en el diseño, lo que se quiere destacar con esto es que los diseñadores actúan con mucha libertad cuando se trata de los objetivos y limitaciones preestablecidas. Aun cuando los objetivos, requerimientos y condicionantes del problema hayan sido previamente establecidos, como en nuestro caso, el estudiante no los trató como principios “sagrados” en el desarrollo de la solución, sino que más bien los desentrañó progresivamente según sus implicaciones en diseño. Aquí, se puede hasta llegar pensar que los redefinió a conveniencia.

Se comparte la postura de Eastman de que las acciones y procesos evaluativos dominan el diseño. Este referente también lo discute Ömer Akin (1986) desde sus estudios de protocolo. Al respecto el investigador afirma que, primeramente, es un comportamiento único en arquitectos y segundo, que sucede por la constante generación de nuevos objetivos de trabajo y redefinición de tareas durante la solución del problema.

Puede decirse entonces, según lo observado en el presente estudio, que las limitaciones iniciales del problema sirvieron para dar unos primeros pasos con seguridad, pero fue en el proceso de diseño donde ocurrió la construcción de los argumentos que condujeron las exploraciones de conceptos, evaluaciones y soluciones parciales en cada episodio de diseño.

Otros estudios apoyan la postura del diseño por evaluación y sugieren que los diseñadores se mueven rápidamente de las conjeturas a la solución, utilizando la evaluación como base para la exploración y definición conjunta del problema y la solución (Akin Ö. , 1986). Ahora, no todos los solucionadores de problemas utilizan esta estrategia, como afirma Akin, los científicos, por ejemplo, tratan de definir o entender el problema completamente antes de hacer intentos de solución. Esta diferencia, la observa Lawson (1979) en sus estudios sobre el comportamiento de científicos y arquitectos en la solución de problemas. Él concluye, que los científicos intentan descubrir la estructura del problema primero y los arquitectos, a diferencia, generan una secuencia de soluciones parciales que evalúan, según sus criterios, hasta conseguir una solución aceptable. Con esto Lawson clarificó el enfoque de los científicos desde el problema y con respecto a los arquitectos asume que se basan en la estrategia.

Lawson repitió el mismo estudio de los expertos en estudiantes y no encontró la misma diferencia en la estrategia de resolución de problemas. Según él la diferencia está sobre todo en la experiencia. A este respecto, los participantes de esta investigación demuestran tener un enfoque centrado en soluciones pertinentes. Los estudiantes tienden a utilizar conjeturas e inferencias como medio para comprender el problema y desarrollarlo. Como ya se ha aclarado, el problema no puede entenderse aisladamente de las consideraciones acerca de la solución y por ello, es natural, que el estudiante haga conjeturas como recurso cognitivo, para explorar y analizar el problema a lo largo de la solución.

Los ciclos de evaluación sobre soluciones propuestas recuerdan al estudiante qué cuestiones debe tener presente. En tal sentido, el problema y la solución ciertamente co-evolucionan por acciones de evaluación. La co-evolución en los espacios de solución, que aquí llamamos espacios cognitivos de registro definido, Dorst y Cross (2001), en estudios con diseñadores industriales señalan igualmente que se comienza con explorar el espacio del problema, y lo usan tanto para generar algunas ideas iniciales como para darle forma al concepto de diseño.

El comportamiento centrado en la estrategia de solución parece ser la conducta mayormente adoptada, y por consiguiente la actuación adecuada para responder a los problemas mal definidos. Tales problemas puede que nunca se conviertan en bien definidos, y los diseñadores se apeguen a la estrategia, para ser más realistas, en el camino a una solución satisfactoria de un problema mal definido.

En la resolución de problemas de diseño no existe una fórmula que permita garantizar que las acciones planificadas tengan los efectos deseados. Por esta razón el proceso de diseño se asocia, razonablemente, con la búsqueda y la exploración. La búsqueda es un proceso que se emplea cuando el resultado de la acción no es acertado en principio y, por lo tanto, no hay seguridad de que la acción propuesta produzca las consecuencias deseadas. Con una porción del segmento 40 de E3-L3, se ilustra esta situación:

...Entonces, lógicamente, la estructura es protagonista. Yo no puedo hacer un proyecto si no estoy bien seguro de cómo va estar estructurado, o cómo va a estar anclado o cómo va a estar sustentado. Entonces la viga de hormigón, igualito en 300 x 600 para garantizar que esto sea posible. Una columna, porque estamos hablando de bastante altura, a lo mejor no

es suficiente. Aquí estoy evaluando, analizando esto, se ven demasiado endebles, se ven como 4 palitos de fósforo.

La evaluación determina qué tan bien especificada está la estructura propuesta por el estudiante y su repercusión en el diseño. Podemos encontrar más adelante en el mismo informe oral que las repercusiones insinuadas, en cuando a la delgadez de los elementos, no se ajustan a los criterios de desempeño estructural y, por lo tanto, la validación prescrita tiene lugar para cambiar lo supuesto.

En resumen, el diseño arquitectónico no es un proceso aleatorio, pero si es una búsqueda iterativa, por ensayo y error, con base en el concepto pensado por el diseñador dentro del ámbito del problema. Según Akin Ö (1986), este comportamiento se debe a que el diseñador advierte y evalúa expectativas de una solución emergente, produciendo un ejercicio dialógico donde adapta y modifica los objetivos iniciales y la solución, hasta que ambos convergen en una respuesta aceptable para el diseñador, o dicho en palabras de Simon (1973) una respuesta satisfactoria.

5.4 Transformaciones de representación y transformaciones de diseño

El boceto estructurado digital es una representación que media, al igual que el tradicional, entre la información descriptiva de diseño y la representación visual de su pensamiento. La interacción con la representación, sobre todo el dibujo, ha revelado la estructura de la actividad mental, y la relación de complementariedad entre dos formas de representación: verbal conceptual y visual-gráfico (Goel & Pirolli, 1992; Lim, Qin, Prieto, Wright, & Shackleton, 2004).

Igualmente, se ha señalado la importancia de las representaciones de diseño en la construcción de una idea mentalmente (Akin, 1982). Aunque la mente tiene sus propias representaciones internas, los dibujos cumplen con la función de comunicar las intenciones de diseño externamente y eso permite el razonamiento. Shön (1992) destacó, en referencia al procesamiento interno de las ideas en los diseñadores, que lo que ocurre es una “conversación” de lo interno con lo externo en términos de evaluación reflexiva, exploración de ideas y modificación de ideas.

El procesamiento de las ideas, por lo tanto, se apoya en mecanismos de modificación gráfica, los cuales, desde el medio digital, proporcionan una manera particular de ver el proceso

de ideación en el diseño. Según lo observado en esta investigación, durante el diseño asistido ocurren dos formas de transformación, una que denominaremos transformaciones de representación y otra, ya definida como transformaciones de diseño. Vinod Goel (1995) sugiere que los diseñadores no generan ideas independientes, sino que conciben una sola idea, o algunas ideas relacionadas, y la desarrolla a través de transformaciones. Al respecto, identifica dos tipos de transformaciones de diseño: laterales y verticales. Las transformaciones laterales convierten una idea en otra diferente, mientras que las transformaciones verticales perfeccionan la versión de una misma idea.

Las transformaciones de Goel, se enmarcan en el proceso de diseño en general y mediado por la representación tradicional. El autor establece que las transformaciones laterales están asociadas a la fase temprana y las verticales a las fases tardías, como el diseño detallado. Las transformaciones no solo fueron relacionadas con un momento en proceso de diseño, sino también con el nivel de detalle en la expresión gráfica. Otro aspecto que considera Goel (1999) es que las representaciones menos estructuradas, como los bocetos abstractos, median mejor en la ideación y una forma más precisa de dibujos se corresponde con la fase de diseño detallado.

No obstante, en algunos casos cabe cuestionar la idea de la mediación abstracta como mejor para la ideación, ya que en los protocolos estudiados se observaron ciertas ventajas de la mediación estructurada para cognición. Es el caso de cuando no participa la auto-evaluación de las habilidades de dibujo en el desarrollo de una idea. Se observa entonces que en las intenciones del participante domina la evolución conceptual más que las destrezas para representar las imágenes mentales. Aunque investigadores influyentes como Lawson (2010) consideren al respecto que los arquitectos necesitan habilidades específicas para desarrollar el sentido visual y ser capaces de dibujar bien, con el diseño digital, se descarga al diseñador de las posibles dificultades que trae no saber dibujar y lo conduce en cambio hacia el dominio de las habilidades de diseño.

Las transformaciones de representación, concretamente, se exteriorizan en los protocolos como simples y recursivas. Las simples, se refieren a las transformaciones que afectan la disposición de entidades de diseño en el espacio, y estas se utilizan, principalmente, para posicionar una entidad por movimiento, rotación o escalado en el plano de dibujo. Las transformaciones recursivas, por su parte, se asocian al uso de transformadores de forma y

posición que se aplican repetidamente a una misma una entidad o conjunto de entidades con fines exploratorios o evaluativos en una transformación lateral.

Una transformación de representación, en otras palabras, se refiere al cambio que origina secuencias de modificación sobre una entidad digital, las cuales actúan sobre sus características geométricas, propiedades esenciales, restricciones de posición y dimensión, atributos de desempeño o la sustitución por otra entidad.

Según esto, la transformación puede clasificarse de acuerdo a su consecuencia en el proceso cognitivo, sobre todo al potencial que tiene el resultado en el modelo para incentivar nuevos cambios. En este ciclo de acciones se encontraron tres tipos de transformaciones recursivas: esenciales, organizativas y correctivas. Se denominan esenciales, aquellas que originaron recursividad por cambios de posición de entidades sean subcomponentes de sólidos, como caras, aristas y vértices, o toda la entidad dentro de la configuración espacial. Igualmente, se llamarían transformaciones organizativas aquellas que se realizaron para estudiar o definir una configuración espacial a través de la disposición de entidades. Por último, las transformaciones correctivas, se ejecutaron para editar parámetros de dimensión o la estructura de una entidad.

Según Morin (2006) un proceso recursivo es aquel cuyos resultados son necesarios para que siga produciéndose el proceso de cambio continuo, especialmente se refiere a que los productos son recursivos y los efectos también son recursivos, es decir, al mismo tiempo son causas y productores de aquello que los produce.

Morin ejemplifica los ciclos de recursividad haciendo uso del concepto de especie humana, y según él esta produce a los individuos quienes luego la producirán, en otras palabras, se es producto y más tarde productor de lo que lo produjo. Si seguimos el ejemplo, se puede, por analogía, explicar la *recursividad cognitiva* para el caso del razonamiento visual mediado digitalmente. Entonces, si el pensamiento es estimulado por transformaciones de representación, el dibujo como producto desencadena efectos en forma de procesos cognitivos y estos a su vez promueven acciones de dibujo.

Definitivamente los ciclos de recursividad interna diferencian la fase de ideación hasta ahora definida. Jin y Chuslip (2006) plantearon la relación iterativa entre actividades cognitivas de análisis, generación, composición y evaluación, no obstante, en su modelo no describen que existe un “comportamiento” dinámico de los procesos cognitivos en el interior de cada actividad.

Es por ello que se considera un aporte relevante de esta investigación la influencia de las acciones de transformación recursiva en la definición de las actividades y para la cual se aproxima una caracterización dinámica mayormente recursiva.

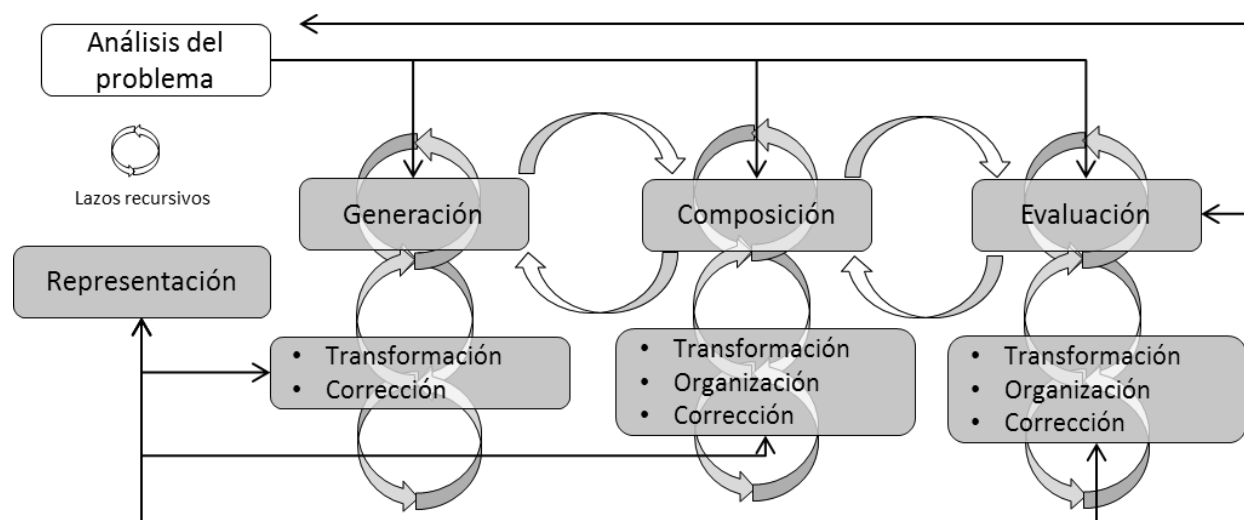


Figura 54: Dinámica recursiva en el proceso de ideación.

La idea de recursividad cognitiva, se ilustra en la Figura 54, e implica que en las actividades de generar, componer, y evaluar se utilizan patrones de transformación (transformación, organización, corrección) para estimular la generación de ideas así como la composición y evaluación de conceptos. Estas acciones recursivas ocurren internamente, mientras que externamente las actividades mantienen sus relaciones iterativas tal y como las modelara Jin y Chusilp (2006). El resultado del primer ciclo recursivo interno es una respuesta parcial a la estimulación gráfica que, por su velocidad interactiva, promueve la constante experimentación durante la generación, composición o evaluación de una idea.

Dentro de las investigaciones más cercanas a contrastar, con respecto al estudio de las transformaciones de dibujo y su influencia en la ideación, se encuentra el trabajo de Prats y otros (2009). Este describe el proceso de exploración y promoción del conocimiento a través de transformaciones de la forma con bocetos manuales. Una argumento que permitirá subrayar la diferencia para el caso digital y mencionada en el párrafo anterior. Prats hace énfasis en reglas de transformación de la forma, que se asemejan a los tipos que se derivaron del presente análisis de protocolos. La diferencia con nuestro hallazgo radica en que las transformaciones digitales tienen propiedades recursivas en sí mismas, el proceso recursivo no es únicamente el producto de la

manipulación geométrica sino que involucra interacción con una estructura esencialmente recursiva con parámetros tanto de geometría como de función y valor.

Según Prats (2009) las transformaciones de forma pueden ser descritas a través de un número limitado de reglas generales de transformaciones, y los investigadores las especifican como sigue:

- Transformación de contorno: esta norma describe, primero, las transformaciones aplicadas a los puntos de una línea recta o curva, segundo, las transformaciones de longitud o la anchura de un elemento. Una transformación es considerada de contorno siempre y cuando se modifique uno de los elementos y no la totalidad ya que de lo contrario sería un cambio de posición del elemento completo. Estas transformaciones son utilizadas principalmente para refinamiento de la forma.

- Transformación de la estructura: esta norma significa la traslación, rotación, reflejo y escala de los elementos, así como, la separación de un elemento en dos o más elementos. Las transformaciones de estructura se utilizan principalmente para explorar diferentes relaciones espaciales entre elementos. Debido a que las transformaciones de estructura tienden a afectar la disposición de un diseño es más probable que estas conduzca a cambios radicales de configuración funcional.

- Sustituir un elemento: significa reemplazar un elemento existente por otro nuevo. Una transformación de este tipo se considera si la forma añadida es totalmente nueva, es decir, que no se haya logrado a través de cualquier otro tipo de transformación descrita en las reglas.

- Añadir un elemento: consiste en la introducción de un elemento que no está presente en la secuencia de dibujo.

- Borrar un elemento: consiste en la eliminación de un elemento. A diferencia de Agregar un elemento, eliminar elemento se produce cuando un elemento es suprimido de la secuencia de dibujo.

- Cortar un elemento: esta regla significa hacer una división a un elemento. A diferencia de las transformaciones de la estructura en este caso el corte se considera sólo si se conserva una de las partes recortadas y la otra se descarta.

- Cambio de vista: esta norma describe un cambio del punto de vista del diseño. Prats no considera esta una transformación de forma en el diseño. Sin embargo, cambiar vista conduce

normalmente a dos formas geoméricamente diferentes, como por ejemplo en el caso de un cilindro que puede ser representado por un rectángulo o un círculo, dependiendo del punto de vista.

Si se observan detenidamente las reglas de Prats y otros (2009), hay un alto grado de coincidencia conceptual con las transformaciones de forma que han sido identificadas en los protocolos de este estudio y entre ellas están las del tipo AT: Tpe, TMsc, Oce, Omob, Ocom, Ocre. Lo que no considera el estudio Prats, es el potencial recursivo y no lo observan porque las transformaciones en el dibujo manual provienen del redibujo y no de un proceso de transformación intrínsecamente recursivo a la acción de dibujo. Además, las transformaciones de forma únicamente no representan el universo de transformaciones posibles realizables a un objeto arquitectónico simulado digitalmente. Los cambios en la forma son posibles por operaciones de manipulación y combinación geométrica, así como de gestión de parámetros, como se mencionó en el aparte 2.5.4.4 del marco teórico; y con el dibujo tradicional solo es posible el primero de ellos.

Con la presente investigación se buscó, en cierta medida, extender los intentos por comprender el caso digital e informar acerca del alcance cognitivo de la representación en la evaluación. El carácter recursivo de las transformaciones revela que la información fluye entre el diseñador y el computador en un ciclo de comunicación que apuntala el razonamiento visual para el desarrollo de la forma y la función creativamente.

Finalmente, consideramos que en la capacidad humana de transformar el conocimiento en estructuras de representación subyace la flexibilidad mental y la habilidad de realizar nuevas modificaciones y cambios a esas representaciones.

5.5 Virtualidad y visualización, singularidades del orden perceptivo en el ámbito digital

La virtualidad y la visualización son dos conceptos que están estrechamente ligados cuando se aborda la percepción en la representación digital. La virtualidad como cualidad específica de las tecnologías digitales actúa como interfaz de mediación entre la naturaleza de la técnica y la naturaleza humana del diseñador. Si entendemos lo virtual, como un término que se utiliza en la computación para designar todo aquello que tiene existencia dentro de un entorno imaginario o irreal, puede que la palabra virtualidad no concuerde con el carácter pragmático del diseño.

Por esta razón, es necesario aclarar que el término de virtualidad, en el contexto de este estudio, se entiende como la forma digital para proveer de existencia a los objetos arquitectónicos imaginados. Esta posición implica además que la herramienta es capaz de producir una forma simulada que satisfaga las expectativas del sistema visual humano, en otras palabras que pueda visualizarse y visibilizarse adecuadamente.

Vale la pena comentar que hasta hace poco visualizar solo se definía a través de la capacidad de formar una imagen visual en la mente. Ahora, por la influencia tecnológica, su significado trasciende hacia una forma externa donde, básicamente, la imagen del objeto se hace visible artificialmente. A este mecanismo artificial se le llamó aquí visibilización para diferenciarlo de la visualización ya conocida.

En el ejercicio de lo virtual la tecnología replantea de raíz los modos de relación con la realidad, proponiendo nuevas dimensiones para la percepción del espacio-tiempo. La existencia aparente descoloca la relación espacial, de lugar o pertenencia, y la relación temporal con las experiencias de simultaneidad e instantaneidad (Martin-Barbero & Rey, 2009). De la proliferación de la virtualidad, se ha conseguido que la realidad se extienda hacia otras instancias de significación y modos de pensar, que es de suponer, se ven afectadas por la instrumentalidad de los medios. Según Pérez Tapias (2003) en esta idea, las tecnologías se constituyen en “el modo simbólico de cómo nos relacionamos con lo real” (p.75), y simultáneamente son el vehículo de la comunicación y el medio de construcción de significados.

Así como la digitalización es un factor multiplicador de la tecnología, la virtualidad es un factor multiplicador de realidades. La definición de la realidad en este contexto se hace mucho más compleja cuando se presume que la técnica rige su construcción. No solo se habla de construcciones teóricas sino que la técnica misma se convierte en la realidad y las complicaciones de esto nacen de la complejidad técnica. En la ciencia ficción, por ejemplo, la lectura del mundo artificial se hace bajo la conciencia de falsedad casi absoluta, en cambio en la virtualidad los espectadores participan de una hiper-realidad, que requiere de artificios y conocimiento para mantener el vínculo entre lo real y la conciencia.

Para Ferrés (2003) la virtualidad es un elemento más de la cultura que “potencia las expresiones sensoriales y crea en el receptor una sensación de inmersión” (p. 37). Considerando esta afirmación, se piensa que examinar una situación en torno a la virtualidad significa explorar

la relatividad de los procesos de simulación dentro de los límites de lo posible y lo creíble. En el diseño, particularmente, cuando se establece la conexión con el medio se generan historias artificiales y posibilidades inconcebibles, que solo por un recurso de visibilización coherente se puede comprender lo que se busca en el objeto simulado.

En las sesiones de protocolo aquí examinadas se evidenciaron algunos momentos de interacción con una realidad artificial, por ejemplo, en el informe E2-L2 segmento 23 el estudiante externaliza que va a quitar de su vista paredes que le obstruyen la percepción de un objeto determinado: *Cuándo me voy al 3d utilizo una herramienta de ocultar, para ocultar ciertas paredes o elementos que me obstruyen la visión completa de elemento.* Esta es una posibilidad que el estudiante sabe viable dentro del entorno virtual y la maneja con la naturalidad que corresponde. Igualmente, en el informe E2-L3, segmento 31: *De allí empecé a verlo en 3D, en vista realista, para ver cómo percibía el espacio. Me agradó bastante puesto que vi que se leía un área a limpia, un área grande, un área libre.* El estudiante utiliza una forma de visibilización que simula la apariencia real de los elementos arquitectónicos y con su credibilidad realiza una lectura más enfocada para conducir la interpretación de los conceptos de diseño.

La relación entre dibujo y el pensamiento se discutió ampliamente en el marco teórico de esta tesis, pero es luego del análisis de los protocolos de diseño que se confirma que el dibujo es a forma más rápida y eficaz de visualizar externamente el pensamiento, y que los recursos digitales de visibilización mejoran la percepción e interpretación de la información de diseño.

El sistema de percepción en el entorno virtual de la representación estructurada reconoce las formas como elementos y las describe usando atributos del objeto real. Las relaciones en el sistema perceptivo se construyen a partir de los atributos detectados y sus interpretaciones están sujetas a las relaciones tipológicas, topológicas de la geometría junto a las reglas de comportamiento de la simulación paramétrica. Las configuraciones arquitectónicas son caracterizadas por los conceptos de diseño, y su lectura coherente se debe a que las entidades forman grupos que comparten atributos específicos. Es decir, que una configuración se “lee” en correspondencia con los atributos de las entidades que la componen.

En la verbalización E1-L1 segmento 47 se aprecia que en la atención a las características existentes (AP-Ace) de una configuración espacial se razona su composición y se evalúa la necesidad de incorporar concretamente unos muebles:

Como me di cuenta que no estaba proporcionando bien el espacio porque no tenía nada que me diera referencia, decidí irme a las herramientas, a los componentes, para traerme lo primeros modelos que me dieran referencia o escala espacial, entonces me traje unos muebles.

En este episodio de concepción de una configuración espacial, el estudiante utiliza un término concreto, mueble, asociado a la realidad arquitectónica del espacio y esto representa la capacidad inmersiva generada por la condición virtual del entorno de generación. No conforme con la generalidad de la palabra mueble, especifica mas tarde lo que necesita para escalar el espacio, un sofá, y esto puede apreciarse en el segmento 49 del mismo protocolo: *Entonces, originalmente me traje un sofá, pero pensé, oye, ¿lo voy a poner ahí?, bueno entonces, originalmente coloque el mueble.*

Consideramos que se está bajo una manera de percepción donde el conjunto de características de forma, se traducen en una representación de relaciones entre elementos simulados más que en una representación de geometrías. Aquí, los atributos de tipo de las entidades (elementos arquitectónicos virtuales) se corresponden con la similitud de las categorías conceptuales de los elementos arquitectónicos, en forma y función. Asimismo, el aspecto topológico lo definen relaciones de proximidad, escala, orientación, interferencia y reglas de comportamiento inteligente de entidades. Todas ellas accesibles por recursos de visualización y visibilización de propiedades geométricas.

Por otra parte, la virtualidad tiene una significación que puede ser considerada, según Zigmunt Bauman (2001, p. 23), como “un evento donde persiste el desplazamiento de las fronteras, y las diferencias se desencajan ubicándose en un estado casi libre, lo que deja espacio a la composición de nuevas configuraciones, móviles, combinables y manipulables”. Quiere decir que las tecnologías incorporan a las prácticas humanas, como el diseño, nuevas referencias y formas de relacionarse con la realidad, donde lo virtual adapta el espacio, el tiempo y el contexto sobre el cual los diseñadores llevan a cabo su tarea.

Las formas de proceder en el diseño se simulan en un sistema computacional imitando en cierta forma los procesos de elaboración manual de dibujos, pero es por la visualización y manipulación directa, intuitiva e inmersiva que se puede entender el comportamiento, con fines de diseño, de los objetos en el espacio tridimensional. Para ello, los programas de computación

permiten que los objetos geométricos y sus atributos, de forma, función, color o material, puedan ser especificados y modificados interactivamente en tiempo real, mediante una interfaz digital orientada a objetos de diseño arquitectónico.

Por la visibilización, el diseñador experimenta de manera especial con los espacios. Los objetos como paredes, por ejemplo, se hacen transparentes para dejar ver el interior o determinadas partes de su estructura se resaltarán para llamar la atención sobre situaciones conflictivas, como una interferencia entre elementos. Igualmente, en la manipulación del punto de vista como la visibilización gravitatoria, permite examinar cada ángulo del objeto aumentando en el diseñador la sensación de estar observando de primera mano los distintos ángulos del edificio real.

Todas las capacidades digitales son desplegadas para simular cualquier fenómeno representable, estas mediante formalismos matemáticos o lógicos, y limitadas sólo por la capacidad de almacenamiento y velocidad de cómputo, y la complejidad de cada problema particular. Igualmente, desde luego, aspectos del comportamiento no lineal y del funcionamiento dinámico de materiales y estructuras. El modelado digital suele ser más sencillo y económico, en cuestión de visualización y evaluación de resultados. Por ejemplo, es más fácil elaborar un modelo 3D de cualquier forma geométrica, que construir una maqueta, o prototipo y medir directamente características o computar cantidades o deformaciones.

La visualización desde una perspectiva cognitiva proporciona la capacidad de comprender mayor cantidad de información, permite la percepción de propiedades emergentes que no se previeron, convierte información oculta en evidente, promueve la comprensión de las características tanto de gran escala como de pequeña escala y por último facilita la elaboración de inferencias.

La virtualidad en el diseño arquitectónico es una forma de simulación que permite “construir” edificios lo suficientemente reales para ser estudiados visualmente y analíticamente. La tecnología computacional ofrece mucho más que mejorar la productividad sobre los modelos analógicos, ciertamente proporciona un mejor apoyo en el manejo de las conexiones dentro del problema y su relación con el surgimiento de la solución. Asimismo, es de esperarse que por la transversalidad en el sistema de información, omisiones, descuidos o errores sean disminuidos gracias a su visualización inmediata o al ser reportados al momento de ocurrir. Estas y otras

interacciones producto de la naturaleza virtual del medio hacen de los procesos perceptivos un caso particular de percepción que resultaría necesario profundizar en estudios futuros.

Desde el punto vista pedagógico se comparte la postura de García Carrasco (2005) en cuanto a que la tecnología digital habilita a la persona para nuevas prácticas, interviene como elemento importante en el desarrollo de las competencias y es un factor real de la evolución cultural en su conjunto. Las posibilidades de extender los límites comunicativos y las formas de expresión en el diseño enriquecen los espacios de interacción con el objeto y con el diseñador mismo. Se habla de un espacio intersubjetivo, del diseñador con él mismo, donde se construye la experiencia de diseño, se elabora la comprensión y se acuerda el consenso de la solución a la problemática arquitectónica.

Para finalizar, los resultados revelan que para el estudio de la cognición externa del diseño digital es indispensable adoptar un sistema categorial ajustado a las singularidades del medio y sus formas de mediación. Lo heredado de la cognición analógica valió para enmarcar la investigación y confirmar que los pensamientos de diseño se construyen en respuesta a las características visuales y espaciales producidas en la representación, pero no caracteriza totalmente la forma cognitiva en el entorno digital.

Las acciones y procesos cognitivos asociados se presentan en la Figura 55. El mapa refleja relaciones y contenidos de orden cognitivo que tiene lugar en la interacción con la representación estructurada durante la resolución de un problema de diseño. El sistema está compuesto por dos acciones de representación, dibujo y transformación recursiva, y cuatro procesos cognitivos asociados a ellas, percepción, visualización, función y evaluación.

Las acciones de dibujo y transformación conforman el acto de la representación. Las transformaciones, por su parte, se revelaron como simples y recursivas. Las simples, las utiliza el diseñador cuando necesita definir la ubicación y orientación en el espacio de diseño, y por ese carácter definitorio y lineal, está en la categoría de dibujo. Las recursivas, se definen aquí como transformaciones de representación, las cuales se aplican repetidamente a una misma una entidad o conjunto de entidades, convirtiéndolas en sí mismas en origen y fin de una transformación lateral.

Los procesos perceptivos, igualmente, se evidenciaron en el razonamiento del diseño a través de la atención, inferencia y significación de la información viso-espacial contenida en las

representaciones. Esta información se percibe por las características visuales de entidades, los patrones que forman las entidades, los procesos que permiten representarla y las relaciones que se establecen entre los tres aspectos anteriores. Por influencia de la recursividad esta percepción tiene un carácter constructivo, en el espacio digital las acciones perceptivas se interconectan y desencadenan interpretaciones y significaciones. A la dinámica percepción-transformación-evaluación y percepción-redefinición-evaluación se le llamó aquí percepción constructiva.

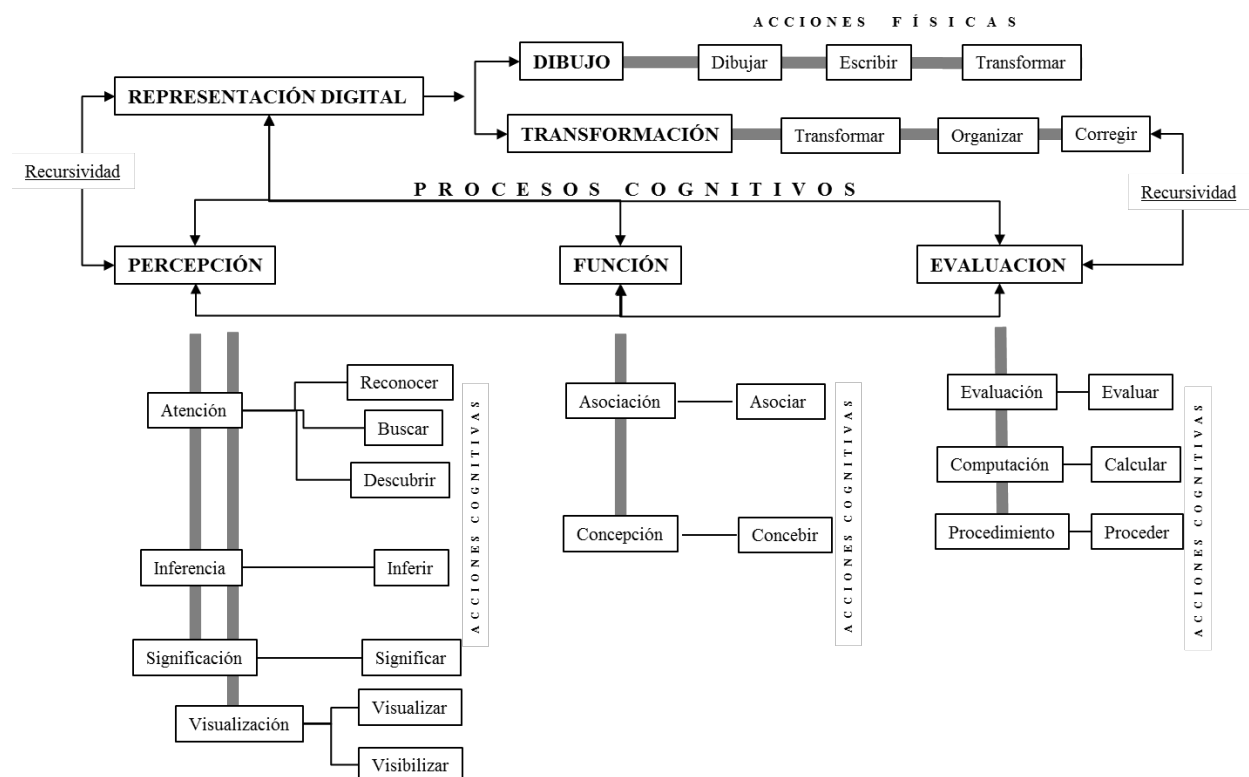


Figura 55: Mapa cognitivo de la mediación digital.

Dos acciones permiten especificar aún más este orden cognitivo en el entorno digital y estas son: visualizar y visibilizar. La visualización se evidencia cuando el diseñador expresa algún proceso de formación de imagen mental sobre conceptos de diseño o referencias externas, este es un proceso exclusivamente mental. Por otra parte, los recursos de visibilización permiten tener a la vista toda intención que se tenga en mente. Como se ha discutido recientemente, estos recursos facilitan la percepción de características y descubrimientos, promoviendo la comprensión y elaboración de inferencias. Puede afirmarse entonces que en el ejercicio de lo virtual las ideas coexisten y evolucionan en un espacio que solo controla mente del diseñador.

De igual manera, las acciones conducentes a procesos evaluativos se revelan en los protocolos y se identifican en el mapa cognitivo que se esquematiza en la Figura 55. Constituyen en proporción la segunda actividad más prolífica en el entorno digital y se caracteriza por procesos evaluativos, de cómputo y de procedimiento. La evaluación mediada por la herramienta digital es un proceso cíclico e iterativo y se asocia estrechamente con las acciones de transformación recursiva, lo que la convierte en una actividad recursiva en esencia. Que la evaluación sea el proceso dominante en el diseño es un comportamiento único en arquitectos y sucede por la constante generación de nuevos objetivos de trabajo y redefinición de tareas durante la solución del problema.

Aunque nuestros hallazgos sugieren que el proceso de razonamiento visual en el diseño digital tiene raíces en la información geométrica es necesario profundizar los estudios en las condiciones paramétricas que establece la representación estructurada. Por lo tanto, en el futuro la investigación estaría orientada a examinar los patrones cognitivos asociados a las acciones de representación paramétrica, la recursividad en estas acciones, la influencia sobre la percepción, los lazos recursivos globales y locales y por supuesto el balance creativo. Igualmente habría que sugerir extender los análisis a otros niveles de la formación profesional, considerando que la penetración tecnológica no es selectiva en el caso de los estudiantes de arquitectura.

Referencias

- Goel , V., & Pirolli, P. (1992). The Structure of Design Problem Space . *Cognitive Science*(16), 395-429.
- Aicher, O. (2001). *Analógico y digital*. (Y. Zimmermann, Trad.) Barcelona: Gustavo Gilla, SA.
- Akin, Ö. (1986). A formalism for problem structuring and resolution. *Environment and Planning B: Planning and Design*(13), 223-232.
- Akin, Ö. (1986). *Psychology of architectural design*. London: Pion.
- Armengol Castells, L. (2007). Los protocolos de pensamiento en voz alta como instrumento para el análisis del proceso de escritura. *RESLA* (20), 27-35.
- Arnheim, R. (1969). *Visual Thinking*. Los Angeles: University of California Press.
- Asimow, M. (1982). *Introducton to Design*. New Jersey: Englewood: Prentice-hall.
- Atkinson, R. C., & Shifrin, R. M. (1968). HUman memory: a proposed system and its control process. En K. Spence, & J. Spence, *The psychology of learning and motivation* (Vol. 2, págs. 89-195). New York: New York: Academic Press.
- Barrios, C. (2005). Transformations on Parametric Design Models. A Case Study on the Sagrada Familia Columns. In B. Martens, & A. Brown, *Computer aided architectural design futures 2005* (pp. 393-400). Viena: Springer Netherlands.
- Bauman, Z. (2001). *La posmodernidad y sus descontentos*. Madrid: Ediciones Akai.
- Bertoline, G., Wiebe, E., Miller, C., & Nasman, L. (1995). *Engineering graphics communication*. Chicago: Irwin.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-component: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, 84(2), 115-147.
- Bilda, Z., & Demirkan, H. (2003). An insight on designers' sketching activities in traditional versus digital media. *Design Studies*(24), 27-50.

- Bilda, Z., & Gero, J. (2006). Reasoning with Internal and External Representations: A Case Study with Expert. *Proceedings of the Annual Meeting of Cognitive Science Society* (págs. 1020-1026). Mahaw: R. Sun (ed).
- Bilda, Z., & Gero, J. (2006). The impact of working memory limitatios on the design process during conceptualization. En J. Gero, *Design Computing and Cognition '06* (págs. 256-284). sydney: Springer.
- Boekholt, I. T. (1984). Architectural design: A description of the structure of architectural design processes. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
- Bowyer, A., Cameron, S., Jared, G., Martin, R., Middleditch, A., Sabin, M., et al. (1995). *Introducing Djinn - A geometric interface for solid modelling*. UK: Information.
- Breltmeyer, B., & Ganz, L. (1976). Implications of sustained and transient channels for theories of visual pattern masking, saccadic suppression, and information processing. *Psychology*(83), 1-36.
- Bruner, J. (1957). On perceptual readiness. *Psychological review*(64), 123-152.
- Chambers, D., & Reisberg, D. (1985). Can mental images be ambiguous? *Journal of Experimentul Psychology: Humun Perception & Performance*(11), 311-328.
- Chan, C.-S. (1990). Cognitive process in architectural design problem solving. *Design Studies*, 11(2), 60-80.
- 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: CAADRIA 2001.
- Chiu, M. L. (2002). An organizational view of design communication in design collaboration. *Design Studies*, 23(2), 187-210.
- Cohen, J. (2004). Beyond Flat Earth: New Horizons in Design Practice. In T. A. Architects, & J. A. Demkin (Ed.), *The Architect's Handbook of Professional Practice* (pp. 43-53). USA.
- Cross, N. (1976). Design is... *BBC/Open University TV Programme*. (R. MacCormac, Entrevistador) BBC. London.

- Cross, N. (2001). Design Cognition: results from protocol and other empirical studies of design activity. (M. W. C.M., Ed.) *Design Knowing and Learning : cognition in design education*, 79-104.
- Cross, N. (2007). *Designerly ways of knowing Birkhäuser, Basel*. Basel: Birkhäuser.
- Cross, N., Christiaans, H., & Dorst, K. (1997). Analysing design activity. *Design Studies*, 18(4), 75-322.
- Do, E. Y., & Gross, M. (1996). Drawing as a means to design reasoning. *Artificial intelligence and design*.
- Dorst, K. K., & Dijkhuis, J. (1995). Comparing paradigms for describing design activity. *Design Studies*(16), 261-274.
- Eastman, C. (1969). *Explorations of the cognitive process in desing*. Carnegie Mellon University, Computer Science department. Pittsburgh: Computer Science department.
- Eastman, C. (1969). On the analysis of intuitive design processes. En G. T. Moore, *Emerging Methods in Environmental Design and Planning* (págs. 21-37). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Eastman, C. (1970). On the analysis of intuitive design processes. En G. (. Moore, & M. G. (Ed.), *Emerging Methods in Environmental Design and Planning* (págs. 21-37). Cambirdge: MIT Press.
- Eastman, C. (1999). *Building Product Model: computer enviroment supporting desing and construccion*. Boca Ratón, Florida: CRC Press LLC.
- Eastman, C. (2001). New Direction in Design Cognition: studies of representation and recall. *Knowing and Learning to Design*, 147-198.
- Ericsson, K. A. (1975). Instruction to verbalize as a means to study problem solving processes with the 8- puzzle: A preliminary study . *Reports from the department of psychology*(458).
- Ericsson, K. A. (2006). Protocol analysis and expert thought: Concurrent verbalizations of thinking during experts' performance on representative task. En K. A. Ericsson, P.

- Charness, P. Feltovich, & R. R. Hoffman, *Cambridge handbook of expertise and expert performance* (págs. 223-242). Cambridge: Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal report as data. *Psychological Review*, 87(3), 215-251.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis: Verbal report as data*. Cambridge: MIT Press.
- Fernandez Herrero, J. (2006). *Arquitectura artificial o manierismo por computadoras*. Madrid: Editorial Acedémica Española.
- Ferrés, J. (2003). *Edcar en una cultura del espectáculo*. Barcelona: Paidós Ibérica.
- Fish, J., & Scrivener, S. (1990). Amplifying the mind's eye: Sketching and visual cognition. *Leonardo*, 23, 117-126.
- Fodor, J. (1975). *Language of Thought (New York: Crowell)*, ch. 1. Cambridge: Thomas Y. Crowell Company Inc.
- García , J. (2005). Virtualidad formativa de las prácticas mediadas por la tecnología informacional. *Nuevos espacios y nuevos entornos de educación*, 55.
- García, J. (2005). Virtualidad formativa de las prácticas mediadas por la tecnología informacional. *Nuevos espacios y nuevos entornos de educación*, 55.
- Gardner, H. (1994). *Estructuras de la mente: la teoría de las inteligencias múltiples*. Fondo de la cultura económica.
- Gero, J., & McNeill, T. (1998). An approach to the analysis of design protocols. *Desing Studies*, 19(1), 21-61.
- Glaser, B., & Strauss, A. (1967). *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Chicago: Aldine Publishing Company.
- Goel, V. (1995). *Sketches of thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Goel, V. (1995). *Sketches of thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Goel, V. (1999). Cognitive Role of Ill_Structures Representations in Preliminary Design. *Visual and Spatial reasoning in design*. Cambridge.

- Goel, V. (1999). Cognitive Role of Ill-Structures Representations in Preliminary Design. *Visual and Spatial reasoning in design*. Cambridge.
- Goldschmidt, G. (1991). The dialectics of sketching. *Creativity Research Journal* , 4(2), 123-143.
- Goldschmidt, G. (1992). Serial sketching: visual problem solving in designing . *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 23, 191–219.
- Goldshmidt, G. (1991). The dialecting of sketching. *Creativity Journal*, 1, 123-143.
- Guidera, S. (2002). Computer modeling and visualization in design technology: An instructional model. *ournal of Technology Studies*, 28(2), 09-116.
- Gumperz, J. (1992). Contextualization and understanding. En C. Duranti, & A. Goodwin, *Rethinking context: Languaje as an interactive phenomenon*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gursoy, B., & Ozkar, M. (2010). Is Model-making Sketching in Design? *DRS 2010 Conference Proceedings*, (págs. 604-615). Montreal.
- Hamel, R. (1990). *Over het denken van de architect* . Amsterdam: AHA Books.
- Hebert, D. (1988). Study drawings in architectural design: their properties as a graphic medium. *Journal of Architectural Education*, 41(2), 26–38.
- Jin, Y., & Chusilp, P. (2006). Study of mental iteration in different design situations. *Design Studies*(27), 25-55.
- Jin, Y., & Chusilp, P. (2006). Study of mental iteration in different design situations. *Design Studies* 27 (), 25-55.
- Johnson , B. (2005). Design ideation: the conceptual sketch in the digital age. *Design Studies*, 23, 613-634.
- Jupp, J., & Gero, J. (2010). *Let's Look at Style: Visual and Spatial Representation and reasoning in Design*. (S. Argamo, K. Burns, & S. Dubnov, Edits.) Berlin: Springer Berlin Heidelberg.

- Kalay, Y. (2004). *Architecture's New Media. Principles, Theories and Methods of Computed-Aided Desing*. Massachusetts: The MIT Press.
- Kasapoğlu, B. &. (2005). Bocetos en la etapa de diseño conceptual en el ordenador. *TOL Revista Cultura Arquitectónica*, 4(5), 72-80.
- Larkin, J., & Simon, H. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*(11), 65-99.
- Lawson, B. (1979). Cognitive Strategies in Architectural Design. *Ergonomics*, 22(1), 59-68.
- Lawson, B. (2010). *How Designers Think. The designers process demystified*. London: Architectural Press.
- Libeskind, D. (2003). *Studio Libeskind*. Recuperado el 15 de octubre de 2015, de libeskind.com: <http://libeskind.com/work/ground-zero-master-plan/>
- Lim, S., Qin, S., Prieto, P., Wright, D., & Shackleton, J. (2004). A study of sketching behavior to support free-form surface modeling from on-line sketching. *Design Studies*, 25(4), 393-413.
- Lloyd, P., Lawson, B., & Scott, P. (1995). Can concurrent verbalization reveal design cognition? *. Design Studies*(16), 237-259.
- Madrazo , L. (1999). Types and instances: A paradigm for teaching design with computers. *Design Studies*, 20, 177-193.
- Marr, D. (1982). *Vision: a computational approach*. San Fransisco: W. H. Freeman.
- Martin-Barbero, J., & Rey, G. (2009). *Los ejercicios del ver: hegemonía audiovisual y ficción televisiva*. Madrid: Gedisa.
- Marx, J. A. (2000). A proposal for alternative methods for teaching digital design. *Automation in Construction*, 9, 19-35.
- Mäs, S. (2007 йил 17-Diciembre). *Checking the Integrity of Spatial Semantic Integrity Constraints*. Retrieved 2008 йил Octubre from DROPS (Dagstuhl Research Online Publication Server): <http://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2007/1285/pdf/07212.MaesStephan.Paper.1285.pdf>

- Mayer, R. (1983). *Pensamiento, resolución de problemas y cognición*. Barcelona: Paidós.
- Menezes, A., & Lawson, B. (2006). How designers perceive sketches. *Design Studies*(27), 571-585.
- Monedero, J. (1999). *Aplicaciones informáticas en arquitectura*. Barcelona: Edicions UPC.
- Monedero, J. (2000). Parametric design. A review and some experiences. *Automation in Construction*, 369-377.
- Morin, E. (2006). *El método 3. El conocimiento del conocimiento*. España: Ediciones Cátedra.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*. New York: Appleton Century Crofts.
- Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge: Harvard University Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*. New Jersey: Prentice Hall.
- Newell, A., Shaw, J., & Simon, H. (1967). The process of the Creative Thinking. En H. Gruber, Terrel G., & M. Wertheimer, *Contemporary Approaches to Creative Thinking*. New York: Atherton Press.
- Nielsen, J. (1994). Estimating the number of subjects needed for thinking aloud test. *Human-Computer Studies*(41), 385-397.
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3), 239-265.
- Oxman, R. (2008). Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design Studies*, 9(2), 99-120.
- Oxman, R., & Streich, B. (2007). Digital Media and Design Didactics in Visual Cognition. *Education & Curricula*.
- Pérez, J. (2003). *Internautas y naufragos: la búsqueda del sentido en la cultura digital*. Madrid: Editorial Trotta.
- Prats, M., Lim, S., Jowers, I., Garner, S., & Chase, S. (2009). Transforming shape in design: observations from studies of sketching. *Design Studies*(30), 503-520.
- Purcell, A. T., Gero, J., Edwards, H., & McNeill, T. (1994). The data in design protocols: The issue of data coding, data analysis in the development of models of the design process. *Delft University of Technology*, 169-187.

- Purcell, A., & Gero, J. (1998). Drawings and the design process. *Design Studies*(19), 389–430.
- Qin, S., Harrison, R., West, A., Jordanov, I., & Wright, D. (2003). Framework of web-based conceptual design. *Computers in Industry*, 50(2), 153–164.
- Rangel, V. (2003). De la Imagen Analógica la Pensamiento Digital: un ensayo para la enseñanza del realismo fotografico aplicado a la comunicación de productos. *Symposium Educación en la Facultad de Arquitectura y Arte. Universidad de Los Andes*. Mérida.
- Reitman, W., Shelly, M., & Bryan, G. (1964). Heuristic Decision Procedures, open constraints and the structure of ill-defined problems. En M. & (Eds.) (Ed.), *Human Judgments and Optimality New York* (págs. 282--315.). Wiley.
- Rossignac, J. R., & Requicha, A. A. (1992 йил 09). *Solid Modeling*. Retrieved 2009 йил 10-enero from CiteSeerX Beta: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.31.597>
- Rowe, P. (1987). *Design Thinking*. Cambridge: MIT Press.
- Ruíz, J. (2003). *Técnicas de triangulación y control de calidad en la investigación socioeducativa*. Bilbao: Ediciones Mensajer.
- Sanoff, H. (1977). *Methods of Architectural Programming*. Stroudsburg: PN: Dowden Hutchinson & Ross, Inc.
- Scaife, M., & Rogers, Y. (1996). External cognition: how do graphical representations work? . *Human-Computer Studies*, 45, 185-213.
- Shah, J., & Mäntylä, M. (1995). *Parametric and Feature-based CAD/CAM*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Shön, D. (1992). *La formación de profesionales reflexivos. Hacia un nuevo diseño de la enseñanza y el aprendizaje en las profesiones*. Barcelona: Edicione Paidos.
- Shön, D., & Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing and their functions in designing. *Design Studies*, 13(2), 136-156.
- Simon, H. (1973). The ill structure of ill-structured problems. *Artificial Intelligence*(4), 181-204.
- Simon, H. (1979). *Models of Thought*. Conn: Yale University Press.

- Simon, H., & Newell, A. (1972). *Human Problem Solving*. N.J: Prentice-Hall.
- Sternberg, R. J. (1987). *Inteligencia humana*. Barcelona: Paidos.
- Sutherland, I. (2003). *University of Cambridge*. Retrieved 2008, 11-septiembre from Computer Laboratory technical reports: <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/>
- Suwa, M., & Tversky, B. (1997). What do Architects and Students perceive in their Design Sketches. *A Protocol Analysis DesignStudies*, 18(4), 385-403.
- Suwa, M., Gero, J., & Purcell, T. (1998). Analysis of cognitive processes of a designer as the foundation for support tools. En J. S. Sudweeks, *Artificial Intelligence in Design '98* (págs. 229-248). Kluwer: J. S. Gero and F. Sudweeks (eds).
- Suwa, M., Gero, J., & Purcell, T. (1998). The roles of sketches in early conceptual design processes. *Twentieth Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (págs. 1043-1048). New Jersey: Lawrence Erlbaum, Hillsdale.
- Suwa, M., Purcell, T., & Gero, J. (1998). Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions . *Design Studies*(19), 4455-483.
- Triesman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attetion. *Cognitive psychology*(12), 97-136.
- Tversky, B. (1999). What does drawing reveal about thinking? (pp. 93-101). Key Centre of Design Computing and Cognition. En J. S. (Eds.), *Visual and spatial reasoning in design*. (págs. 93-101). Sydney: Centre of Design Computing and Cognition.
- Verstijinen, I., Henessey, J., Leeuwen, C., Hamel, R., & Goldshmidt, G. (1998). *Sketching and creative discovery*, *Design Studies*, 19(4), 519–546.
- Visser, W. (2009). Design: one, but in different forms . *Design Studies* , 30, 187-223.
- 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.
- Yukhina, E. (2008). *Cognitive Studies of Architecture Students*. Sydney: VDM Publishing.

- Zaqaibeh, B., & Al Daoud, E. (2008). The Constraints of Object-Oriented Databases. *International Journal Open Problems Computational. Mathematics.*, 1(1), 11-17.
- Zhang, J. (1997). The nature of external representations in problem solving. *Cognitive Science*, 21(2), 179-217.
- Zhang, J., & Norman, D. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 8, 87-122.

Anexo 1

Protocolos: Audio, video, Transcripciones

Anexo 2

Comparación constante de categorías

