

Entender la estructura de problemas como formación heurística en diseño

1. Introducción

Pueden distinguirse al menos dos variedades principales en la literatura sobre teoría del diseño: que el diseño es un proceso basado en el conocimiento; y que el diseño es un proceso de aprendizaje. Por ejemplo, SCHÖN (1988) ha argumentado que los patrones de inferencia compartidos entre diseñadores no son significativamente diferentes de los del razonamiento en la vida cotidiana. Lo que distingue a los diseñadores no es una habilidad mística, sino el conocimiento acumulado que el diseñador aporta a un problema. Otros, como BAZJANAC (1974), han argumentado que el diseño puede verse como un proceso de aprendizaje en el que el objetivo es el de comprender la estructura del problema. Así visto, el diseño procede a través de un proceso de análisis-a-través-de-la-síntesis, en el que el problema se explora a través de una serie de intentos de crear soluciones y entender sus implicaciones en términos de criterios de diseño. En el presente informe intentamos relacionar estas dos visiones del diseño mostrando que el aprendizaje dentro y entre los problemas del diseño es una consecuencia necesaria de una visión del diseño como algo basado en el conocimiento. Con ejemplos extraídos del trabajo realizado en el campo de la inteligencia artificial, desarrollamos un modelo del diseño como proceso de aprendizaje basado en el conocimiento que está basado en el sucesivo refinamiento de un cuerpo de heurística principal e introducimos este modelo dentro del marco de referencia de abducción-deducción-inducción propuesto por MARCH (1976).

En la sección 2 discutimos la naturaleza de los problemas de diseño. Un problema de diseño se caracteriza como aquel en el que tanto los objetivos como los medios disponibles para conseguir estos objetivos están (por necesidad) sólo pobremente definidos al inicio. En la sección 3 presentamos algunas observaciones respecto a la naturaleza del proceso de diseño basado en esta caracterización, y se discute que el objetivo fundamental en diseño sea el de entender la es-

tructura del problema. En la sección 4 se examina más detalladamente el papel del conocimiento en este proceso y argumentamos que el diseño sólo puede proceder a través del desarrollo de nuevas relaciones y estrategias dentro del contexto del problema de diseño actual. En la sección 5 investigamos la naturaleza de las reglas heurísticas con detalle. La amplitud de una heurística se caracteriza como el área de tarea en la que es aplicable y mostramos que para una determinada serie de heurísticas existe (al menos) un problema que no puede ser solucionado usando estas heurísticas. En la sección 6 presentamos una visión alternativa del desarrollo y uso de las relaciones en diseño basada en estas observaciones, que se centra en el papel crítico del aprendizaje en el diseño. Se introduce la idea de unas «heurísticas centrales o básicas» y argumentamos que la elaboración y adaptación de estas heurísticas puede verse como un modelo simple de este complejo proceso. La sección 7 desarrolla un modelo de este proceso de aprendizaje dentro del marco del modelo de diseño propuesto por March y basado en las tres operaciones lógicas de abducción, deducción e inducción. En particular, intentamos clarificar el rol de la inducción en la formación de relaciones entre criterios y su relación con el proceso de formación de teorías. En la sección final argumentamos que, a pesar de sus limitaciones, el modelo sencillo descrito en las secciones previas es útil para llegar a entender el papel del aprendizaje en el proceso de diseño.

2. La naturaleza de los problemas de diseño

Empezamos presentando nuestra caracterización de los problemas de diseño en más detalle. A nivel muy general, un problema de diseño se ocupa de producir una descripción de un artefacto o proceso que cumple una serie de objetivos o requisitos. Estos requisitos a menudo están mal definidos de entrada y pueden estar en conflicto. En general no todos tendrán la misma importancia; los controles legislativos a menudo están libres de valores, mientras que los requisitos del usuario pueden modificarse durante las discusiones con el cliente, y las restricciones generadas por el diseñador pueden ser extensamente revisadas, o incluso abandonadas por completo durante el proceso de diseño (LAWSON, 1980). Sin embargo, la verdadera dificultad es que estos objetivos no pueden relacionarse entre sí fácilmente. LAWSON (1980) dice:

La importancia relativa de los diversos requisitos cambia constantemente durante el proceso de diseño a medida que el sistema de valores del diseñador se ve en sí mismo afectado por la exploración de objetivos y lo que él considera posible.

Los juicios de valor respecto a los «cambios» de unos criterios por otros son por lo tanto dependientes del contexto, y el equilibrio de satisfacción para estos requisitos puede no estar claro hasta que el diseñador explora las diversas posibilidades en detalle. Estos juicios de valor son aplicables no sólo a los criterios «cualitativos» como la estética, sino también a la importancia relativa de criterios cuantitativos que pueden en sí ser susceptibles de medición objetiva. Las cuestiones sobre cuáles son los problemas más importantes y qué tipo de soluciones pueden resolverlos con éxito también están cargadas de valor, y las respuestas dadas por los diseñadores a estas preguntas son, a menudo subjetivas y altamente dependientes del contexto.

La naturaleza del problema «real» a menudo no es, pues, evidente y debe ser descubierta; los problemas pueden sugerir ciertas características de las soluciones, pero a su vez, estas soluciones crean nuevos y diferentes problemas. La expresión inicial del problema muchas veces es engañosa, y los diseñadores típicamente han de invertir un esfuerzo considerable en identificar la verdadera naturaleza del problema al que se enfrentan. Los problemas de diseño no tienen límites evidentes o naturales, sino que más bien parecen estar organizados de manera relativamente jerárquica. No puede esperarse que muchos elementos del problema emerjan hasta que se haya realizado algún intento de generar soluciones. Dado el carácter esencialmente subjetivo del diseño es inevitable que algunos aspectos del problema permanezcan irreconocibles o no desarrollados durante gran parte del proceso de diseño. Como resultado, los problemas de diseño están llenos de incertidumbres tanto sobre los objetivos como sus relativas prioridades, y tanto las prioridades como los objetivos es probable que cambien a medida que emerjan las soluciones. SIMON (1973) llama a estos problemas «mal estructurados» y argumenta que cualquier problema con una base amplia de conocimiento potencialmente relevante entra dentro de esta categoría. La tarea del diseño está mal estructurada en este sentido en numerosos aspectos. Inicialmente no hay criterios definidos para probar una solución, y mucho menos un proceso formal para aplicar los criterios. Además, mientras que

la serie de soluciones alternativas puede darse en un cierto sentido abstracto, no se da en el único sentido que es relevante desde el punto de vista práctico. El resultado es que nunca puede haber una lista exhaustiva de todas las posibles soluciones a estos problemas.

Los problemas de diseño a menudo son, por lo tanto, multidimensionales y altamente interdependientes. Es raro que una parte cualquiera de un diseño sirva sólo a un propósito, y con frecuencia es necesario diseñar una solución que satisfaga toda una gama de requisitos. Las decisiones de diseño pueden tener otros resultados que no son los esperados, y que realzan criterios y relaciones no reconocidos previamente. En muchos casos los objetivos mencionados están en conflicto directo unos con otros y el diseñador no puede simplemente optimizar un requisito sin sufrir pérdidas por otro lado. Por ejemplo, aunque el hecho de ampliar una ventana significa dejar entrar más luz y tener mejor vista, también implica como resultado una mayor pérdida de calor y puede crear problemas de intimidad. Los diferentes intercambios entre criterios pueden resultar en toda una gama de soluciones aceptables, cada una de las cuales puede ser más o menos satisfactoria de forma distinta y para diferentes clientes o usuarios. Es la interrelación misma entre estos factores la esencia de los problemas de diseño, más que los factores mismos de forma aislada, y es la estructuración de relaciones entre estos criterios lo que forma la base para el proceso de diseño (LAWSON, 1980). El objetivo fundamental se convierte, pues, en la comprensión de la estructura del problema (más que la solución), y el análisis de las interrelaciones entre criterios para obtener más conocimiento de las relaciones entre cada decisión de diseño individual y todas las demás decisiones que, unidas, definen la solución.

3. La naturaleza del proceso de diseño

La exploración que hace el diseñador de esta estructura empieza con la formulación inicial del problema. En gran medida, un problema de diseño no tiene estructura inherente; adquiere estructura a medida que se proponen soluciones y los problemas se reducen a subproblemas. Realmente, las relaciones entre criterios pueden verse como una función del enfoque del diseño incorporada en la solución propuesta, más que inherente al problema en sí. Esta formulación inicial forma la base de la subsiguiente exploración del problema.

Consideremos, por ejemplo, el problema de proporcionar una determinada vista desde el comedor de una casa en el momento de diseñarla.¹ Este requisito puede haberse especificado en la descripción original del problema o puede haberse generado durante el proceso de diseño. En cualquiera de los dos casos el arquitecto puede decidir formular el problema de diseño asociado en términos de alguna solución estándar, como un problema de la distribución del comedor y la ubicación de la ventana de forma que proporcione la vista deseada desde las zonas relevantes de la habitación. Formulando así el problema de diseño, el diseñador formula a su vez la forma general de la solución; cualquier solución de diseño en particular es determinada por una ubicación concreta de la ventana y una disposición específica del comedor. El diseñador pasa entonces a explorar las implicaciones de esta decisión de diseño en particular. Al hacerlo, es posible que tome algunas otras decisiones de diseño y considere numerosas alternativas de diseño. Este proceso de exploración puede conducir al descubrimiento de que al proporcionar la vista deseada resulta imposible mantener la relación entre la zona del comedor y la entrada de la casa, o que el sistema estructural básico de la casa no permite colocar una ventana del tamaño deseado en el lugar deseado. Como resultado, el diseñador se da cuenta de que el problema de proporcionar al comedor una vista tiene otros aspectos y que la solución puede pasar por encontrar una distribución más apropiada de la casa en esa ubicación, o por rediseñar el sistema estructural de forma que pueda incorporarse la ventana deseada. La formulación tanto del problema como de la solución pueden, por lo tanto, cambiar como consecuencia del intento de resolver un problema concreto.

Podría argumentarse que en este caso la formulación original del problema ha sido poco realista y que un diseñador experimentado enfocaría el problema de manera más apropiada. Sin embargo, un argumento así no tiene en cuenta lo más importante. Al intentar encontrar la solución a un problema de diseño concreto, incluso el diseñador más experimentado aprenderá cosas nuevas que darán lugar a la necesidad de redefinir el problema y sugerir soluciones alternativas. La necesidad de comprender (al nivel que sea) los detalles de un caso particular y cómo interactúan es, en cierto sentido, lo que hace que un problema de diseño sea un problema de diseño.

A medida que una solución se desarrolla, nos va proporcionando un contexto cada vez más detallado

para ir contrastando y probando las hipótesis del diseñador, y la evaluación de una propuesta puede dar como resultado el descubrimiento de relaciones y criterios no reconocidos previamente. En cierto sentido, las decisiones posteriores son restringidas por las decisiones iniciales puesto que se toman dentro del contexto de una solución parcial ya existente, y cada decisión añadida limita aún más la gama de posibles alternativas. Las soluciones a subproblemas concretos es probable que sean modificadas o desechadas en fases posteriores cuando se tengan en cuenta nuevos aspectos y se vayan olvidando o desatendiendo las consideraciones que llevaron a la solución original. Estos efectos secundarios forman parte de todos los procesos de diseño complejos. El resultado es que mientras la solución final puede satisfacer todos los requisitos que se le exigen en el momento de probarla, también puede violar algunos de los requisitos que fueron impuestos (y temporalmente satisfechos) en una fase anterior del diseño. El diseñador puede o no ser consciente de estas violaciones. Otros criterios de diseño apropiados pueden simplemente permanecer latentes, sin necesidad de surgir durante el proceso de diseño. El desarrollo del diseño está, pues, restringido por aquello que mejor se ajusta al conocimiento que tiene el diseñador en ese momento.

La formulación del problema en cualquiera de sus fases no es definitiva; más bien refleja la comprensión que el diseñador tiene en ese momento del problema. A medida que el diseño progresa, el diseñador aprende más sobre posibles estructuras del problema y sus soluciones, a medida que se evidencian nuevos aspectos de la situación y se revelan las inconsistencias inherentes a la formulación del problema. Como resultado, los diseñadores adquieren información respecto al problema (y respecto a la solución) y esto a su vez concluye en la formación de un nuevo punto de vista; se ha redefinido tanto el problema como la solución. Este proceso de exploración y redefinición continúa hasta que se consigue una o más de las siguientes condiciones (BAZJANAC, 1974):

- el incremento de conocimientos se ha tornado insignificante y la comprensión del problema (y la solución) no pueden variar lo suficiente como para justi-

1. Este ejemplo está basado en uno dado por BAZJANAC (1974).

ficar más redefinición (es decir, el diseñador ha alcanzado el límite de su comprensión); o

– los recursos disponibles (sobre todo el tiempo) se han agotado.

No hay una distinción significativa entre *análisis* y *síntesis* en este proceso; se considera que los problemas y las soluciones emergen juntos, más que sucediéndose unos a otros de una manera lógica. Se explora el problema a través de una serie de intentos de crear soluciones y comprender sus implicaciones en términos de otros criterios. El diseñador llega a entender las relaciones críticas y las formas posibles a medida que una solución evoluciona. Entre soluciones genéricas la planificación no es tanto una búsqueda de la mejor solución cuanto una exploración de los compromisos que producen suficientes soluciones. Estas exploraciones ayudan al diseñador a saber qué requisitos pueden alcanzarse más fácilmente. Como parte de este proceso, el diseñador aprende qué criterios de valor ayudarán a alcanzar los requisitos de diseño y qué variación de estos valores puede tolerarse sin dejar de conseguir un rendimiento aceptable; aprende las implicaciones de conseguir el actual objetivo y cualquier otra decisión necesaria para hacer que el hecho de alcanzar estas metas sea consistente con la solución existente.

Aprender más sobre la estructura del problema es la parte más importante de este proceso. El objetivo fundamental se convierte en la comprensión de la estructura del problema, y el mayor esfuerzo del diseño debe estar dirigido hacia la estructuración de problemas y sólo debe dedicarse una pequeña fracción a resolverlos una vez que han sido estructurados (SIMON, 1970). El proceso de diseño puede verse de forma más general como un proceso de descubrimiento de información sobre las estructuras de problemas que, en última instancia, será de gran valor para desarrollar posibles soluciones.

4. El conocimiento en diseño

La generación de soluciones se basa en un extenso conocimiento de métodos, estrategias y soluciones de diseño a problemas previos. Las propuestas de diseño no se producen a ciegas, sino que son el resultado de una comprensión general de los tipos de soluciones que pueden ser adecuadas en una situación determinada, y la manera en que puede llegarse a estas soluciones. Un

componente importante de este conocimiento es lo que podríamos llamar «experiencia recopilada». El rol del conocimiento *a priori*, derivado tanto de una familiaridad con problemas relacionados o en forma de guías y estándares publicados, ha sido ampliamente reconocido en estudios sobre diseño. FOZ (1972) ha mostrado que la exploración del problema evoca en la memoria soluciones previamente conocidas. Estos ejemplos se usan como «guías» o «plantillas» para analizar o desarrollar posibles soluciones en términos de los requisitos del problema. AKIN (1978) argumentó el uso de «transformaciones de problemas», que

hacen que la solución actual del problema sea más específica, como una solución prerrecopilada, una solución análoga, una solución genérica, etc. [...] si las transformaciones explícitas no son posibles en ese momento hay que usar la experiencia previa para suponer que ciertos aspectos de la solución actual pueden especificarse aún más.

Más recientemente Gero y otros autores (GERO, 1987; GERO, MAHER & ZHANG, 1988; OXMAN & GERO, 1988) han propuesto que los conocimientos de diseño son almacenados y recuperados en una serie de esquemas abstractos llamados «prototipos»: ‘agrupaciones generalizadas de elementos en un dominio de diseño [...] del que pueden derivarse ejemplos de elementos’.

Estos enfoques del diseño pueden considerarse en general como «basados en el conocimiento», pues ven el proceso de diseño como una serie de transformaciones del problema gobernadas por «reglas» o «códigos» que vinculan las soluciones de diseño con los requisitos abstractos. Hay claros paralelismos, por ejemplo, entre las «plantillas» de Foz, las «transformaciones de problemas» de Akin y el concepto de «prototipos» de Gero. Todos estos enfoques tienen en común la idea de que el diseño procede a través del uso de un cuerpo organizado de conocimientos *a priori*, que se utiliza tanto para estructurar como para comprender el problema de diseño, y que constituye la base de las hipótesis de diseño. En este punto de vista existe en cualquier momento una lista de objetivos actuales junto con una (potencialmente grande) serie de heurísticas, estrategias, ejemplos previos, etc., que incorporan una serie de relaciones percibidas entre solución y criterios. Estas relaciones funcionan como «reglas de producción» plasmando un problema expresado en términos de requisitos abstractos sobre alguna solución o clase de

soluciones que satisfaga estos requisitos. El límite entre el espacio de criterios y el de soluciones se mueve para incluir como criterios soluciones a problemas previos, a medida que los problemas representados por los criterios se van reduciendo a series de subproblemas más sencillos cuya solución es conocida, o que al menos son más fáciles de resolver. Este proceso continúa hasta que no es posible reducir más o hasta que se considera que el problema resultante ya no es problema del diseñador; por ejemplo, el problema de cómo diseñar una viga para que soporte un peso determinado o el problema de cómo construir una pared de un tamaño determinado en una oposición concreta.

STEADMAN (1979) ha argumentado que en el diseño arquitectónico este cuerpo de conocimiento general o colectivo se perpetúa a través de la educación arquitectónica, las revistas y publicaciones sobre arquitectura y el estudio de los edificios ya existentes. Sin embargo no es, a pesar de ciertas excepciones, de naturaleza organizada, explícita o científica. Más bien, la experiencia empírica de una gama de diseños relacionados proporciona un cuerpo de conocimientos y comprensión sobre cuya base es posible construir una teoría (o teorías) generalizada sobre una clase de artefactos, que se utiliza para extrapolar, más allá de los casos probados, a diseños hipotéticos, aunque relacionados, que aún han de ser construidos. Es este cuerpo de conocimientos sobre, por ejemplo, la relación del rendimiento físico con la forma, lo que proporciona información para la creación de soluciones.

Sin embargo, cuando dirigimos nuestra atención a la consideración detallada de estas reglas, se evidencia casi inmediatamente una dificultad aún mayor. El diseño, por su naturaleza, trata sobre todo con la especificación de objetos que son únicos. (Si ya existe un objeto al que se le reconoce que alcanza satisfactoriamente todos los objetivos de diseño ya no hay, por definición, un problema de diseño.) Entonces se plantea la pregunta: ¿cómo puede una colección de relaciones necesariamente finita tratar o lidiar con la infinita variedad de posibles problemas de diseño? O, para ser más precisos, ¿qué pasa cuando no puede encontrarse una regla que sea apropiada para el problema que nos ocupa?

Es imposible dar una respuesta completa a esta pregunta dado nuestro conocimiento actual del proceso de diseño; sin embargo, intentaremos desarrollar una pequeña parte de dicha respuesta en lo que resta del presente trabajo. Brevemente, argumentaremos que en general el diseño sólo puede proceder a través del de-

sarrollo de nuevas relaciones y estrategias dentro del contexto presentado por el problema de diseño. En lo que queda del presente trabajo presentaremos un modelo de desarrollo y aplicación del conocimiento del diseño basado en el sucesivo refinamiento de una serie de reglas heurísticas e incorporaremos este modelo al modelo del proceso de diseño propuesto por MARCH (1976).

5. La naturaleza de la heurística

Una *heurística* es un proceso o procedimiento que puede resolver un problema, pero que no ofrece garantía de que vaya a hacerlo (NEWELL, SHAW & SIMON, 1963). El estudio de la heurística como disciplina separada empezó de forma efectiva con POLYA (1945), que trazó sus orígenes hasta Leibniz, Descartes e incluso Pappus. Más recientemente, Pospelov y PUSHKIN (1972) han intentado definir el campo como «la ciencia que estudia las leyes que gobiernan el diseño de nuevas acciones en nuevas situaciones». Principalmente, la experiencia ha llegado sobre todo de otras áreas de estudio que no son el diseño, sobre todo las matemáticas (DAVIS & HERSH, 1980; POLYA, 1945) y la inteligencia artificial (LENAT, 1982). A pesar de las importantes diferencias en cuanto a materia y enfoque, argumentaremos que los resultados de estos estudios son relevantes para el diseño.² El material de esta sección se basa en el trabajo de LENAT (1982; 1983a; 1983b). Más abajo presentamos un resumen del trabajo de Lenat y en secciones subsiguientes intentamos desarrollar estas ideas y relacionarlas con la actividad del diseño.

LENAT (1982) argumenta que el poder de la heurística yace en una especie de continuidad bidimensional sobre situaciones y acciones:

Si una heurística H fue (o hubiera sido) útil en la situación S , entonces es probable que heurísticas parecidas a H sean útiles en situaciones parecidas a S .

En otras palabras, si pudiéramos de alguna manera representar gráficamente la función *conveniencia* (ac-

2. Nótese que al hacerlo no deseamos adoptar una posición «realista» respecto a las reglas del diseño. No queremos implicar que las «reglas» utilizadas por los diseñadores pueden hacerse explícitas o incluso que existan: sólo que el comportamiento de los diseñadores puede modelarse usando estas reglas.

ción, situación), esa función sería continua en ambas variables y variaría muy lentamente. Esto es obviamente una idealización; hay muchas maneras de caracterizar situaciones (el ámbito del problema, la dificultad del problema, el tiempo disponible para su solución, etc.) y muchas medidas de conveniencia (la calidad de la solución resultante, el coste computado de utilizar la heurística, etc.) con el resultado de que podemos hacer poco más que estimar la utilidad de una acción concreta en unos cuantos criterios y en un número pequeño de situaciones. No obstante, Lenat argumenta que esta suposición está en la base de la mayor parte de la utilidad de la heurística en la solución de problemas y que a menudo es útil comportarse como si la suposición fuera cierta, es decir, actuar como si fuera cierto que la función *conveniencia* (acción, solución) existe, es continua y no varía con el tiempo.

Lenat desarrolla varios corolarios de esta suposición:

Corolario 1: *Si una acción A es conveniente en una situación S, luego A también es conveniente en la mayoría de situaciones que son muy similares a S.*

En una acción determinada, su *conveniencia* es una función continua de la situación. Si la situación cambia sólo ligeramente entonces los juicios respecto a qué acciones son convenientes también cambia sólo ligeramente. Esta es la justificación básica del razonamiento por analogía; si algo funcionó en una situación similar en el pasado, es probable que funcione en el problema que nos ocupa actualmente.

Corolario 2: *Si una acción A es conveniente en una situación S, entonces también lo son la mayoría de acciones que son muy similares a A.*

En una situación determinada, la *conveniencia* es una función continua de acciones. Si una acción es especialmente útil (o dañina) en alguna situación, es probable que cualquier acción muy similar tenga consecuencias parecidas. Esta es la justificación básica para «satisfacer», para aceptar una solución que es «suficientemente buena»; dado que cualquier situación similar tendrá, en general, consecuencias parecidas, no vale la pena buscar una respuesta óptima.

Corolario 3: *Si una acción A hubiera sido conveniente en una situación S, entonces la regla «Si la situación es parecida a S, entonces pruebe A», puede ser útil en el futuro.*

Es efectivo en cuanto al coste el formar y utilizar heurísticas que podrían haber sido útiles en el pasado. Esta es la justificación básica para la utilidad de la memoria. Si concluimos (después de mirar hacia atrás) que una regla habría podido ser útil en el pasado, entonces es probable que sea de utilidad en el futuro.

En el resto del presente trabajo intentamos extender este marco al terreno del diseño. Empezamos considerando la naturaleza de la heurística con más detalle.

5.1. El poder de las heurísticas individuales

Una *situación* es la descripción de un problema o tarea: una lista de objetivos así como la serie de restricciones, suposiciones previas y cualquier solución parcial ya existente que forman el contexto del problema. Para que un cuerpo de heurística sea efectivo para guiar la acción, cada heurística debe especificar aquellas situaciones en las que su/s acción/ones son especialmente convenientes o inconvenientes. Podemos ver una heurística como una sencilla regla de producción de la forma:

si ⟨condición⟩ luego ⟨acción⟩

Si la *condición* es cierta (o aproximadamente cierta) en una situación actual, luego la *acción* puede ser la conveniente para probar. Estas reglas pueden ser analíticas o sintéticas. Por ejemplo, si la tarea es diseñar una viga capaz de sostener una carga determinada, la heurística se consideraría sintética. A la inversa, si el objetivo es predecir los requisitos de energía calorífica de un diseño propuesto, la heurística se consideraría analítica. En ambos casos puede usarse una variedad de enfoques, que van desde experiencias empíricas hasta sofisticados métodos de elementos finitos. De forma más general, también hay reglas que son útiles en situaciones menos bien definidas; por ejemplo, qué tipo de sistema estructural utilizar dado el tipo de edificio y las restricciones de coste, o la evaluación de la distribución de un edificio dados los requisitos de diseño y las características del lugar de ubicación.

Cada heurística será más o menos útil en una situación determinada. La utilidad de una heurística es de cero en algunas situaciones (donde la heurística no es considerada relevante, es decir, la condición es falsa) y es más o menos positiva en otras (en las que la condi-

ción es cierta).³ Un problema puede caracterizarse de muchas maneras diferentes (por ejemplo, el alcance del problema, el grado de dificultad, los recursos disponibles para una solución, etc. —incluyendo el contexto de cualquier solución parcial que pueda ya existir). Un problema determinado puede identificarse con una serie concreta de valores en cada una de las dimensiones de la situación. Podemos ingenuamente clasificar los problemas como problemas fáciles y problemas difíciles o problemas de estructuras y problemas de entorno, por ejemplo. De forma similar, hay muchas formas diferentes de caracterizar la utilidad de una heurística (por ejemplo, su fiabilidad, los recursos necesarios para llevar a cabo la acción, etc.). Cada heurística tendrá un nivel determinado de utilidad para cada dimensión de utilidad de un problema concreto. Por ejemplo, en una situación dada una heurística concreta puede ser de rápida aplicación pero poco fiable. Nótese que aunque parece que hay un solapamiento —la velocidad con la que se precisa una solución *versus* la velocidad con la que se produce una solución, por ejemplo— estas dimensiones son distintas. Las dimensiones de situación caracterizan el problema, mientras que las dimensiones de utilidad caracterizan la heurística.⁴ Si hay n dimensiones de utilidad y m dimensiones de situación entonces la utilidad de una heurística en una dimensión de utilidad concreta puede ser representada por un punto en un espacio dimensional $n + m$. Para un problema determinado estaremos en algún punto en cada uno de los ejes de situación $situación_{1-m}$ y la utilidad de una heurística en alguna medida de utilidad $utilidad_i$ se da por

$$utilidad_i = f_u (heurística, situación_{1-m})$$

Para cualquier par de dimensiones de utilidad y situación ($utilidad_i, situación_j$) y alguna asignación de valores a las restantes dimensiones de situación podemos imaginar plasmar gráficamente la utilidad de una heurística en la dimensión $utilidad_i$ para valores variables de $situación_j$. Para n dimensiones de utilidad y m dimensiones de tarea hay $n \times m$ curvas tales de poder para cada heurística. Nótese que en muchos casos esto será una función constante. Por ejemplo, mientras que la fiabilidad de una heurística puede esperarse que dependa del ámbito del problema o del grado de dificultad, es improbable que se vea afectado por el tiempo disponible para una solución.

La utilidad de una heurística en una situación de-

terminada es una función tanto de la utilidad de la condición como de la utilidad de la acción

$$utilidad_i = f_u (utilidad_{ic}, utilidad_{ia})$$

donde

$$utilidad_{ic} = f_c (condición, situación_{1-m})$$

$$utilidad_{ia} = f_a (acción, situación_{1-m})$$

Si, por ejemplo, tanto la condición como la acción de una heurística tienen un coste asociado en tiempo o recursos y una fiabilidad asociada, entonces el coste total de utilizar la heurística será el coste de evaluar la condición (para averiguar si la situación es del tipo adecuado) más el coste de realizar la acción, mientras que la fiabilidad global de la heurística puede ser producto de la fiabilidad de la condición y de la fiabilidad de la acción. Una heurística, como por ejemplo «Si el problema es parecido a uno que hemos resuelto previamente, entonces copie o adapte la solución previa», puede tener gran utilidad (por ejemplo, bajo coste o alta fiabilidad) para problemas «típicos». El coste global de la heurística dependerá del coste de la búsqueda de la solución previa (la condición) y del coste de copiar o adaptar esa solución (la acción). La fiabilidad de la heurística será alguna función de la fiabilidad de la búsqueda (por ejemplo, el porcentaje de soluciones previas examinadas, o el fallo de no detectar diferencias significativas entre la situación previa y el problema actual) y la fiabilidad de adaptar la solución previa (por ejemplo, ¿se traspasaron detalles relevantes de la solución previa a la presente?).

3. Lenat argumenta que la utilidad de una heurística puede ser negativa en algunas situaciones, es decir, que la heurística parece ser relevante (la condición se equipara con la situación) pero es de hecho contraproducente —da una solución «errónea» o pobre, o lleva más tiempo que otros enfoques alternativos, etc., dependiendo de la dimensión de utilidad que se considere. Sin embargo, esto implica una teoría normativa de la utilidad, y a partir del argumento de Lenat no está claro dónde debe localizarse el punto cero. Suponiendo que tengamos ejes de utilidad para empezar, es más fácil que todas las utilidades sean positivas con ejes ordenados de la forma requerida (por ejemplo, menor coste = mayor utilidad).

4. Podríamos querer ver la gama de situaciones en las que una heurística es aplicable con mayor utilidad para aquellas heurísticas que son aplicables a una gama más amplia de situaciones. Sin embargo, esto oscurecería ciertos aspectos del argumento.

Estimar la utilidad de una condición es, a menudo, difícil. Mientras que puede ser posible determinar el coste de evaluar una condición, a menudo es mucho más difícil estimar su fiabilidad al seleccionar la serie de situaciones pretendidas. Esta es esencialmente la utilidad de la planificación, determinar cuánto tiempo o recursos deben destinarse a decidir qué es lo siguiente que debe hacerse —cuánto tiempo invertir en clasificar la situación, o en buscar aspectos en que la presente situación es similar o diferente a situaciones encontradas previamente. La utilidad de planificar varía tanto con la dificultad del problema como con el coste de la acción propuesta. Para problemas triviales, la planificación puede ser mayormente una pérdida de tiempo (casi cualquier heurística resolverá el problema). Sin embargo, para los problemas complejos o en situaciones en las que hay muchos problemas que interactúan, la planificación puede ser esencial para evitar perder el tiempo. Estimar la utilidad anticipada de una acción en una situación determinada muchas veces también es difícil. La estimación de utilidad puede estar basada simplemente en la experiencia subjetiva —cuántas veces la acción ha tenido éxito en situaciones similares en el pasado— o puede ser alguna medida del coste de realizar la acción en términos de tiempo o recursos. Si una acción ha tenido éxito con frecuencia en situaciones similares en el pasado, puede ser una buena heurística para probar en relación a la situación actual (dependiendo de otros factores como el tiempo necesario para realizar la acción frente al tiempo disponible para resolver el problema). Por otro lado, si sólo tiene éxito ocasionalmente, pero en las ocasiones en las que sí lo tiene produce una «buena» solución que es fácil de aplicar, puede valer la pena probarla.⁵

Podemos intercambiar la utilidad de la capacidad de la condición y de la acción de llegar a un nivel determinado de utilidad, por la heurística de forma global. Por ejemplo, al resolver problemas de estructuras, las dos heurísticas «Utilice siempre métodos de elementos finitos» y «Identifique aquellas situaciones en las que pueden utilizarse métodos analíticos más sencillos», pueden producir una solución igualmente «buena» en el mismo espacio de tiempo. Sin embargo, en general una buena heurística es aquella en la que hay un elevado nivel de solapamiento entre las situaciones en las que la condición tiene gran utilidad y aquellas en las que la acción tiene gran utilidad. Si las dos series sólo se solapan parcialmente, la heurística resultante puede ser poco fiable —en algunas situaciones tendrá éxito

mientras que en otras será un fracaso (por ejemplo, tardará mucho o producirá la respuesta «equivocada»). Si los dos grupos de situaciones son inconexos, la heurística resultante tendrá una utilidad baja o nula incluso aunque la condición y la acción en sí mismas tengan éxito. Puesto que el coste de la acción propuesta en tiempo o recursos aumenta, vale la pena invertir más tiempo en decidir qué enfoque adoptar.⁶ Los métodos de elementos finitos son aplicables a la mayoría de problemas estructurales de diseño, pero son efectivos en cuanto al coste sólo en aquellas situaciones en las que no se dispone de métodos más sencillos y a menudo se considera cuidadosamente si un problema requiere o no estos métodos.

5.2. El espacio de la heurística

En realidad, claro está, un diseñador utilizará una amplia gama de heurísticas al solucionar un problema determinado. En general, una serie o conjunto de heurísticas tendrá mayor utilidad que cualquiera de sus componentes considerados aisladamente. Las diferentes heurísticas son aplicables en diferentes situaciones y la utilización de varias heurísticas de forma combinada puede ser más efectiva que utilizar una sola, por ejemplo si la acción de una heurística se equipara con la condición de otra. Sin embargo, la utilidad global de un conjunto de heurísticas no es simplemente la suma de las utilidades de las heurísticas individuales. A menudo las interacciones entre heurísticas son muy fuertes y la independencia es la excepción más que la regla. Muchas veces dos heurísticas serán dos métodos diferentes de conseguir el mismo resultado y la utilidad global del conjunto no aumenta mucho estando las dos presentes.⁷ Mientras que las heurísticas a veces interactúan sinérgicamente, a menudo se da que hay varias series de heurísticas internamente consistentes pero mutuamente inconsistentes dentro del conjunto global.

5. Si, por otro lado, su aplicación es costosa, también puede valer la pena intentar aislar las características de aquellas situaciones en las que el resultado tiene éxito. Estas heurísticas sobre la generación de heurísticas se discuten en detalle más adelante.

6. A menos, claro está, que no haya enfoques alternativos disponibles. En una situación así el riesgo de fracasar aumenta dramáticamente.

7. Sin embargo, la redundancia generada por múltiples heurísticas puede ser importante en la consecución (consistente) de múltiples metas u objetivos.

Utilizar las heurísticas de sólo uno de estos conjuntos producirá una solución consistente al problema, pero el uso desestructurado de heurísticas de diferentes grupos produce inconsistencias en la solución. Estas interacciones son frecuentes en ámbitos como el diseño, donde el intento de conseguir un requisito o característica concreta muchas veces genera problemas en otra parte. SIMON (1973) argumenta que las buenas heurísticas son aquellas que minimizan estas interacciones, y que forma parte del aprendizaje de un diseñador el aprender qué enfoques a la resolución de un problema son mutuamente consistentes.

La utilización de una heurística en particular en una situación determinada limita que otras heurísticas pueden emplearse en la nueva situación resultante. Como en una partida de ajedrez, cualquier movimiento concreto en una situación determinada condiciona y limita los movimientos posteriores. En teoría, en una situación determinada hay un mejor movimiento posible que puede encontrarse por la enumeración exhaustiva de todos los posibles movimientos y contramovimientos a partir de la posición actual. De forma similar, en cualquier situación de diseño dada podemos imaginar computar la «utilidad global» de una heurística de manera que la heurística con la utilidad global más elevada en última instancia lleve a la mejor solución global que puede conseguirse en la presente situación. Nótese que en este caso la palabra «mejor» significa mejor en todas las dimensiones de utilidad (sopesada en relación a la importancia de cada dimensión de utilidad) tal y como éstas aparecen en el contexto del diseño finalizado, es decir, modificado por la creciente comprensión que tiene el diseñador de lo que es posible y las implicaciones de las diversas alternativas. Obviamente, computar esta utilidad global es imposible —significaría la enumeración exhaustiva de todos los diseños posibles en la presente situación (es decir, volver atrás sobre lo ya hecho y abandonar la solución parcial presente)— y precisaría de un espacio bien definido de diseños posibles. Cada decisión de diseño individual debe hacerse en el contexto del problema global. Este contexto incluye tanto la especificación del problema y el resto de la solución de diseño —tanto las decisiones tomadas hasta la fecha como las que se tomarán en el futuro, puesto que la decisión tiene que satisfacer no sólo los objetivos actuales sino que debe seguir satisfaciéndonos en el contexto de la solución final cuando se hayan tomado todas las decisiones restantes. No sólo está indefinida la serie de deci-

siones futuras sino que la parte que sí está definida, la definición actual del problema, cambiará en el transcurso del diseño a medida que sea modificada por la creciente comprensión que adquiere el diseñador de las implicaciones de la situación actual. Como en los programas de ajedrez, los diseñadores deben trabajar con información esencialmente local y cualquier estimación de la utilidad de una acción está típicamente limitada a las consecuencias inmediatas de la acción.

De forma más general, la estructura subyacente del espacio de la heurística —el número y tipo de heurísticas y los conceptos que relacionan— depende de cómo el espacio de los conceptos es conceptualizado para convertirse en problemas. Podemos asociar con cada heurística uno o más ámbitos, o «series de problemas», para los que la heurística tiene utilidad cero o nula, donde el ámbito se define como una gama de valores para las dimensiones de materia o tema, complejidad, tiempo disponible para la solución, etc., que juntas engloban una región del espacio problema. La serie de situaciones (definidas como la gama de valores para cada dimensión de la situación) para las que una heurística adquiere algún nivel de utilidad en cada dimensión de utilidad se da por

$$\text{situación}_{1-m} = f_d (\text{heurística}, \text{utilidad}_{1-n})$$

Por el contrario, la serie de heurísticas apropiadas para un problema dado o una serie de problemas (es decir, para un dominio) se da por

$$\text{heurística} = f_b (\text{utilidad}_{1-n}, \text{situación}_{1-m})$$

Para resolver un problema determinado es necesario encontrar una heurística que tenga un comportamiento satisfactorio en todos los ejes de utilidad relevantes. En otras palabras, dado un mínimo nivel de rendimiento para cada dimensión de utilidad y la posición del problema en cada una de las dimensiones de situación, la serie de heurísticas relevantes para este problema se encuentra dentro del hipervolumen definido por los parámetros de situación/utilidad.

La serie de heurísticas asociadas con cada ámbito puede considerarse en cierto sentido relevante al conjunto de problemas que constituyen el ámbito (y todos sus subconjuntos) en que tiene utilidad nula o cero para esa serie de problemas. Los ámbitos no dividen el espacio de conceptos —en cierto sentido todo está vinculado a todo. Más bien se trata de mecanismos con-

ceptuales para estructurar nuestra forma de considerar el problema. Por ejemplo, es improbable que en general se requiera una consideración detallada del tipo de ventana en un plano de distribución general, aunque puede hacerse. LENAT (1982) argumenta que una de las tareas más importantes cuando se intenta dominar cualquier ámbito es aprender el nivel o niveles adecuados en el que se puede formular y aplicar el conocimiento heurístico. Si las heurísticas son muy pequeñas su ámbito de aplicación se vuelve demasiado estrecho para que valgan la pena ser recordadas en relación a la gama de problemas asociados en ese ámbito. Dejan de ser partes significativas de conocimiento y tienen el riesgo de incluir muchas interacciones dispersas o vagas.

Un problema como por ejemplo el «diseño de esbozos» o el «diseño de un sistema estructural», puede verse como el nombre metanivel de una serie de conceptos cuyo nivel es el objeto. Los atributos del problema, como el nivel de dificultad, etc., son de hecho atributos de esta serie de conceptos.⁸ El problema, por ejemplo, de «diseñar un sistema estructural» o, de manera más general, de «diseño estructural», puede verse como el problema de encontrar alguna relación entre una estructura y una serie de elementos que comprendan esa estructura; donde la «estructura» y los «elementos» son variables que se extienden sobre posibles estructuras y elementos respectivamente, es decir, sobre subgrupos del conjunto de conceptos estructurales. La tarea de «resolver un problema» se convierte en la de relacionar una serie de conceptos diana con una serie aún no especificada de hipótesis. Mientras que el grupo de posibles hipótesis no forma parte de la descripción del problema actual, la serie de conceptos posibles o candidatos a partir de los que se construyen las hipótesis se conoce en cierto sentido a través de la experiencia de problemas similares. Es esta serie de conceptos relevantes la que forma el «área» o ámbito del problema, lo que una heurística intenta estructurar dividiéndola en la (sub)serie de conceptos que formarán parte de la solución actual y aquellos que no. La heurística puede verse como la estructuración de relaciones entre grupos de conceptos (entre series de «todos» y «partes» o «causas» y «efectos») y por lo tanto la heurística —vista como relaciones de metanivel tales como más-general-que o más-poderoso-que— están en gran parte determinadas por la resultante división del espacio de conceptos en problemas. Un corolario de esto es que la forma de ver los problemas determina en gran parte la forma en que serán resueltos.

5.3. El espacio de las situaciones

Las diferentes heurísticas tendrán diferentes utilidades en una situación determinada. Si una heurística tiene menor utilidad que otra en todas las medidas de utilidad y en todas las situaciones, entonces decimos que la primera heurística está *dominada* por la segunda. Una serie así es claramente dependiente del contexto. Siempre se están descubriendo nuevos enfoques que son (o se cree que son) mejores en algún sentido respecto a aquellos que reemplazan. Sin embargo, de cualquier conjunto de heurísticas determinado (que representa alguna comprensión del mundo o del nivel de habilidad para la resolución de problemas) es posible extraer el subgrupo no dominante. Estas heurísticas pueden considerarse las «mejores de las que se dispone». Esto es claramente una idealización; sin embargo no tiene connotación alguna y simplifica la presentación.

Dentro de tal serie de heurísticas no dominantes hay un intercambio o trueque entre generalidad y poder. Un aumento de la utilidad en cualquiera de las dimensiones de utilidad dadas (por ejemplo, una con más posibilidades de éxito) sólo puede conseguirse utilizando una heurística que tenga una utilidad inferior en alguna otra dimensión (por ejemplo, es más cara), o sea aplicable a una gama menos amplia de problemas, o ambas cosas. Aquello que parece potente o eficiente en un contexto general resulta menos notable en comparación con heurísticas de un alcance similar. Una heurística más general aplicable a una gama más amplia de problemas generalmente tiene una utilidad inferior para cualquier problema concreto, mientras que las heurísticas más específicas con mayor utilidad están limitadas a una gama más reducida de problemas.⁹

8. El término «problema» tal como se utiliza aquí hace referencia al tipo de problemas asociados con un ámbito determinado, independiente de cualquier objetivo o grupo de objetivos determinado.

9. En algunas circunstancias el eje de utilidad puede tener algún punto deseable absoluto, por ejemplo, alguna garantía de corrección o eficiencia. Si una heurística excede este valor (aunque sólo sea sobre una gama relativamente pequeña de tareas) puede cambiar nuestra forma de verla; por ejemplo, podemos llamarla «algorítmica» o «tiempo real». Desde este punto de vista, los algoritmos son simplemente heurísticas que tienen una utilidad suficientemente alta para poder dar garantías respecto a su uso, aunque sólo sea en una serie de situaciones restringidas. Por el contrario, uno puede intentar aplicar un algoritmo fuera de su ámbito de aplicabilidad, en cuyo caso el resultado puede

Lo dicho hasta aquí está extraído de la experiencia cotidiana —no estrategias todopoderosas de resolución de problemas que sean aplicables en todas las situaciones o a todos los problemas. Si consideramos el alcance de una heurística como su ámbito, entonces su utilidad global —definida como la integral múltiple de todas las curvas de potencia de la heurística— está limitada y depende de la importancia relativa (o más exactamente, del intercambio o trueque entre) de cada uno de los ejes de utilidad en el contexto del problema/solución actual. La utilidad total de una heurística, u_t , se da por

$$u_t = \sum_{i=1}^n u_i w_i$$

donde u_i es la utilidad en la medida de utilidad i y w_i es el peso o importancia relativa de la medida de utilidad en el contexto actual. El hecho de que una ganancia o una pérdida en una dimensión de utilidad concreta represente un aumento en la utilidad total depende de sus implicaciones para otras dimensiones. Por ejemplo, para una muy buena solución, el coste puede ser menos importante.¹⁰

LENAT (1982) argumenta que en cualquier situación debemos aplicar primero la heurística más fuerte que esté a nuestra disposición y sólo debemos recurrir a aquellas con menor utilidad si fallan los intentos iniciales de resolver el problema. Claro está que es improbable que sepamos la fuerza de una heurística de forma precisa para cada situación posible. Es más probable que tengamos algún conocimiento de la fuerza o potencia media de cada heurística y que lo utilicemos para adivinar cuán útil será cada una en la situación actual. Si asumimos que todas las heurísticas son no dominadas, esto corresponde a intentar primero la heurística más específica, seguido de la segunda más específica y así sucesivamente.

Aún más importante, el trueque o intercambio entre la generalidad y el poder significa que para una determinada serie de heurísticas existen problemas que no pueden resolverse usando esas heurísticas. Que esto es así es fácil de demostrar sencillamente seleccionando un problema que sea suficientemente difícil en relación al ámbito de esas heurísticas. La existencia de dichos problemas no necesariamente presenta dificultades para un modelo de diseño basado en heurísticas, siempre que la mayoría de problemas de diseño puedan re-

solverse utilizando las heurísticas disponibles. Al fin y al cabo esto es de esperar; las heurísticas derivan de la experiencia con problemas encontrados previamente. Sin embargo, argumentaremos que muchos, aunque no la mayoría, de los problemas de diseño no pueden resolverse utilizando las heurísticas disponibles. Esta conclusión aparentemente paradójica —que la mayoría de problemas de diseño no pueden resolverse usando el conocimiento existente sobre diseño— es consecuencia del argumento generalidad *versus* poder.

Hay una infinidad de problemas de diseño asociados con un ámbito determinado que difieren en una o más de las dimensiones de situación o en la mínima utilidad requerida en cualquier dimensión de utilidad dada, o en la relativa importancia que el diseñador concede a estas utilidades. Podemos imaginar que una heurística típica será capaz de resolver algún porcentaje no trivial de los problemas asociados con su ámbito, si es que vale la pena recordarla para empezar. Sin embargo, mientras que la serie de heurísticas que se asocian con un ámbito pueden típicamente tener éxito a la hora de resolver muchos de los problemas que se dan dentro de ese ámbito, cada decisión de diseño debe tomarse en el contexto del problema de diseño global. La interacción entre criterios, que ya hemos dicho es una característica que define los problemas de diseño, significa que en general el ámbito efectivo de una heurística es el problema de diseño global, y éste puede variar de muchas más maneras que el ámbito putativo de la heurística. Por ejemplo, la gama de dimensiones de situación puede extenderse para incluir «problemas en los que la *heurística 101* ya ha sido empleada» o medidas de utilidad que normalmente caen fuera del ámbito del subproblema como «utilidad adecuada en la dimensión de utilidad u_x (en un problema en el que la *heurística 101* ya ha sido empleada)». Esto no implica que la utilidad total de cada heurística deba aumentarse de alguna manera. En muchos problemas, *aunque no todos*, el hecho de alcanzar una utilidad adecuada en la dimensión de utilidad u_x será irrelevante para resolver problemas en el ámbito concreto. Más bien hay muchas otras formas en que la utilidad total de una heurística puede distribuirse dentro del espacio situación/utilidad. Cada distribución única requiere

ser útil y el algoritmo es utilizado entonces como heurística (LENAT, 1982).

10. Creencia sostenida por muchos estudiantes de arquitectura.

una heurística única.¹¹ Una heurística capaz de producir la solución «correcta» en todas estas situaciones tendrá que tener una elevada utilidad en todas las dimensiones de situación relevantes, pero esto es imposible porque la utilidad total de una heurística es limitada. Tiene utilidad significativa sólo porque está especializada en una pequeña gama de problemas. Si esto es así, la pregunta que surge es: dado que la utilidad total de una heurística es limitada, ¿cuántas heurísticas necesitaríamos para estar seguros de poder reunir una serie consistente que resuelva el problema?

La utilidad total asociada con una heurística puede estar distribuida de muchas maneras diferentes. Por ejemplo, algunas heurísticas pueden ser muy buenas para una pequeña gama de problemas mientras que otras son de menor utilidad pero resultan apropiadas en una gama más amplia de situaciones. Si asumimos que una heurística ha de tener algún nivel de utilidad no trivial en alguna dimensión de utilidad para poderse utilizar como solución a un problema, luego el número de heurísticas que se requieren para resolver la gama de problemas que conceptualmente se producen «dentro» de un ámbito determinado será típicamente bastante grande. Por ejemplo, si la utilidad total de heurísticas no dominadas tiende hacia una constante, entonces para un nivel determinado de utilidad relativo a algún ámbito el número de heurísticas que se requiere para cubrir completamente el espacio del problema estará en función del poder del nivel de utilidad requerido: doblando la utilidad requerida a lo largo de uno de los ejes aumenta el número de heurísticas por un factor de dos; doblando la utilidad requerida en todas las dimensiones de utilidad aumenta el número de heurísticas requeridas por un factor de 2^n , etc.¹² Puesto que la situación puede variar de muchas maneras (es decir, la serie de problemas típicos es grande) y el volumen de una heurística es limitado, parece improbable que en todas las fases del proceso de diseño vaya a haber una heurística apropiada. Nótese que este argumento es aplicable a todos los niveles de abstracción desde la distribución hasta el diseño de detalles si consideramos el poder de una heurística con relación a su ámbito.

Cuanto más interdependientes son los criterios, mayor es el número de heurísticas que se necesitan para resolver un problema determinado. Incluso si asumimos, como parece probable, que los problemas no están distribuidos de manera uniforme a lo largo de los ejes de utilidad y situación, el número de problemas

posibles sigue siendo muy grande. Necesitaríamos por lo tanto un número correspondiente de heurísticas para estar seguros de resolver un problema típico de diseño seleccionado al azar dentro de un ámbito cualquiera. Dejando a un lado el problema de recordar simplemente esta serie de heurísticas (para cada ámbito) seguimos teniendo la dificultad de explicar cómo puede surgir una serie así. Si las heurísticas se derivan de la experiencia con una gama de problemas, el conocimiento de dicha serie parecería implicar la experiencia de todos los problemas posibles. Si, como parece probable, esto es imposible, nos vemos obligados a concluir que nunca podemos tener reglas suficientes para resolver un problema determinado.¹³

Si no se puede encontrar una heurística adecuada los criterios son considerados inconsistentes, es decir, no existe una solución dentro del espacio de solución definido por las heurísticas. Esto ocurre cuando no se encuentra una forma de conseguir un requisito concreto o una serie de requisitos dentro de la restricción impuesta por el resto del contexto de la solución. Esto puede ser porque mientras que las heurísticas disponibles son capaces de alcanzar sus objetivos inmediatos, las resultantes soluciones «locales» tienen consecuencias inaceptables en otras partes (pueden encontrarse soluciones para cada uno de los subproblemas considerados aisladamente, pero estas soluciones parciales son mutuamente inconsistentes), o porque no se puede hallar la forma de alcanzar un objetivo concreto incluso en ausencia de otras restricciones (el problema cae fuera del ámbito de cualquier heurística conocida). Estos conflictos son comunes en diseño y, de hecho, hemos destacado que una de las características de los

11. Nótese que esto anula la posibilidad de generar un número infinito de soluciones combinando simplemente heurísticas «estándar» asociadas con cada ámbito.

12. Esto supone que todas las dimensiones de un problema son igualmente importantes y que hay una distribución uniforme de problemas dentro del ámbito. Sin embargo, en realidad es probable que algunos sean más importantes que otros y en algunos casos (por ejemplo, problemas de extrema dificultad) puede no haber heurísticas disponibles.

13. Incluso si existiera una serie de heurísticas así, el problema de encontrar la heurística «correcta» para resolver el subproblema actual sigue existiendo. Como vimos en la sección 5.2, mientras que las heurísticas se evalúan según su utilidad global, son necesariamente seleccionadas por su utilidad local ya que parte del contexto de diseño no está disponible cuando se toma la decisión de utilizar la heurística.

problemas de diseño es la existencia de conflictos entre criterios (LOGAN & SMITHERS, 1989). En una situación así el diseñador debe modificar el problema, es decir, aflojar una o más de las restricciones hasta que la solución actual alcance los requisitos de diseño revisados, o modificar los medios disponibles para resolver el problema modificando una heurística existente o creando una nueva. (En muchas situaciones, para obtener una solución consistente será necesario modificar tanto la descripción de los requisitos como las estrategias disponibles para la resolución de problemas.) Cuando empezamos a resolver un problema, a menudo los criterios son inconsistentes. Al terminar, la solución y los criterios son consistentes porque hemos relajado los criterios o porque hemos encontrado una nueva forma de resolver el problema que satisface los objetivos. Los problemas que se percibían como inconsistentes o contradictorios dejan de serlo.

6. Formación heurística y aprendizaje en el diseño

Los resultados descritos en la sección anterior, es decir, la necesidad de heurísticas específicas para cada ámbito y la existencia de problemas que no pueden resolverse utilizando una serie determinada de heurísticas, son ambos consecuencia del argumento de generalidad *versus* poder.¹⁴ Sin embargo, los problemas se solucionan y existe considerable evidencia proveniente de la psicología cognitiva y de la investigación de diseño de que los diseñadores en efecto utilizan alguna forma de preestructuras o relaciones para estructurar y resolver sus problemas. En un intento de explicar esta paradoja, presentamos una visión alternativa del desarrollo y utilización de preestructuras en diseño, que acomoda estas observaciones y resultados teóricos al tiempo que esclarece el papel crítico del proceso de aprendizaje en diseño.

Los problemas de diseño son únicos por definición. Hemos argumentado que es improbable, dado el gran número de criterios que componen la definición de un problema de diseño, que un problema determinado sea idéntico a un problema resuelto previamente. Sin embargo, en general el diseñador habrá resuelto problemas similares en el pasado y utilizará esa experiencia como guía para resolver el problema actual. Proponemos la hipótesis de que existe un grupo de heurísticas «básicas» o centrales asociadas con cada ámbito que

han demostrado ser útiles en el pasado y que vale la pena recordar, y que estas heurísticas básicas están adaptadas (en mayor o menor grado) al problema actual que nos ocupa. Para cada ámbito de problemas, como el diseño de distribución, el diseño estructural, la selección de materiales, el diseño de detalles, etc., sea cual sea su nivel de abstracción, hay una serie de reglas sabidas, ejemplos típicos y relaciones que proporcionan una base heurística más o menos potente a ese ámbito y que están adaptadas a los detalles de cualquier problema concreto.

La serie de heurísticas está constantemente siendo adaptada a problemas y situaciones nuevas y las heurísticas básicas se refinan continuamente a través de la experiencia adquirida en situaciones nuevas. Por ejemplo, las estrategias y relaciones normalmente utilizadas en el diseño de un sistema estructural serán diferentes de las utilizadas para determinar la disposición de elementos en un sistema concreto, pero en cada caso las reglas deben modificarse para acomodar los detalles de los problemas concretos que han de resolverse.¹⁵ Parece preciso algo así para explicar el uso de la experiencia previa al resolver problemas completamente nuevos (a diferencia de simplemente copiar soluciones viejas), y de hecho para explicar cómo es posible el diseño y la resolución de problemas en general (PETRIE, 1979). Que sea más útil considerar la nueva generación de heurísticas como la definición de un nuevo (sub)ámbito o como la adaptación de una heurística ya existente es una cuestión interesante. Esta última vía ha sido adoptada aquí para realzar la distinción entre operaciones sobre ámbitos (razonamiento por analogía) y operaciones dentro de ámbitos (adaptación de heurísticas existentes). Hemos argumentado en otro lugar (LOGAN, 1987) que las dos operaciones pueden considerarse formas de razonamiento por analogía realizadas a diferentes niveles.

En su versión más sencilla, puede considerarse que lo básico es simplemente la representación de todo el

14. Nótese que esta conclusión no depende de los detalles de las curvas de conveniencia *versus* situación, sino que yace en la noción mucho más general de que cualquier forma de enfocar la resolución de problemas está restringida a alguna gama (limitada) de problemas.

15. Nótese que estas «heurísticas básicas» no tienen necesariamente que haberse mostrado útiles en una amplia gama de situaciones; existen algunas heurísticas especializadas pero muy poderosas que son útiles en problemas recurrentes.

conocimiento que el diseñador tiene de un tipo concreto de problemas. De forma más general, lo básico representa algún compromiso entre el número de heurísticas necesario para cubrir adecuadamente un ámbito (y el gasto asociado de recordar y buscar alguna heurística particular), y el esfuerzo que supone adaptar un pequeño número de reglas generales a una amplia variedad de situaciones (o reinventar la rueda). También proponemos la hipótesis de que estas especializaciones o, de forma más general, «adaptaciones» de heurísticas existentes, son necesarias en todos los sistemas de heurísticas dirigidas hacia un objetivo, y que el desarrollo de estas heurísticas específicas de problemas es la motivación para el análisis hasta la síntesis, y subyace el proceso de entender la estructura de un problema de diseño identificado anteriormente como eje central del proceso de diseño.¹⁶

La definición de un problema de diseño puede verse como un punto en el espacio dimensional $n \times m$ —es decir, como la especificación de una heurística que alcanzará un determinado nivel de «rendimiento» en una situación concreta (típicamente, una heurística que tiene probabilidades razonables de proporcionar la respuesta «correcta» al problema actual). El proceso de adaptar una heurística existente puede verse gráficamente como el movimiento hacia la izquierda o la derecha de su función característica para alcanzar su punto álgido en una situación diferente.¹⁷ Este proceso de adaptación puede verse como una extensión natural de la «suposición central de la teoría de heurísticas» presentada en la sección anterior: es decir, si una heurística H fue (o podría haber sido) útil en la situación S , entonces es probable que heurísticas similares a H sean útiles en situaciones similares a S .

Varios autores (HILLIER & LEAMAN, 1974; STEADMAN, 1979) han argumentado que existen estereotipos culturales o «plantillas» que forman la base de soluciones de diseño de forma que podría considerarse análoga a las heurísticas básicas discutidas anteriormente. HILLIER y LEAMAN (1974; 1976) han caracterizado este proceso como uno de elaboración y modificación de estereotipos culturales o «plantillas». Según ellos el diseñador está situado en un

universo muy bien conectado cuyas conexiones son aquellos ámbitos no similares que deben relacionarse en el diseño; actividad y espacio, psicología y clima, etc.

Estas estructuras están inmersas en el lenguaje que el diseñador utiliza y en el juego de instrumental —las tecnologías o *kits* de partes y soluciones de diseño típicas a los que hacen referencia sus sistemas de representación (HILLIER & LEAMAN, 1974). Incluso el hecho de nombrar un problema arquitectónico —digamos «diseñar una escuela»— implica toda una gama de soluciones que serán más o menos inmediatamente activadas por las preestructuras del diseñador. Estas estructuras forman una tipología en evolución de soluciones estándar a problemas recurrentes de diseño, modificada por la experiencia del diseñador, su ideología y el entorno físico, social y cultural que forman el contexto del diseño. Desde este punto de vista, el diseño es el proceso de descubrir

la transformación apropiada o el «despliegue» de preestructuras en relación con las restricciones impuestas por el entorno del problema» (HILLIER & LEAMAN, 1974).

Tanto la transmisión como la transformación de preestructuras forman un proceso de elaboración y descubrimiento subyacente a la formación activa de relaciones dentro del cual cada solución puede ser única.

De manera similar, SCHÖN (1988) argumenta que los diseñadores hacen uso de «reglas de diseño» para «razonar sus movimientos, extraer consecuencias de posibles movimientos [y] tomar y evaluar decisiones de diseño». Las reglas derivan de tipos. Los tipos funcionan como ideas principales que generan secuencias de experimentos de diseño incluyendo «cadenas de razonamiento, consideración de posibles movimientos, detección de consecuencias, implicaciones y opciones». Sirven de guía para la selección de reglas, proporcionan la información necesaria para su aplicación y forman la base para desafiarlas y corregirlas. Las reglas son vistas como algo eventual y contextual; se sostienen de forma tentativa y están sujetas a excepciones y modificación crítica. Sin embargo Schön argumenta que aunque los diseñadores comparten muchas reglas,

16. La formación de heurísticas nuevas está también muy relacionada con la formación y utilización de analogías en el proceso de «razonamiento por analogía». Esto se discute de manera más detallada en la siguiente sección.

17. Esto puede reinterpretarse como el hallazgo de una relación que vincule algún espacio de solución a un espacio de criterio determinado; o en términos de nivel de objeto, encontrar una relación que estructure los conceptos que componen el «ámbito del problema».

los distintos diseñadores también usan diferentes reglas. Mientras que algunas reglas pueden ser comunes a muchos diseñadores (y pueden determinar la forma que puede tomar el desarrollo individual), éstos también desarrollan muchas estrategias individuales para resolver problemas como resultado de su educación, experiencia profesional, etc.

En todos estos puntos de vista el diseño es considerado como la modificación o refinamiento de los códigos generales de los diseñadores y de las relaciones dentro del contexto del problema actual. De forma más general, podemos ver el problema del diseño como el hecho de aprender a desarrollar estas preestructuras básicas para resolver un problema concreto. Es más, como ya hemos dicho antes, el desarrollo de dicha comprensión de la estructura del problema es el objetivo del proceso que hemos venido a llamar «análisis-a-través-de-la-síntesis».

7. Inducción y formación de reglas

En esta sección intentamos desarrollar un modelo del proceso de aprendizaje descrito anteriormente dentro del marco del modelo de diseño perfilado en secciones previas. En concreto, intentamos clarificar el papel de la inducción en la formación de relaciones entre criterios y su relación con el proceso de formación de teorías. Al hacerlo intentaremos mostrar que al cerrar el ciclo de abducción, deducción e inducción, el modelo propuesto por MARCH (1976) puede verse como un modelo simple del proceso de diseño (o más concretamente, el proceso de análisis-a-través-de-la-síntesis), y por lo tanto, del desarrollo de las preestructuras o estrategias de solución del diseñador.

El modelo de March se basa en el trabajo del filósofo americano C. S. Pierce. Pierce toma el silogismo aristotélico:

x es y ; y es z ; por lo tanto x es z

como tipificador del razonamiento deductivo o analítico; la aplicación de una regla general (y es z) a un caso particular (x es y) para obtener un resultado lógicamente determinado (x es z). El silogismo deductivo está basado en el concepto de certeza necesaria; es decir, que los hechos presentados en las premisas no pueden bajo ninguna circunstancia imaginable ser ciertos sin que se vea involucrada la certeza de las conclusio-

nes. De manera más sencilla, la deducción puede ser considerada la inferencia de un resultado a partir de un caso y una regla. Sin embargo, Pierce argumenta que el razonamiento inductivo o sintético, siendo más que la aplicación de una regla general a un caso particular, nunca puede reducirse a esta forma y luego pasa a desarrollar dos formas de razonamiento que él llama *abducción e inducción*. Ninguna de estas formas de inferencia es lógicamente determinada. La abducción refleja la suposición del que razona de que existe cierto fenómeno que explica sus observaciones, dado que se basa en una determinada teoría. La abducción es la inferencia de un caso a partir de una regla y un resultado. La inducción refleja la búsqueda del que razona de una ley que explique las regularidades entre los fenómenos, y es responsable de engendrar nuevos hábitos de pensamiento. La inducción es la inferencia de una regla a partir de un caso y un resultado.

March relaciona las tres formas de pensamiento propuestas por Pierce con el contexto del diseño en términos de sus resultados:

1. La creación de un caso o «composición» que se consigue con el razonamiento abductivo.
2. La predicción de resultados o una «descomposición» que incluya las características del diseño que emergen de un análisis de la composición global, conseguida con la deducción.
3. La derivación de reglas o «suposiciones», una idea, una teoría, o en su utilización moderna, el modelo, el tipo conseguido a través de la inducción.

March argumenta que el diseñador usa su experiencia previa y conocimiento de tipos de solución en un intento de producir una solución que satisfaga los criterios del problema. Un diseño especulativo de esta índole no puede ser determinado lógicamente porque la forma de razonar utilizada es esencialmente abductiva. Sólo puede ser inferido condicionalmente a partir de nuestro estado de conocimiento y la evidencia disponible. La inferencia deductiva es entonces utilizada para predecir medidas de rendimiento esperado a través de la aplicación de otros modelos y teorías a una propuesta concreta de diseño. A medida que el diseño progresa se añaden nuevas relaciones y criterios que pueden aumentar críticamente el conjunto original en la fase abductiva previa. En la fase inductiva, el diseño y sus características previstas son utilizados para inferir nuevas generalizaciones y suposiciones. Las reglas genera-

les son refinadas en el contexto de la solución de diseño actual a medida que la inducción crítica la hipótesis original de la fase abductiva y proporciona más herramientas de discriminación para la fase siguiente del ciclo. Al hacerlo, realiza una evaluación.

En sí un diseño, o la serie de características pertinentes por las que es percibido, no tiene ningún valor. Asume un valor relativo a través de la comparación con otros diseños tanto existentes como imaginados, así como con el entorno en general. De hecho, la evaluación da por hecho que las suposiciones sobre valor, preferencia y deseabilidad pueden inferirse. Son estas suposiciones las que forman la base de la fase abductiva del diseño. Es decir, que los modelos necesarios para producir alternativas de diseño están cargados de valor (MARCH, 1976).

March caracteriza esto como un proceso iterativo en el que hay constantes refinamientos y redefiniciones de características, diseño y suposiciones a medida que evoluciona la solución. El modelo es visto como

la representación de un proceso de aprendizaje crítico, en cuanto que las afirmaciones inferidas en fases posteriores pueden ser utilizadas para modificar aquellas utilizadas en fases más tempranas, y así estimular otros caminos de exploración (MARCH, 1976).

Sin embargo, dado el gran número de criterios que forman la definición del problema, es improbable que el problema actual sea exactamente similar en todos los aspectos a cualquiera de los problemas resueltos previamente y que forman la base de las preestructuras del diseñador. De hecho, puede argumentarse que las reglas son inherentemente poco claras a la hora de definir una relación entre dos grupos de conceptos a un nivel de abstracción que sea más elevado que el de los casos individuales o el de resultados subsumidos por la regla. Parece pues poco probable que a nivel de su aplicación (a diferencia de su nivel de definición), cualquier regla «vista» de forma perfecta una serie de criterios concretos, puesto que los conceptos implicados en la definición de reglas pueden verse como etiquetas de series poco claras definidas por una función de pertenencia.¹⁸ Los medios para resolver el problema no existen y deben ser creados. A continuación consideraremos este proceso con mayor detalle.

7.1. Aprendizaje y analogía

En cierto sentido, todo razonamiento puede considerarse de forma simple razonamiento por analogía o razonamiento a partir de casos similares.¹⁹ En realidad, ambas situaciones y las relaciones entre ellas son inherentemente poco claras. Ninguna de ellas puede ser completamente caracterizada y nuestras inferencias de cada día deben depender de las diversas relaciones de similitud entre la situación actual y la experiencia previa que utilizamos como justificación de nuestras conclusiones. Estamos continuamente adaptando reglas existentes del ámbito de interés (o cualquier otro ámbito que sea considerado relevante) a la situación actual. Es esta adaptación la que propendremos puede ser vista como una forma de aprendizaje.

El diseñador empieza por asumir que una regla que funcionó en una situación similar, o una regla similar a ella, también funcionará en la situación actual. (Esto es, de hecho, una versión revisada de la «suposición central» subyacente a la «teoría de heurísticas de segundo orden» de Lenat: que «en un mundo complejo, lleno de conocimientos y no-del-todo-comprendido, con frecuencia es útil comportarse como si la *conveniencia [acción, situación]* fuera continua e invariable en el tiempo».) Por supuesto, este enfoque es improbable que dé una respuesta completamente satisfactoria, pero proporciona un punto de partida para la exploración de las implicaciones de una solución particular en términos de las relaciones entre criterios.²⁰ Las subsiguientes modificaciones consiguen que la relación se acerque al problema actual. Ninguna relación puede caracterizarse en términos absolutos como «básica» o

18. También implica que las soluciones alternativas resultantes de la aplicación de una regla satisfarán el contexto más amplio de criterio de regla en diferentes medidas, y la evaluación de un caso dentro de este contexto puede interpretarse como la redefinición de la función de pertenencia de una serie poco clara de soluciones en el contexto de una serie concreta de requisitos de problema.

19. Esto, claro está, incluye las tres formas de inferencia identificadas por March. El emparejamiento perfecto necesario entre una regla y un caso o entre un caso y un resultado pueden verse como casos especiales de un procedimiento más general de emparejamiento poco claro o borroso.

20. Esta es la motivación subyacente a gran parte del proceso de análisis-a-través-de-la-síntesis identificado en la Sección 3. El sucesivo refinamiento de reglas puede verse como un corolario más de la incapacidad del diseñador para considerar simultáneamente todos los aspectos de un problema de diseño.

«específica» de un problema. Tanto las soluciones genéricas como las soluciones a problemas resueltos previamente tendrán, en general, que ser adaptadas al contexto del problema actual. Más bien, el proceso es recursivo en cuanto que implica una serie sucesiva de aproximaciones a la relación requerida.²¹ Desde este punto de vista, el aprendizaje por descubrimiento puede considerarse como el refinamiento de una analogía de este tipo; el descubrimiento de los errores y omisiones en el modelo inicial y hasta qué punto la estructura del nuevo ámbito se parece realmente a la estructura del ámbito que proporcionó la analogía inicial.

Para simplificar la exposición asumiremos que se ha encontrado o generado alguna regla apropiada, es decir, empezaremos suponiendo que se ha encontrado una regla que va bien con el resultado (abducción) o caso (deducción) actual, y limitaremos nuestra atención a la adaptación o refinamiento de una regla a una situación determinada. Los casos más generales precisan un tratamiento más detallado por analogía. El aprendizaje dentro de un ámbito puede verse como un caso particular de adaptación o refinamiento de analogías o estimaciones donde ya existe una amplia colección de relaciones similares, que difieren sólo ligeramente de la situación actual (por ejemplo, que son válidas para gamas ligeramente distintas de criterios de problemas), para servir como base a nuestras conjeturas.²²

7.2. Mantener la consistencia en el modelo de problema

En esta forma de ver el aprendizaje como un refinamiento sucesivo está implícita la idea de algún tipo de control, independientemente del éxito o no de una regla propuesta. Necesitamos alguna forma no tautológica de valorar lo bien que un caso (y por lo tanto una regla) alcanza su objetivo, o a la inversa, lo bien que una regla predice un resultado (conocido) a partir de un caso determinado. Si hay sólo una única relación que vincule dos grupos de conceptos no tenemos ningún medio independiente para valorar el resultado de la aplicación de la regla. En cualquier situación concreta, los casos y los resultados que se derivan de la utilización de la regla son, en cierto sentido, correctos por definición. De forma más general, una relación así es difícil de modificar o adaptar a una situación particular ya que no existen medios para determinar si una

serie de modificaciones convergen en la relación deseada. En la práctica, las reglas suelen formar parte de un sistema de relaciones interdependientes que juntas componen el cuerpo de conocimientos asociado a un ámbito. Las diferentes reglas expresan distintas conceptualizaciones de las relaciones dentro de un ámbito. Algunas relaciones se especializarán para generar hipótesis, mientras que se pretenderá que otras sean utilizadas analíticamente. Cada regla individual tendrá una serie concreta de atributos que determinan su alcance, fiabilidad, precisión, velocidad, etc., y estarán vinculadas a otras reglas con atributos diferentes (más precisa pero más lenta, etc.).

Así el rendimiento de cualquier relación individual puede determinarse usando alguna otra relación del ámbito que, en cierto sentido, es considerado más fiable o apropiado en la situación actual. Por ejemplo, los modelos analíticos (deductivos) existentes pueden utilizarse para comprobar el rendimiento de una heurística infiriendo las consecuencias de una hipótesis de solución propuesta. De forma similar, las evaluaciones iniciales basadas en simples reglas rutinarias pueden comprobarse usando relaciones más detalladas (y más precisas) a medida que se dispone de más datos. A la inversa, los modelos abductivos existentes (en forma de ejemplos o parejas de caso-resultado) pueden utilizarse para evaluar el rendimiento de un modelo propuesto (deductivo) de simulación, comparando el resultado predicho con los valores registrados previamente. En general, la utilidad o rendimiento de una regla, y nuestra confianza en ella (o más exactamente, en los resultados obtenidos al usarla en una situación determinada) será una función compleja del propósito de la regla, de la experiencia previa en el ámbito, de los datos disponibles y del tiempo del que se dispone para su utilización, etc.

En el apartado siguiente, modelaremos unas heurísticas como condicionales de la forma

21. PETRIE (1979) ha argumentado que el uso de la analogía es básico para todo aprendizaje, sosteniendo que es epistemológicamente necesario para relacionar lo desconocido con lo familiar y conocido.

22. Aunque sólo consideraremos la adaptación dentro de un ámbito determinado en el presente trabajo, en otro (LOGAN, 1987) hemos argumentado que las técnicas presentadas a continuación son igualmente relevantes para la producción de analogías y que el refinamiento de técnicas o estrategias de solución (que podrían llamarse aprendizaje «entre diseños») también se desarrolla gracias al ensayo y error guiado por heurísticas.

$$A_1, \dots, A_n \leftarrow B_1, \dots, B_m$$

donde A_1, \dots, A_n son la/s condición/ones y B_1, \dots, B_m son la/s acción/ones. Este enfoque tiene la ventaja de preservar la monotonicidad de la inferencia lógica y nos permite trabajar dentro de un marco lógico estándar (ver LOGAN, 1987 para más detalles). Distinguiremos entre reglas deductivas de la forma

$$A(f(x_1, \dots, x_n)) \leftarrow B_1(x_1), \dots, B_n(x_n)$$

y reglas abductivas²³

$$A(x) \leftarrow B_1(f_1(x)), \dots, B_n(f_n(x))$$

según las relaciones de dependencia funcional entre los criterios (LOGAN, 1989).²⁴ Las reglas sin términos de función, por ejemplo, $A(x) \leftarrow B(x)$, son tanto abductivas como deductivas en el sentido definido anteriormente. Nótese que ambas series de reglas pueden ser usadas abductivamente y deductivamente. Dada una regla $A(x) \leftarrow B(f(x))$ y una hipótesis $B(f(a))$ podemos derivar $A(a)$ como requiere la definición de abducción. Esta distinción es más una cuestión de cómo las relaciones se conceptualizan y cómo son típicamente utilizadas más que algo básico añadido al marco descrito por March.

Típicamente, cada serie de reglas sólo será consistente para una gama de valores limitada y en general no hay ninguna garantía de que cualquier subserie sea consistente para cualquier gama de valores. Por ejemplo, las reglas

$$A(g(x)) \leftarrow B(x)$$

y

$$A(x) \leftarrow B(f_1(x))$$

pueden ser consistentes para ciertas series de valores $m < x < n$ pero no para otros $x < m$, $x > n$ donde una regla diferente como $A(x) \leftarrow B(f_2(x))$ puede ser necesaria para mantener la consistencia. Esta dependencia del contexto puede expresarse explícitamente en forma de «interruptores de contexto» literales que han de ser ciertos para que la regla puede usarse. Por ejemplo, la regla

$$A(x) \leftarrow B(f_1(x)) \wedge x < n \wedge x > m$$

sólo será utilizada si la x está en la gama $m - n$. (Si no hay afirmaciones respecto al valor de x dentro del modelo de problema actual, una restricción limitándola a esta gama formará parte de la hipótesis.)

7.3. Un ejemplo: generación de una hipótesis válida

El problema, por ejemplo, de generar una hipótesis válida puede reformularse dentro de este marco como el de encontrar una regla abductiva que sea consistente con el criterio diana relativo a la subserie de reglas relevantes (deductivas o abductivas) que definen la subteoría dependiente del problema para ese ámbito. Por ejemplo, al intentar alcanzar algún criterio $A(a)$ un diseñador puede utilizar una relación tipo

$$A(x) \leftarrow B(f(x)) \quad (1)$$

que representa una regla rutinaria, un ejemplo previo, etc., para generar una hipótesis o caso

$$B(f(a)) \quad (2)$$

Este es esencialmente el proceso de abducción: la reducción de una serie de restricciones abstractas (expresadas como una serie de proposiciones atómicas) a alguna serie de restricciones más sencillas utilizando las relaciones contenidas en las proposiciones compuestas como reglas de producción. El estado del problema que contiene el criterio $A(a)$ se transforma en uno más detallado que contiene la afirmación adicional $B(f(a))$.

23. Nos hemos adoptado la práctica convencional de designar a una «heurística» (en el sentido de una relación abductiva) como un condicional inverso; es decir, una relación de la forma $A(x) \rightarrow B_1(f_1(x)), \dots, B_n(f_n(x))$. Dentro de un marco convencional de primer orden, el significado de una afirmación como, por ejemplo, $\text{Área}(x, u) \rightarrow \text{Largo}(x, f(u)), \text{Ancho}(x, f(u))$ es que si el área de x es u entonces es lógicamente necesario que su largo y su ancho sean $f(u)$. Esto significa que no podemos representar formas alternativas de derivar el largo y el ancho de una habitación a menos que estemos dispuestos a especificar series de situaciones mutuamente exclusivas en las que son apropiados. Hacer lo contrario comporta reinterpretar la semántica del condicional o la introducción de operadores modales.

24. De manera más general, las reglas pueden ser tanto heurísticas (en cuanto que no puede garantizarse que los resultados de su utilización sean correctos en todas las situaciones) como algorítmicas.

La resultante serie de criterios expandida, si se obtiene, resultaría de la consecución de la restricción indicada por el concepto de nivel más elevado. Al conceptualizar el problema en términos de una relación entre estos dos criterios, el diseñador ya ha determinado la forma global de la solución.²⁵ Cualquier solución de diseño específica está definida por la asignación de un valor determinado al concepto $B(x)$.

Una vez especificada, cada nueva solución parcial se comprueba contrastándola con los criterios o restricciones utilizados al generar todas las soluciones parciales previas. Sobre todo, se comprueba comparándola con las relaciones que forman la subteoría para el ámbito actual. Por ejemplo, una regla más precisa con mayor fiabilidad pero que es difícil de invertir puede utilizarse para determinar el éxito de la hipótesis propuesta para alcanzar el criterio deseado. Por ejemplo, a partir de la regla

$$A(g(x)) \leftarrow B(x) \quad (3)$$

y de la hipótesis

$$B(f(a)) \quad (2)$$

podemos derivar el resultado

$$A(g(f(a))) \quad (4)$$

Esencialmente, éste es el proceso de deducción. En el contexto del modelo desarrollado arriba, la inferencia deductiva puede verse como la determinación de las implicaciones o propiedades emergentes de la descripción del problema actual basada en las dependencias funcionales entre conceptos. A medida que la solución se desarrolla se pueden ir derivando nuevas proposiciones de más alto nivel a partir de las afirmaciones que definen el problema actual. Típicamente, esto implica predecir uno o más de los rendimientos o características del diseño a partir de algún subconjunto de sus atributos.

En muchos casos la hipótesis puede no alcanzar el criterio de valor requerido, es decir, $A(a) \neq A(g(f(a)))$ o $g \neq f^{-1}$ en a , o puede no alcanzar alguno de los otros criterios como $C(b)$, es decir,

$$B(f(a)), C(h(x)) \leftarrow B(x) \vdash C(h(f(a)))$$

y

$$C(h(f(a))) \neq C(b)$$

o ambos. De forma más general, una hipótesis no consigue alcanzar el criterio de valor deseado si el resultado precedido por la regla deductiva $g(f(a))$ cae fuera del intervalo necesario para alcanzar el objetivo, es decir $g(f(a)) < a_1$ o $g(f(a)) > a_2$, donde $a_1 - a_2$ denota la gama de criterios de valor que resultarían en la obtención del objetivo. Esto es, los valores del objetivo junto con alguna restricción de la integridad implican una inconsistencia. En términos formales podemos representarlo como que

$$A(a), A(g(f(a)))$$

junto con

$$\neg(A(x) \wedge A(y) \wedge Dif(x, y))$$

implica una inconsistencia. En cierto sentido podemos considerar la conveniencia de una regla abductiva como inversamente proporcional a la «distancia» entre el objetivo y el resultado derivado por deducción.²⁶ Este ciclo hipotético-deductivo subyace a la metodología de diseño análisis-a-través-de-la-síntesis descrito en la sección 3, en el que se proponen soluciones para descubrir sus implicaciones en términos de otros criterios. En cierto sentido, puede decirse que la abducción subsume la deducción en cuanto que el rol de la inferencia deductiva puede verse simplemente como determinante de las implicaciones de propuestas respecto a restricciones, guiando la transición entre estados y asegurando su consistencia.

En realidad, claro está, el proceso es algo más complicado. Que una hipótesis alcance un criterio de valor determinado es intrínsecamente dependiente del contexto en que es al menos potencialmente dependiente

25. Ignoraremos el problema de encontrar o generar esta relación y nos limitaremos a considerar la variación en el valor del criterio $f(a)$.

26. De hecho, podemos ver la utilidad de una regla para alcanzar un criterio diana en éstos términos. La función *conveniencia (acción, situación)* se convierte en el inverso del objetivo —el resultado de tomar alguna acción en una situación expresada en términos de criterios de problema más que como propiedades de meta-nivel. Sin embargo, no nos extenderemos aquí sobre estas ideas.

de los valores de todos los demás criterios que forman el modelo de problema. La consecución de una meta por un criterio de valor determinado depende (entre otras cosas) de lo que es posible en términos del criterio en el contexto actual, la sensibilidad del criterio de valor hacia los pequeños cambios de diseño y las implicaciones que tienen estos cambios para otros criterios. El diseñador redefine dinámicamente el nivel satisfactorio para cada criterio, y por lo tanto el nivel de rendimiento que debe alcanzar cualquier hipótesis en respuesta al contexto actual del problema. Pueden aceptarse criterios de valor más bajos si las metas u objetivos originales resultan inalcanzables en el contexto de la solución actual, o si el hecho de alcanzarlos pudiera tener consecuencias inaceptables para otros criterios.²⁷ Aunque la sencilla forma de ver la deducción y la consecución de objetivos aquí descrita es incapaz de modelar este proceso de redefinición dinámica de objetivos (y muchas otras cosas), creemos que es un modelo adecuado de fracaso en la consecución de un objetivo y, por lo tanto, puede brindarnos alguna información sobre el proceso de la formación de reglas o normas.

A medida que el diseño evoluciona, el diseñador aprende más sobre el problema y la solución a medida que se hacen evidentes nuevos aspectos del problema, y se ponen de manifiesto los conflictos inherentes en su forma de ver el problema. El diseñador utiliza esta mayor comprensión para generar nuevas estructuras y relaciones. Las reglas o transformaciones del problema que conforman la base de la abducción y la deducción se refinan y modifican constantemente a medida que el diseño progresa. El diseño y los criterios que de él se derivan se usan para inferir nuevas generalizaciones y relaciones mejor adaptadas al contexto actual del problema (por ejemplo, modificando los criterios de valor o introduciendo restricciones que requieren que si debe usarse una solución concreta en el contexto actual, otros criterios de diseño deben asumir determinados valores). Esta integración es el paso que Pierce llamó «inducción».

Así, de un caso

$$B(f(a)) \quad (2)$$

y de un resultado

$$A(g(f(a))) \quad (4)$$

derivados en el contexto del problema actual podemos inferir una nueva regla, digamos

$$A(x) \leftarrow B(f^{\circ}(x)) \quad (5)$$

que subsume tanto la Ecuación (2) como la Ecuación (4) y, es de esperar, esté mejor adaptada para producir hipótesis dentro de la gama del criterio de valor $A(a)$. En general, habrá muchas reglas así y será necesario seleccionar entre ellas en base a algún criterio (simplicidad, plausibilidad, etc.). Sin embargo, no consideraremos más estos problemas en el presente apartado. Igual que la abducción, la inducción no está lógicamente determinada. Una relación recientemente inferida no puede garantizarse que sea consistente ni con los criterios derivados ni con la serie de hipótesis que forman el estado actual del problema. Se dice que una relación derivada es válida si es consistente con la serie de restricciones que constituyen el modelo actual del problema, e irredundante si permite derivar nuevas consecuencias y/o hipótesis. Como tal, subsume tanto la deducción como la abducción como algo necesario para determinar su consistencia.

Entonces el ciclo comienza de nuevo. Esta nueva regla puede utilizarse para generar una nueva hipótesis que constituya la base de una exploración más detallada del problema, llevando a la derivación de nuevos criterios de valor y a la generación de más hipótesis. Es de esperar que los modelos deductivo y abductivo tiendan a «converger» a medida que se vaya entendiendo la estructura del problema. En el sencillo ejemplo antes citado esto ocurre cuando algún $f^* = g^{-1}$ en el intervalo del criterio diana, es decir, $g(f^*(a)) = a$. Si ninguna modificación de la Ecuación (1) lleva al éxito entonces es que el problema está demasiado restringido (es decir, existe un conflicto básico entre los criterios que forman el contexto actual del problema) y debe modificarse la solución o deben relajarse las restricciones, o que la (meta)hipótesis original de utilizar la Ecuación (1) era defectuosa (por ejemplo, una analogía inadecuada) y la (meta)regla que llevó a la generación de la Ecuación (1) debe ser modificada. MARCH (1976) ha argumentado que las fases se siguen unas a otras en la secuencia iterativa abducción-deducción-inducción, con constantes refinamientos y redefiniciones de características, diseño y relaciones a medida que evoluciona

27. Estos problemas se discuten en más detalles en LOGAN (1987).

la solución. Sin embargo, aunque esta es la línea general del argumento, no hay una necesidad lógica de realizar una operación determinada después de otra; es frecuente, por ejemplo, aplazar la evaluación hasta que se han tomado varias decisiones o considerar diversas hipótesis simultáneamente y, en general, un simple proceso iterativo es inadecuado para representar la complejidad del diseño.

Este ciclo de abducción-deducción-inducción es un proceso de aprendizaje. Desde este punto de vista, el «aprendizaje» se considera la formalización (por inducción) de la comprensión de la relación entre una acción (o de manera más general, una situación) y sus consecuencias. En el diseño esto adopta la forma del aprendizaje sobre las relaciones críticas y formas posibles a medida que la solución evoluciona. Entre soluciones genéricas, la planificación es menos la búsqueda de la mejor solución que una exploración de los compromisos que producen soluciones suficientes. Estas exploraciones ayudan al diseñador a apreciar qué requisitos pueden alcanzarse más rápidamente. Aprender más es la parte más importante de este proceso, y la redefinición del problema y la solución sólo pueden darse si se adquieren más conocimientos sobre ellos. La relación abductiva «correcta» es aquella que no sólo alcanza el objetivo original (local), sino que lo alcanza en el contexto del problema actual. La función abductiva resultante f^* representa la comprensión que tiene el diseñador de la estructura del problema; incorpora el conocimiento de cómo alcanzar el objetivo en el contexto del problema, es decir, las modificaciones que deben hacerse a la solución estándar para que funcione en el contexto del problema actual.

8. Conclusión

En este trabajo hemos intentado relacionar dos de los principales enfoques del diseño que se encuentran en la literatura sobre teoría del diseño —que el diseño es un proceso basado en el conocimiento y que el diseño es un proceso de aprendizaje— en un intento de explicar por qué el diseño ocurre de la forma en que lo hace. Empezando (es de esperar) con un pequeño número de asunciones plausibles sobre la naturaleza de los problemas de diseño y las limitaciones del conocimiento del diseño, hemos desarrollado un modelo teórico que intenta explicar algunos de los resultados de estudios empíricos sobre el proceso de diseño. En particular,

hemos intentado explicar por qué incluso en el caso de problemas relativamente sencillos, los diseñadores necesitan refinar y ampliar sus conocimientos en el contexto del problema actual y cómo, al hacerlo, llegan a entender el entramado de relaciones entre criterios que, unidos, definen la estructura del problema. Incorporando nuestro modelo de conocimientos de diseño al marco de los tres operadores lógicos propuestos por March, hemos intentado mostrar cómo podría proceder el desarrollo del conocimiento del diseño. El refinamiento de una heurística a través de un proceso de aproximación sucesiva puede verse como un modelo muy tosco (o quizás una metáfora) de lo que pasa cuando el diseñador empieza a «entender» la estructura del problema, en términos de las relaciones entre los criterios del mismo. El proceso hipotético-deductivo resultante puede considerarse una consecuencia natural de la necesidad de refinar y adaptar una serie de relaciones básicas o centrales a un problema determinado, y conforma el contexto de un proceso de aprendizaje a través del cual los diseñadores refinan sus conocimientos sobre los problemas de diseño y los problemas entre ellos.

La utilización de heurísticas para modelar el conocimiento del diseño no intenta implicar ningún compromiso ontológico como, por ejemplo, que las reglas utilizadas por los diseñadores pueden hacerse explícitas o, incluso, que dichas reglas existan. Más bien, la heurística proporciona un marco útil para la exploración de ciertas asunciones sobre el conocimiento en diseño; cualquier representación equivalente, como las «preestructuras» o «prototipos» funcionaría igualmente bien. De hecho, argumentamos que el análisis presentado aquí es aplicable a cualquier visión del diseño como algo basado en el conocimiento, independientemente de que este conocimiento esté representado por heurísticas, transformaciones de problemas o prototipos. Tampoco pretendemos que el modelo de abducción-deducción-inducción de March del proceso de diseño tenga alguna validez psicológica. La intención es colocar algunas restricciones amplias sobre cómo podría funcionar un proceso de formación de reglas de esta índole. Sin embargo, argumentaríamos que incluso un modelo limitado de esta manera es útil para obtener información sobre el rol del aprendizaje en diseño y puede proporcionar un marco útil para trabajar en el futuro.

Referencias

- AKIN, O. (1978), «How do Architects Design», en Latombe, J. C. (ed.), *Artificial Intelligence and Pattern Recognition in Computer Aided Design*, North Holland, pp. 65-98.
- BAZJANAC, V. (1974), «Architectural Design Theory: Models of the Design Process», en Spillers, W. R. (ed.), *Basic Questions of Design Theory*, North Holland, Amsterdam, pp. 2-19.
- DAVIS, P. J. & HERSH, R. (1980), *The Mathematical Experience*, Birkhauser.
- FOZ, A. T. K. (1972), «Some Observations on Designer Behaviour in the Parti», MIT Press, tesis para máster, Cambridge, Mass.
- GERO, J. S. (1987), «Prototypes: a new schema for knowledge-based design», Unidad de Arquitectura Computada, Departamento de Ciencias Arquitectónicas, Universidad de Sydney, Working Paper.
- GERO, J. S., MAHER, M. L. & ZHANG, W. (1988). «Chunking structural design knowledge as prototypes», en Gero, J. S. (ed.), *Artificial Intelligence in Engineering: Design*, Elsevier, Amsterdam, pp. 3-21.
- HILLIER, W. & LEAMAN, A. (1974), «How is design possible», *Journal of Architectural Research*, n. 3, pp. 4-11.
- (1976), «Architecture as a discipline», *Journal of Architectural Research*, n. 5, pp. 28-32.
- JONES, J. C. (1970), *Design Methods: Seeds of human futures*, Wiley.
- KRAUSS, R. I. & MEYER, J. R. (1970), «Design: A Case History», en Moore, G. T. (ed.), *Emerging Methods in Environmental Design and Planning*, The MIT Press, pp. 11-20.
- LAWSON, B. (1980), *How Designers Think*, Architectural Press, Londres.
- LENAT, D. B. (1979), «On Automated Scientific Theory Formation: A Case Study Using the AM Program», en Hayes, J., Michie, D. & Mikulich, L. I. (eds.), *Machine Intelligence*, n. 9, Halstead, Nueva York, pp. 251-283.
- (1982), «The Nature of Heuristics», *Artificial Intelligence*, n. 19, pp. 189-249.
- (1983a), «Theory Formation by Heuristic Search», *Artificial Intelligence*, n. 21, pp. 31-59.
- (1983b), «EURISKO: A program that learns new heuristics and domain concepts», *Artificial Intelligence*, n. 21, pp. 61-98.
- LOGAN, B. S. (1987), «The Structure of Design Problems», Departamento de Arquitectura, Universidad de Strathclyde, tesis doctoral (no publicada).
- (1989), «Conceptualizing Design Knowledge», *Design Studies*, n. 10, pp. 188-195.
- LOGAN, B. S. & SMITHERS, T. (1989), «The Role of Prototypes in Creative Design», *Preprints of the International Round-Table Conference: Modelling Creativity and Knowledge Based Creative Design*, Departamento de Ciencia Arquitectónica y de Diseño, Universidad de Sydney, Sydney, pp. 233-248.
- MARCH, L. (1976), «The Logic of Design and the Question of Value», en March, L. (ed.), *The Architecture of Form*, Cambridge University Press.
- NEWELL, A., SHAW, J. C. & SIMON, H. A. (1963), «GPS, A Program that Simulates Human Thought», en Feigenbaum, E. A. & Feldman, J. (eds.), *Computers and Thought*, McGraw Hill, Nueva York, pp. 279-296.
- OXMAN, R. & GERO, J. S. (1988), «Designing by prototype refinement in architecture», en Gero, J. S. (ed.), *Artificial Intelligence in Engineering: Design*, Elsevier, Amsterdam, pp. 395-412.
- PETRIE, H. G. (1979), «Metaphor and Learning», en Ortony, A. (ed.), *Metaphor and Thought*, Cambridge University Press, pp. 438-461.
- POLYA, G. (1945), *How To Solve It*, Princeton University Press.
- PUSHKIN, V. N. (ed.), (1972), *Problems of Heuristics*, Keter, Jerusalén.
- SCHÖN, D. A. (1988), «Designing: Rules, types and worlds», *Design Studies*, n. 9, pp. 191-190.
- SIMON, H. A. (1970), *The Sciences of the Artificial*, MIT Press.
- (1973), «The Structure of Ill Structured Problems», *Artificial Intelligence*, n. 4, pp. 181-201.
- STEADMAN, P. (1979), «The History and Science of the Artificial», *Design Studies*, n. 1, pp. 49-58.