

Herbert A. Simon

LA CIENCIA DEL DISEÑO: CREANDO LO ARTIFICIAL

Histórica y tradicionalmente, ha sido trabajo de las disciplinas de la ciencia enseñar sobre cosas naturales: cómo son y cómo trabajan. Esto ha llevado a la tarea de diseñar escuelas para enseñar sobre cosas artificiales: cómo hacer artefactos con propiedades deseadas y cómo diseñar.

Los ingenieros no son los únicos diseñadores profesionales. Cada uno diseña al idear cursos de acción apuntados al cambio de situaciones existentes en situaciones deseadas. La actividad intelectual que produce artefactos materiales no es diferente fundamentalmente de la que receta remedios a un paciente enfermo o de la que idea un nuevo plan de ventas para una compañía o una política de asistencia social para un estado. El diseño, así entendido, es el núcleo de toda la formación profesional: es el marco principal que distingue las profesiones de las ciencias. Las escuelas de ingeniería, así como las escuelas de arquitectura, negocio, educación, ley, y medicina, están todas centralmente vinculadas con el proceso de diseño.

En vista del papel clave del diseño en la actividad profesional, es absurdo que en este siglo las ciencias naturales casi hayan expulsado las ciencias de lo artificial de los planes de estudio de escuelas profesionales. Las escuelas técnicas se han hecho escuelas de la física y matemática; las facultades de medicina se han hecho escuelas de la ciencia biológica; las escuelas comerciales se han hecho escuelas de matemática finita. El uso de adjetivos como "aplicado" disimula, pero no cambia, el hecho. Esto simplemente significa que en las escuelas profesionales esos temas son seleccionados de matemáticas y de las ciencias naturales para enfatizar que son pensados para ser los más pertinentes para la práctica profesional. Esto no significa que el diseño es enseñado, como distinguido del análisis.

El movimiento hacia las ciencias naturales y lejos de las ciencias de lo artificial ha seguido adelante y más rápido en ingeniería, negocio, y medicina que en los otros campos profesionales que ya he mencionado, aunque no hayan estado de ningún modo ausentes en las escuelas de ley, periodismo, y biblioteconomía. Las universidades más fuertes son más profundamente afectadas que las más débiles, y los programas de postgrado más que el estudiante universitario. Pocas tesis en escuelas profesionales de primera clase tratan hoy con genuinos problemas de diseño, como distinguidos de problemas en concreto - física estatal o procesos estocásticos. Tengo que hacer excepciones parciales - por motivos que mencionaré - de disertaciones en ciencias informáticas y ciencia de dirección, y hay indudablemente algunos otros, por ejemplo, en la ingeniería química.

Herbert A. Simon

THE SCIENCE OF DESIGN: CREATING THE ARTIFICIAL

Historically and traditionally, it has been the task of the science disciplines to teach about natural things: how they are and how they work. It has been the task of engineering schools to teach about artificial things: how to make artifacts that have desired properties and how to design.

Engineers are not the only professional designers. Everyone designs who devises courses of action aimed at changing existing situations into preferred ones. The intellectual activity that produces material artifacts is no different fundamentally from the one that prescribes remedies for a sick patient or the one that devises a new sales plan for a company or a social welfare policy for a state. Design, so construed, is the core of all professional training: it is the principal mark that distinguishes the professions from the sciences. Schools of engineering, as well as schools of architecture, business, education, law, and medicine, are all centrally concerned with the process of design.

In view of the key role of design in professional activity, it is ironic that in this century the natural sciences have almost driven the sciences of the artificial from professional school curricula. Engineering schools have become schools of physics and mathematics; medical schools have become schools of biological science; business schools have become schools of finite mathematics. The use of adjectives like "applied" conceals, but does not change, the fact. It simply means that in the professional schools those topics are selected from mathematics and the natural sciences for emphasis which are thought to be most nearly relevant to professional practice. It does not mean that design is taught, as distinguished from analysis.

The movement toward natural science and away from the sciences of the artificial has proceeded further and faster in engineering, business, and medicine than in the other professional fields I have mentioned, though it has by no means been absent from schools of law, journalism, and library science. The stronger universities are more deeply affected than the weaker, and the graduate programs more than the undergraduate. Few doctoral dissertations in first-rate professional schools today deal with genuine design problems, as distinguished from problems in solid-state physics or stochastic processes. I have to make partial exceptions - for reasons I shall mention - of dissertations in computer science and management science, and there are undoubtedly some others, for example, in chemical engineering.

Referencias:

■ Dudas en la traducción de términos o frases.

■ Nombres propios o aclaraciones.

Entre diseño y artificialidad, un tema que está aún más vivo hoy que hace cuarto de un siglo, como los ensayos en esta edición especial de Design Issues show.

Between design and artificiality, a topic that is even more alive today than a quarter of a century ago, as the essays in this special edition of Design Issues show.

1. Esa era de hecho la opción en nuestras escuelas técnicas hace una generación. Las escuelas necesitaban ser purgadas de vocacionalismo; y una ciencia genuina del diseño no existió incluso en una forma rudimentaria como alternativa. Por ello el camino hacia adelante era el camino hacia la introducción de la ciencia más fundamental. Karl Taylor Compton era uno de los líderes prominentes en esta reforma, que era un tema principal en su anuncio inaugural presidencial dirigido al MIT en 1930: "espero... aquella atención creciente en el Instituto puede ser dada a las ciencias fundamentales; que puedan conseguir como nunca antes el espíritu y los resultados de la investigación; que todos los cursos de enseñanza puedan ser examinados cuidadosamente para ver donde la formación en detalles ha estado excesivamente enfatizada a cargo de la formación más potente en principios fundamentales comprensivos." Note que el énfasis del Presidente Compton estaba en "fundamental", un énfasis como sonando hoy cuando era en 1930. Lo que apremio en esta disertación no es una divergencia de lo fundamental, sino una inclusión en el plan de estudios de lo fundamental en la ingeniería al igual que lo fundamental en ciencias naturales. No era posible en 1930; pero es posible hoy.

1. That was in fact the choice in our engineering schools a generation ago. The schools needed to be purged of **vocationalism**; and a genuine science of design did not exist even in a rudimentary form as an alternative. Hence the road forward was the road toward introducing more fundamental science. Karl Taylor Compton was one of the prominent leaders in this reform, which was a main theme in his presidential inaugural address at MIT in 1930: "I hope . . . that increasing attention in the Institute may be given to the fundamental sciences; that they may achieve as never before the spirit and results of research; that all courses of instruction may be examined carefully to see where training in details has been unduly emphasized at the expense of the more powerful training in all-embracing fundamental principles." Notice that President Compton's emphasis was on "fundamental," an emphasis as sound today as it was in 1930. What I am urging in this essay is not a departure from the fundamental but an inclusion in the curriculum of the fundamental in engineering along with the fundamental in natural science. That was not possible in 1930; but it is possible today.

Un fenómeno tan universal debe tener una causa básica. Este realmente tiene una muy obvia. Cuando las escuelas profesionales, incluso las escuelas técnicas independientes, son cada vez más absorbidas en la cultura general de la universidad, ansían impetuosamente la respetabilidad académica. En cuanto a las normas predominantes, la respetabilidad académica pide la materia que es intelectualmente resistente, analítica, formalizable, y educable. En el pasado mucho, si no es más, de lo que sabíamos sobre diseño y sobre las ciencias artificiales era intelectualmente débil, intuitivo, informal, e incipiente. ¿Por qué iba alguien en una universidad inclinarse por dar clases o aprender sobre diseño de máquinas o planificación de estrategias de mercado cuándo podría interesarse por la física transistorizada? La respuesta ha estado clara: por lo común no lo desea.

Hoy el problema es extensamente reconocido en ingeniería y medicina, y en menor grado en los negocios. Algunos no lo piensan como un problema, porque consideran a las escuelas de la ciencia aplicada como una alternativa superior a las escuelas comerciales del pasado. Si fuera la opción, podríamos estar de acuerdo.¹ Pero ninguna alternativa es satisfactoria. El viejo tipo de escuela profesional no sabía educar para el diseño profesional a un nivel intelectual apropiado para una universidad; la clase más nueva de la escuela ha abdicado la responsabilidad de la formación en la habilidad profesional principal. Así nos enfrentamos con un problema de idear una escuela profesional que puede alcanzar dos objetivos simultáneamente: educación tanto en ciencias naturales como en artificiales a un nivel intelectual alto. Esto también es un problema de diseño - diseño organizativo.

El grano del problema está en la frase "la ciencia artificial". En mis capítulos anteriores he mostrado que una ciencia de fenómenos artificiales siempre está en el peligro inminente de disolverse y desaparecer. Las propiedades peculiares del artefacto están en la relación débil entre las leyes naturales por dentro y las leyes naturales por fuera. ¿Qué podemos decir sobre ello? ¿Qué hay para estudiar allí además de los límites de las ciencias - aquello que gobierna los medios y el entorno de la tarea?

El mundo artificial está centrado exactamente en esta relación entre los entornos internos y externos; se encarga de lograr objetivos adaptando el primero al segundo. El estudio apropiado de aquello que es perteneciente a lo artificial es el camino por el cual esa adaptación de medios a entornos es llevada a cabo - y central a esto es el proceso de diseño en sí mismo. Las escuelas profesionales reasumirán sus responsabilidades profesionales sólo al grado en que puedan hallar una ciencia de diseño, de un espesor intelectualmente resistente, analítico, en parte formalizable, en parte empírica, doctrina educable sobre el proceso de diseño.

Such a universal phenomenon must have a basic cause. It does have a very obvious one. As professional schools, including the independent engineering schools, are more and more absorbed into the general culture of the university, they hanker after academic respectability. In terms of the prevailing norms, academic respectability calls for subject matter that is intellectually tough, analytic, formalizable, and teachable. In the past much, if not most, of what we knew about design and about the artificial sciences was intellectually soft, intuitive, informal, and cook-booky. Why would anyone in a university stoop to teach or learn about designing machines or planning market strategies when he could concern himself with solid-state physics? The answer has been clear: he usually wouldn't.

The problem is widely recognized in engineering and medicine today and to a lesser extent in business. Some do not think it a problem, because they regard schools of applied science as a superior alternative to the trade schools of the past. If that were the choice, we could agree.¹ But neither alternative is satisfactory. The older kind of professional school did not know how to educate for professional design at an intellectual level appropriate to a university; the newer kind of school has nearly abdicated responsibility for training in the core professional skill. Thus we are faced with a problem of devising a professional school that can attain two objectives simultaneously: education in both artificial and natural science at a high intellectual level. This too is a problem of design - organizational design.

The kernel of the problem lies in the phrase "artificial science." In my previous chapters I have shown that a science of artificial phenomena is always in imminent danger of dissolving and vanishing. The peculiar properties of the artifact lie on the thin interface between the natural laws within it and the natural laws without. What can we say about it? What is there to study besides the boundary sciences - those that govern the means and the task environment?

The artificial world is centered precisely on this interface between the inner and outer environments; it is concerned with attaining goals by adapting the former to the latter. The proper study of those who are concerned with the artificial is the way in which that adaptation of means to environments is brought about - and central to that is the process of design itself. The professional schools will reassume their professional responsibilities just to the degree that they can discover a science of design, a body of intellectually tough, analytic, partly formalizable, partly empirical, teachable doctrine about the design process.

La tesis de este capítulo es que tal ciencia del diseño no sólo es posible, sino que está surgiendo en este momento. Esto ya ha comenzado a ingresar en las escuelas técnicas, en particular por programas en ciencias informáticas e “ingeniería de sistemas”, y en escuelas comerciales mediante las ciencias de administración. Quizás esto también se haya introducido en otros planes de estudios profesionales, pero éstos son con los cuales estoy más familiarizado. Podemos ver ya bastante de su forma para predecir algunos caminos importantes de los cuales las escuelas técnicas se diferenciarán mañana de departamentos de física, y escuelas comerciales de departamentos de economía y psicología. Déjeme ahora virar de las preguntas de organización universitaria a la sustancia del asunto.

LA LÓGICA DE DISEÑO: ALTERNATIVAS FIJAS

Debemos comenzar con algunas preguntas de lógica.² Las ciencias naturales están interesadas en como las cosas son. Los sistemas ordinarios de la lógica -el estándar de proposiciones y cálculos predictivos- sirven bien a estas ciencias. Ya que la preocupación de la lógica estándar es, con preceptos explicativos, bien digna para afirmaciones sobre el mundo e inferencias de estas afirmaciones.

El diseño, por otra parte, está interesado en como las cosas deberían ser, en la ideación de artefactos para alcanzar objetivos. Podríamos poner en duda si las formas de razonamiento que son apropiadas para las ciencias naturales también son convenientes para el diseño. Uno bien podría suponer que la introducción del verbo “debería” podría requerir reglas adicionales de la inferencia, o la modificación de las reglas ya instaladas en la lógica declarativa.

Paradojas de la Lógica Imperativa.

Varias “paradojas” han sido construidas para demostrar la necesidad de una lógica clara de los imperativos, o una normativa, lógica deontica. En la lógica ordinaria de “perros son animales domésticos” y “gatos son animales domésticos,” uno puede deducir entonces que “perros y gatos son animales domésticos”. Pero de “perros son animales domésticos”, “gatos son animales domésticos” y “se debe cuidar a los animales domésticos,” uno puede deducir que “se debe cuidar a gatos y perros?”, y de “¿deme aguja e hilo!” puede uno deducir, por analogía con la lógica declarativa, “¿deme aguja o hilo!”? Fácilmente la gente frustrada a lo mejor no prefiere tener ni la aguja, ni el hilo, que uno sin el otro, y la gente pacífica, ni gatos, ni perros, sino más bien ambos.

Como una respuesta a estos desafíos de la aparente paradoja, han sido desarrolladas varias construcciones de la lógica modal para su trato, “should (*deberían*)”, “shalts (*haría*)”, y “oughts (*debe*)”, de

It is the thesis of this chapter that such a science of design not only is possible but is actually emerging at the present time. It has already begun to penetrate the engineering schools, particularly through programs in computer science and “systems engineering,” and business schools through management science. Perhaps it also has beachheads in other professional curricula, but these are the two with which I am most familiar. We can already see enough of its shape to predict some of the important ways in which engineering schools tomorrow will differ from departments of physics, and business schools from departments of economics and psychology. Let me now turn from questions of university organization to the substance of the matter.

THE LOGIC OF DESIGN: FIXED ALTERNATIVES

We must start with some question of logic.² The natural sciences are concerned with how things are. Ordinary systems of logic -the standard propositional and predicate calculi, say - serve these sciences well. Since the concern of standard logic is with declarative statements, it is well suited for assertions about the world and for inferences from those assertions.

Design, on the other hand, is concerned with how things ought to be, with devising artifacts to attain goals. We might question whether the forms of reasoning that are appropriate to natural science are suitable also for design. One might well suppose that introduction of the verb “should” may require additional rules of inference, or modification of the rules already imbedded in declarative logic.

Paradoxes of Imperative Logic.

Various “paradoxes” have been constructed to demonstrate the need for a distinct logic of imperatives, or a normative, deontic logic. In ordinary logic from “Dogs are pets” and “Cats are pets,” one can infer “Dogs and cats are pets.” But from “Dogs are pets,” “Cats are pets,” and “You should keep pets,” one can infer “You should keep cats and dogs?” And from “Give me needle and thread!” can one deduce, in analogy with declarative logic, “Give me needle or thread!”? Easily frustrated people would perhaps rather have neither needle nor thread than one without the other, and peace-loving people, neither cats nor dogs, rather than both.

As a response to these challenges of apparent paradox, there have been developed a number of constructions of modal logic for handling “should,” “shalts,” and “oughts” of various kinds. I think it

2) He tratado la pregunta del formalismo lógico para el diseño con mayor longitud en dos artículos anteriores: “La Lógica de la Decisión Racional”, *Diario británico*, *Philosophy of Science*, 16 (1965): 169-186; y “La Lógica de Fabricación de Decisión Heurística”, con Nicholas Rescher (editor), *La Lógica de Decisión y Acción* (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1967), pps 1-35. La discusión presente está basada en estos dos periódicos, que han sido reimprimidos como los capítulos 3.1 y 3.2 en mis *Modelos del Descubrimiento* (Dordrecht: D. Reidel Pub. Co., 1977).

2) I have treated the question of logical formalism for design at greater length in two earlier papers: “The Logic of Rational Decision,” *British Journal for the Philosophy of Science*, 16 (1965): 169-186; and “The Logic of Heuristic Decision Making,” in Nicholas Rescher (ed.), *The Logic of Decision and Action* (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1967), pp. 1-35. The present discussion is based on these two papers, which have been reprinted as chapters 3.1 and 3.2 in my *Models of Discovery* (Dordrecht: D. Reidel Pub. Co., 1977).

varios tipos. Pienso que es justo decir que ninguno de estos sistemas ha sido suficientemente desarrollado o aplicado extensamente en demostrar que es adecuado para manejar las exigencias lógicas del proceso de diseño.

Afortunadamente, tal demostración realmente no es fundamental, para ello puede mostrarse que las necesidades del diseño pueden ser encontradas totalmente por una modesta adaptación de la lógica declarativa ordinaria. Así una lógica especial de los imperativos es innecesaria.³

De Reducción a Lógica Declarativa

El modo más fácil de descubrir que clases de lógicas son necesarias para el diseño es examinando que clases de lógicas usan los diseñadores cuando están concentrados en su razonamiento. Ahora, podría no existir ningún punto al hacer esto, si siempre los diseñadores fueran compañeros descuidados que razonan débilmente, vagamente, e intuitivamente. Entonces podríamos decir que toda la lógica que usaron no era la lógica que *deberían* usar.

Sin embargo, existe un área considerable de la práctica de diseño donde los estándares del rigor en la inferencia son tan altos como uno podría desear. Me refiero a el área de los llamados "métodos de optimización", el más avanzado se desarrolló en teoría de decisión estadística y ciencia de dirección, pero adquiriendo importancia creciente también en teoría de diseño técnica. Las teorías de probabilidad y utilidad, y su entrecruzamiento, han recibido atención metódica no sólo de diseñadores prácticos y autoridades sino también de un número considerable de los expertos en lógica más distinguidos y los matemáticos de las generaciones pasadas y presentes. F. P. Ramsey, B. de Finetti, A. Wald, J. von Neumann, J. Neyman, K. Arrow, y Savage L. J. son ejemplares.

La lógica de métodos de optimización puede ser esbozada de la siguiente manera: el "entorno interno" del problema de diseño es representado por un conjunto de determinadas alternativas de acción. Las alternativas pueden ser determinadas con todo detalle: más comúnmente son determinadas en relación con *variables de comando* que tienen propiedades definidas. "El entorno externo" es representado por un conjunto de parámetros, que pueden ser conocidos con certeza o sólo en términos de una dispersa probabilidad. Los objetivos para la adaptación del entorno interno al externo son definidos por una función de utilidad - una función, por lo general escalar, de las variables de comando y parámetros de entorno - quizás complementado por una serie de limitaciones (inecuaciones, supongamos, entre funciones de las variables de comando y parámetros de entorno). El problema de optimización es encontrar un juego admisible de valores de las variables de comando, compatibles con las limi-

is fair to say that none of these systems has been sufficiently developed or sufficiently widely applied to demonstrate that it is adequate to handle the logical requirements of the process of design.

Fortunately, such a demonstration is really not essential, for it can be shown that the requirements of design can be met fully by a modest adaptation of ordinary declarative logic. Thus a special logic of imperatives is unnecessary.³

Reduction to Declarative Logic

The easiest way to discover what kinds of logic are needed for design is to examine what kinds of logic designers use when they are being careful about their reasoning. Now there would be no point in doing this if designers were always sloppy fellows who reasoned loosely, vaguely, and intuitively. Then we might say that whatever logic they used was not the logic they *should* use.

However, there exists a considerable area of design practice where standards of rigor in inference are as high as one could wish. I refer to the domain of so-called "optimization methods," most highly developed in statistical decision theory and management science but acquiring growing importance also in engineering design theory. The theories of probability and utility, and their intersection, have received the painstaking attention not only of practical designers and **decision makers** but also of a considerable number of the most distinguished logicians and mathematicians of the present and recent past generations. F. P. Ramsey, B. de Finetti, A. Wald, J. von Neumann, J. Neyman, K. Arrow, and L. J. Savage are examples.

The logic of optimization methods can be sketched as follows: The "inner environment" of the design problem is represented by a set of given alternatives of action. The alternatives may be given in extenso: more commonly they are specified in terms of *command variables* that have defined domains. The "outer environment" is represented by a set of parameters, which may be known with certainty or only in terms of a probability distribution. The goals for adaptation of inner to outer environment are defined by a utility function - a function, usually scalar, of the command variables and environmental parameters - perhaps supplemented by a number of constraints (inequalities, say, between functions of the command variables and environmental parameters). The optimization problem is to find an admissible set of values of the command variables, compatible with the constraints, that maximize the utility function for the given values of the environmental parameters. (In the probabi-

3) Me gustaría subrayar la palabra "innecesaria". Cuando dije algo así en otro lugar (el segundo artículo mencionado en la nota al pie anterior), una lógica competente, que estaba especializada en lógicas modales, me acusaban que la afirmación de las lógicas modales eran "imposibles." Ahora esto es evidentemente falso: puede demostrarse que las lógicas modales existen de la misma manera en que se puede hacer con las jirafas - es decir, exponiendo algunas de ellas. La pregunta no es si existen, sino para qué son apropiados. Una lógica modal no debería tener ninguna dificultad en diferenciar "innecesidad" de "imposibilidad".

3) I should like to underline the word "unnecessary." When I said something like this in another place (the second paper mentioned in the previous footnote), an able logician, who had specialized in modal logics, accused me of asserting that modal logics were "impossible." Now this is patently false: modal logics can be shown to exist in the same way that giraffes can - namely, by exhibiting some of them. The question is not whether they exist but what they are good for. A modal logician should have no difficulty in distinguishing "non-necessity" from "impossibility."

taciones, que maximizan la función de utilidad para los valores dados de los parámetros de entorno. (En el caso probabilístico podríamos decir, “maximizar el valor previsto de la función de utilidad”, por ejemplo, en vez de “maximizar la función de utilidad”).

Una aplicación de reserva de este paradigma es el llamado “diet problem” mostrado en la figura 6. Una lista de los alimentos es proporcionada, las variables de comando son cantidades de varios alimentos para ser incluidos en la dieta. Los parámetros de entorno son los precios y el contenido nutricional (calorías, vitaminas, minerales, etc.) de cada uno de los alimentos. La función de utilidad es el coste (acompañado con un signo menos) de la dieta, sujeto a las limitaciones, supongamos, que no contiene más de 2000 calorías por día, que cubre las necesidades mínimas específicas de vitaminas y minerales, y que aquel nabo no será comido más que una vez por semana. Las limitaciones pueden ser vistas como características del entorno interior. El problema es seleccionar las cantidades de alimentos que cubran las exigencias nutricionales y las condiciones laterales al dar precios para el coste más bajo.

Ejemplo:
El “diet problem” es un ejemplo simple de una clase de problemas que son fácilmente tratados, aún cuando el número de variables es sumamente

Términos lógicos		The diet problem
Variables de comando	("Medios")	Cantidades de comida
Parámetros fijos	("Leyes")	{ Precios de alimentos Contenidos nutricionales
Limitaciones	("Fines")	
Función de utilidad		{ Requerimientos nutricionales - Coste de la dieta

Las limitaciones definen el entorno interior; los parámetros definen el ambiente externo.

Problema: Considerando las limitaciones y parámetros fijos, encontrar valores de las variables de comando que maximicen la utilidad.

Fig. 6. El paradigma para la lógica imperativa.

grande, por el formalismo matemático conocido como programación lineal. Volveré a esta técnica un poco más tarde. Ahora mi preocupación está en la lógica del asunto.

Ya que el problema de optimización, una vez formalizado, es un problema matemático estándar - para maximizar una función sujeta a limitaciones - es evidente que la lógica usada para deducir la respuesta es la lógica estándar del cálculo de predicado en el cual se basan las matemáticas. ¿Cómo evita el formalismo hacer uso de una lógica especial de imperativos? Lo hace tratando con conjuntos de *mundos posibles*: Primero considera todos los mundos posibles que resuelvan las limitaciones del entorno externo; luego encuentra el mundo particular en el conjunto que reúna las limitaciones restantes del objetivo y maximiza la función de utilidad. La lógica es exactamente igual a que si debiéramos incorporar las limitaciones del objeti-

listic case we might say, “maximize the expected value of the utility function,” for instance, instead of “maximize the utility function.”)

A **stock application** of this paradigm is the so-called “diet problem” shown in figure 6. A list of foods is provided, the **command** variables being quantities of the various foods to be included in the diet. The environmental parameters are the prices and nutritional contents (calories, vitamins, minerals, and so on) of each of the foods. The utility function is the cost (with a minus sign attached) of the diet, subject to the constraints, say, that it not contain more than 2,000 calories per day, that it meet specified minimum needs for vitamins and minerals, and that rutabaga not be eaten more than once a week. The constraints may be viewed as characterizing the inner environment. The problem is to select the quantities of foods that will meet the nutritional requirements and **side conditions** at the given prices for the lowest cost.

Example:
The diet problem is a simple example of a class of problems that are readily handled, even when the number of variables is exceedingly large, by the ma-

Logical Terms		The diet problem
Command variables	("Means")	Quantities of foods
Fixed parameters	("Laws")	{ Prices of foods Nutritional contents
Constraints } Utility function }	("Ends")	{ Nutritional requirements - Cost of diet
Constraints characterize the inner environment; parameters characterize the outer environment. Problem: Given the constraints and fixed parameters, find values of the command variables that maximize utility.		

Fig. 6. The paradigm for imperative logic.

thematical formalism known as linear programming. I shall come back to the technique a little later. My present concern is with the logic of the matter.

Since the optimization problem, once formalized, is a standard mathematical problem - to maximize a function subject to constraints - it is evident that the logic used to deduce the answer is the standard logic of the predicate calculus on which mathematics rests. How does the formalism avoid making use of a special logic of imperatives? It does so by dealing with sets of *possible worlds*: First consider all the possible worlds that meet the constraints of the outer environment; then find the particular world in the set that meets the remaining constraints of the goal and maximizes the utility function. The logic is exactly the same as if we were to adjoin the goal constraints and the maximization requirement, as new “natural laws,” to the existing

vo y las exigencias de maximización, como nuevas “leyes naturales”, a las leyes naturales existentes encarnadas de las condiciones de entorno.⁴ Simplemente preguntamos que valores *deseamos* que tengan las variables de comando en un mundo que reúna todas estas condiciones y se concluiría que éstos son los valores que las variables de comando *deberían* tener.

Calculando lo Óptimo

Nuestra discusión hasta ahora nos ha provisto ya de dos temas centrales para el plan de estudios en la ciencia del diseño:

1. *Teoría de la utilidad y teoría de decisión estadística como un marco lógico para la selección racional entre de alternativas dadas.*
2. *El cuerpo de técnicas para deducir cual de las alternativas disponibles es realmente la óptima.*

4) El uso del concepto de “mundos posibles” para encajar la lógica de los imperativos en la lógica declarativa se respalda, al menos en Jirgen Jurgensen, “Imperativos y Logica”, *Erkenntnis*, 7 (1937-1938): 288-296. También ver mi Comportamiento Administrativo (New York: Macmillan, 1947), capítulo 3. Más recientemente esta misma idea ha sido usada por varios lógicos para construir un puente formal entre el cálculo de predicado y lógica modal por medio del llamado semántico o métodos modelo-teóricos. Ver, por ejemplo, a Richard Montague, “Necesidad Lógica, Necesidad Física, Ética, y Cuantificadores”, *Inquiry*, 4 (1960): 259-269, donde también dan referencias al trabajo de Stig Kanger y Saul Kripke; y Jaakko Hintikka, “Modality and quantification”, *Theoria*, 27 (1961): 119-128. Mientras estas proposiciones modelo-teóricas son básicamente válidas, aún parece que ninguno de ellos ha prestado la atención adecuada al papel especial desempeñado en la teoría cerca de variables de orden y limitaciones de criterio.

4) The use of the notion of “possible worlds” to embed the logic of imperatives in declarative logic goes back at least to Jirgen Jurgensen, “Imperatives and Logic,” *Erkenntnis*, 7 (1937-1938): 288-296. See also my *Administrative Behavior* (New York: Macmillan, 1947), chapter 3. More recently this same idea has been used by several logicians to construct a formal bridge between the predicate calculus and modal logic by means of so-called semantic or model-theoretic methods. See, for example, Richard Montague, “Logical Necessity, Physical Necessity, Ethics, and Quantifiers,” *Inquiry*, 4 (1960): 259-269, where references are also given to work of Stig Kanger and Saul Kripke; and Jaakko Hintikka, “Modality and Quantification,” *Theoria*, 27 (1961): 119-128. While these model-theoretic proposals are basically sound, none of them seems yet to have given adequate attention to the special role played in the theory by command variables and critical constraints.

Sólo en casos triviales el cálculo de la alternativa óptima es un asunto fácil. Si la teoría de utilidad es aplicada a problemas de diseño reales, debe ser acompañado por las herramientas para hacer efectivamente los cálculos. El dilema del jugador de ajedrez racional es familiar a todos. La estrategia óptima en el ajedrez es fácilmente demostrada: simplemente adjudique un valor de +1 a un triunfo, 0 a un empate, -1 a una pérdida; considere todos los rumbos posibles del juego; el minimáximo (*el mínimo entre los máximos*) antes del resultado de cada uno, asumiendo que cada jugador tomará el movimiento más favorable en cualquier punto dado. Este procedimiento determinará que movimiento hacer ahora. El único problema consiste en que los cálculos requeridos son astronómicos (el número 10120 a menudo es mencionado en este contexto) y por ello no puede ser realizado - no por humanos, no por computadoras existentes, no por computadoras anticipativas.

Una teoría de diseño aplicada al juego de ajedrez abarcaría no sólo el principio de minimáximo utópico sino también algunos procedimientos factibles para encontrar movimientos buenos en posiciones de tablero actuales en tiempo real, dentro de las capacidades computacionales de seres humanos reales o computadoras reales. A no ser que excepcionalmente procedimientos buenos de esta clase existan hoy, además de aquellos almacenados en las memorias de grandes maestros, pero hay al menos un programa de computadora que juega al nivel de un experto o un maestro laxo - es decir, mejor que todos menos unos cien jugadores humanos.

El segundo tema entonces para el plan de estudios en la ciencia de diseño consiste en las técnicas computacionales eficientes que están disponibles para encontrar efectivamente cursos de acción óptimos en situaciones reales, o aproximaciones razonables a situaciones reales. Como mencioné en

natural laws embodied in the environmental conditions.⁴ We simply ask what values the command variables *would* have in a world meeting all these conditions and conclude that these are the values the command variables *should* have.

Computing the Optimum

Our discussion thus far has already provided us with two central topics for the curriculum in the science of design:

1. *Utility theory and statistical decision theory as a logical framework for rational choice among given alternatives.*
2. *The body of techniques for actually deducing which of the available alternatives is the optimum.*

Only in trivial cases is the computation of the optimum alternative an easy matter. If utility theory is to have application to real-life design problems, it must be accompanied by tools for actually making the computations. The dilemma of the rational chess player is familiar to all. The optimal strategy in chess is easily demonstrated: simply assign a value of +1 to a win, 0 to a draw, -1 to a loss; consider all possible courses of play; minimax **backward** from the outcome of each, assuming each player will take the most favorable move at any given point. This procedure will determine what move to make now. The only trouble is that the computations required are astronomical (the number 10120 is often mentioned in this context) and hence cannot be carried out - not by humans, not by existing computers, not by prospective computers.

A theory of design as applied to the game of chess would encompass not only the utopian minimax principle but also some practicable procedures for finding good moves in actual board positions in real time, within the computational capacities of real human beings or real computers. No exceptionally good procedures of this kind exist today, other than those stored in the memories of grandmasters, but there is at least one computer program that plays at the level of an expert or a weak master - that is, better than all save a few hundred human players.

The second topic then for the curriculum in the science of design consists in the efficient computational techniques that are available for actually finding optimum courses of action in real situations, or reasonable approximations to real situations. As I mentioned in chapter 2, that topic has a

el capítulo 2, ese asunto tiene hoy un número de componentes importantes, la mayor parte de ellos desarrollados - al menos al nivel de la aplicación práctica - entre los pasados 25 años. Éstos incluyen la teoría de programación lineal, la programación dinámica, la programación geométrica, la teoría de colas, y la teoría de control.

LA LÓGICA DEL DISEÑO; DESCUBRIENDO ALTERNATIVAS

Cuando tomamos el caso donde las alternativas de diseño no son dadas en ningún sentido constructivo, pero deben ser sintetizadas (*construidas*), debemos preguntarnos una vez más si alguna nueva forma de razonamiento está implicada en la síntesis, o si otra vez la lógica estándar de afirmaciones declarativas es todo que necesitamos.

En el caso de la optimización preguntamos: "¿de todos los mundos posibles (aquellos alcanzables por algunos valores admisibles de las variables de acción), cuál es el mejor? (¿produce el valor más alto de la función de criterio?)" Como vemos, esto es una pregunta puramente empírica, requiriendo sólo hechos y declarativa ordinaria razonando para contestarlo.

En este caso, donde buscamos una alternativa satisfactoria, una vez que hemos encontrado una candidata podemos preguntar: "¿satisface esta alternativa todos los criterios de diseño?" Claramente esto es pues una pregunta objetiva y no plantea ninguna nueva cuestión de la lógica. ¿Pero y el proceso de búsqueda de candidatas? ¿Qué tipo de lógica es necesaria para la búsqueda?

Análisis Medios-Fines

El requisito de cualquier sistema de búsqueda de objetivos es estar conectados a el entorno exterior a través de dos clases de canales: el aferente, o el sensorial, canales con el cual reciben información sobre el entorno y el eferente, o el motor, canales a través de el cual actúa en el entorno.⁵ El sistema debe tener algunos medios para almacenar en su memoria información sobre los estados del mundo - información aferente, o sensorial- e información sobre las acciones - información eferente, o motora. La habilidad para lograr metas recae en aumentar las asociaciones, que pueden ser simples o bastante complejas, entre determinados cambios en los estados del mundo y determinadas acciones que (fiablemente o no) causan estos cambios. En el capítulo 4 describimos estas asociaciones como producciones.

A excepción de algunos reflejos incorporados, un niño no tiene ninguna base para asociar su información sensorial con sus acciones. Una parte muy importante de su aprendizaje temprano es que determinadas acciones o secuencias de acciones causan determinados cambios en el estado del mundo

number of important components today, most of them developed - at least to the level of practical application - within the past 25 years. These include linear programming theory, dynamic programming, geometric programming, queuing theory, and control theory.

THE LOGIC OF DESIGN; FINDING ALTERNATIVES

When we take up the case where the design alternatives are not given in any constructive sense but must be synthesized, we must ask once more whether any new forms of reasoning are involved in the synthesis, or whether again the standard logic of declarative statements is all we need.

In the case of optimization we asked: "Of all possible worlds (those attainable for some admissible values of the action variables), which is the best (yields the highest value of the criterion function)?" As we saw, this is a purely empirical question, calling only for facts and ordinary declarative reasoning to answer it.

In this case, where we are seeking a satisfactory alternative, once we have found a candidate we can ask: "Does this alternative satisfy all the design criteria?" Clearly this is also a factual question and raises no new issues of logic. But how about the process of searching for candidates? What kind of logic is needed for the search?

Means-Ends Analysis

The condition of any goal-seeking system is that it is connected to the outside environment through two kinds of channels: the afferent, or sensory, channels through which it receives information about the environment and the efferent, or motor, channels through which it acts on the environment.⁵ The system must have some means of storing in its memory information about states of the world - afferent, or sensory, information - and information about actions - efferent, or motor, information. Ability to attain goals depends on building up associations, which may be simple or very complex, between particular changes in states of the world and particular actions that will (reliably or not) bring these changes about. In chapter 4 we described these associations as productions.

Except for a few built-in reflexes, an infant has no basis for correlating his sensory information with his actions. A very important part of his early learning is that particular actions or sequences of actions will bring about particular changes in the state of the world as he senses it. Until he builds up

tal como el lo percibe. Hasta que él fortalezca este conocimiento, el mundo sensorial y el mundo motor serán dos mundos completamente separados, completamente sin relación. Sólo cuando comienza a adquirir experiencia en cuanto a como los elementos de uno están relacionados con elementos del otro puede actuar resueltamente sobre el mundo.

El programa de resolución de problemas de ordenador llamado GPS, diseñado para modelar algunas de las características principales de la solución de problemas humana, expone en forma estricta como la acción de objetivo controlado depende de construir esta clase de puente entre los mundos aferentes y eferentes. En el lado aferente, o sensorial, el GPS debe ser capaz de representar situaciones deseadas u objetos deseados así como también la situación actual. También debe ser capaz de representar diferencias entre lo deseado y el presente. En el lado eferente, el GPS debe ser capaz de representar acciones que cambian objetos o situaciones.

Para comportarse resueltamente, el GPS debe ser capaz de seleccionar de vez en cuando aquellas determinadas acciones que probablemente quitaran determinadas diferencias entre lo deseado y los estados actuales que el sistema detecta. En la mecánica del GPS, esta selección se logra a través de una tabla de conexiones, la cual asocia a cada tipo de diferencia detectable aquellas acciones que son relevantes para reducir esa diferencia. Éstas son sus asociaciones, en la forma de producción, que relacionan el mundo aferente con el eferente. Puesto que alcanzar un objetivo requiere generalmente una secuencia de acciones, y ya que algunos intentos pueden ser ineficaces, el GPS también debe tener medios para detectar el progreso que está haciendo (los cambios en las diferencias entre lo actual y el deseado) y para intentar caminos alternos.

Ahora los mundos reales a los cuales los solucionadores de problemas y los diseñadores se dirigen son rara vez completamente aditivos en este sentido. Las acciones tienen consecuencias laterales (pueden crear nuevas diferencias) y a veces sólo pueden ser tomadas cuando ciertas condiciones laterales están satisfechas (requiere del retiro de otras diferencias antes de llegar a ser aplicables). Bajo estas circunstancias uno nunca puede estar seguro que una secuencia parcial de acciones que logra objetivos *certeros* puede ser maximizada para proporcionar una solución que satisfaga *todas* las condiciones y logre *todos* los objetivos (aunque sean objetivos satisficentes*) del problema.

Nuestra discusión del diseño cuando las alternativas no son provistas ha generado al menos tres temas adicionales para la enseñanza en la ciencia del diseño:

3. *Adaptación de la lógica estándar a la búsqueda de alternativas.* Las soluciones de diseño son secuencias de acciones que conducen a mundos posibles

this knowledge, the world of sense and the motor world are two entirely separate, entirely unrelated worlds. Only as he begins to acquire experience as to how elements of the one relate to elements of the other can he act purposefully on the world.

The computer problem-solving program called GPS, designed to model some of the main features of human problem solving, exhibits in stark form how **goal-directed** action depends on building this kind of bridge between the afferent and the efferent worlds. On the afferent, or sensory, side, GPS must be able to represent desired situations or desired objects as well as the present situation. It must be able also to represent differences between the desired and the present. On the efferent side, GPS must be able to represent actions that change objects or situations.

To behave purposefully, GPS must be able to select from time to time those particular actions that are likely to remove the particular differences between desired and present states that the system detects. In the machinery of GPS, this selection is achieved through a table of connections, which associates with each kind of detectable difference those actions that are relevant to reducing that difference. These are its associations, in the form of productions, which relate the afferent to the efferent world. Since reaching a goal generally requires a sequence of actions, and since some attempts may be ineffective, GPS must also have means for detecting the progress it is making (the changes in the differences between the actual and the desired) and for trying alternate paths.

Now the real worlds to which problem solvers and designers address themselves are seldom completely additive in this sense. Actions have side consequences (may create new differences) and sometimes can only be taken when certain side conditions are satisfied (call for removal of other differences before they become applicable). Under these circumstances one can never be certain that a partial sequence of actions that accomplishes certain goals can be augmented to provide a solution that satisfied all the conditions and attains all the goals (even though they be satisficing* goals) of the problem.

Our discussion of design when the alternatives are not given has yielded at least three additional topics for instruction in the science of design:

3. *Adaptation of standard logic to the search for alternatives.* Design solutions are sequences of actions that lead to possible worlds satisfying

* El principio de "satisficing" desarrollado por Simon (1957) compromete al tomador de decisiones a no escoger la solución óptima, sino a arbitrar entre los diferentes sub-objetivos intermedios y escoger la solución que resulte ser la más satisfactoria teniendo en cuenta todos los imperativos.

que satisfacen limitaciones específicas. Con objetivos "satisfacientes" los mundos posibles buscados son rara vez únicos; la búsqueda es de acciones *suficientes*, no *necesarias*, para alcanzar objetivos.

4. *La explotación en paralelo, o casi paralela, factorización de diferencias.* El análisis de medios-fines es un ejemplo de una técnica de resolución de problemas ampliamente aplicable que explota esta factorización.

5. *La asignación de recursos para buscar la alternativa, secuencias de acción parcialmente exploradas.* Me gustaría explicar algo sobre este último tema.

specified constraints. With satisficing goals the sought-for possible worlds are seldom unique; the search is for *sufficient*, not *necessary*, actions for attaining goals.

4. *The exploitation of parallel, or near-parallel, factorizations of differences.* Means-ends analysis is an example of a broadly applicable problem-solving technique that exploits this factorization.

5. *The allocation of resources for search to alternative, partly explored action sequences.* I should like to elaborate somewhat on this last-mentioned topic.

DISEÑO COMO DISTRIBUCIÓN DE RECURSOS

Hay dos maneras bajo las cuales los procesos de diseño están interesados con la distribución de recursos. En primer lugar, la conservación de recursos escasos puede ser uno de los criterios para un diseño satisfactorio. En segundo lugar, el proceso de diseño en sí mismo implica la gestión de los recursos del diseñador, de modo que sus esfuerzos no sean disipados innecesariamente en las líneas siguientes de la investigación que resulten infructuosas.

No hay nada especial que necesite ser dicho aquí sobre la conservación de recursos - minimización de coste, por ejemplo, como un criterio de diseño. La minimización de coste siempre ha sido una consideración implícita en el diseño de estructuras de ingeniería, pero hasta hace unos años generalmente sólo era implícito, más que explícito. Cada vez más los cálculos de coste se han traído explícitamente en el procedimiento de diseño, y hoy un argumento convincente pueden ser dado para la enseñanza de ingenieros de diseño en ese cuerpo de técnica y teoría que los economistas conocen como "análisis de costo-beneficio."

DESIGN AS RESOURCE ALLOCATION

There are two ways in which design processes are concerned with the allocation of resources. First, conservation of scarce resources may be one of the criteria for a satisfactory design. Second, the design process itself involves management of the resources of the designer, so that his efforts will not be dissipated unnecessarily in following lines of inquiry that prove fruitless.

There is nothing special that needs to be said here about resource conservation - cost minimization, for example, as a design criterion. Cost minimization has always been an implicit consideration in the design of engineering structures, but until a few years ago it generally was only implicit, rather than explicit. More and more cost calculations have been brought explicitly into the design procedure, and a strong case can be made today for training design engineers in that body of technique and theory that economists know as "cost-benefit analysis."

LA FORMA DEL DISEÑO: JERARQUÍA

En mi primer capítulo di algunas razones por las que los sistemas complejos pueden ser previstos para construirse en una jerarquía de niveles, o en forma de cajas dentro de cajas. La idea básica es que los distintos componentes en cualquier sistema complejo realizarán subfunciones particulares que contribuyen a la función total. Tal como el "entorno interior" del sistema entero puede ser definido describiendo sus funciones, sin la especificación detallada de sus mecanismos, así también el "ambiente interior" de cada uno de los subsistemas puede ser definido describiendo las funciones de ese subsistema, sin la especificación detallada de su submecanismo.⁶

THE SHAPE OF DESIGN: HIERARCHY

In my first chapter I gave some reasons why complex systems might be expected to be constructed in a hierarchy of levels, or in a boxes-within-boxes form. The basic idea is that the several components in any complex system will perform particular subfunctions that contribute to the over-all function. Just as the "inner environment" of the whole system may be defined by describing its functions, without detailed specification of its mechanisms, so the "inner environment" of each of the subsystems may be defined by describing the functions of that subsystem, without detailed specification of its submechanisms.⁶

6) He desarrollado este argumento con más detalles en mi ensayo "La Arquitectura de Complejidad", capítulo 7.

6) I have developed this argument at greater length in my essay "The Architecture of Complexity", chapter 7.

Para diseñar una estructura tan compleja, una técnica muy eficaz es descubrir maneras viables de descomponerlo en componentes semi-autónomos que corresponden a sus varias piezas funcionales. El diseño de cada componente puede ser realizado entonces con cierto grado de independencia del diseño de los otros, ya que cada uno afectará a los demás en gran parte por su función e independientemente de los detalles de los mecanismos que llevan a cabo la función.⁷

No hay razón para esperar que la descomposición del diseño completo en componentes funcionales será único. En instancias importantes pueden existir alternativas de descomposiciones factibles de indoles radicalmente diferentes. Esta posibilidad es muy conocida por diseñadores de organizaciones administrativas, donde el trabajo se puede dividir por sub-funciones, sub-procesos, sub-áreas, y de otros modos. Gran parte de la teoría de organización clásica de hecho estaba interesada precisamente con esta cuestión de descomposiciones alternativas de un conjunto de tareas interrelacionadas.

EL CICLO GENERADOR-PRUEBA

Una forma de considerar la descomposición, pero reconociendo que las interrelaciones entre los componentes no pueden ser ignoradas completamente, es pensar en el proceso de diseño como participativo, primero, la generación de alternativas y, después, la prueba de estas alternativas con una completa serie de requerimientos y limitaciones. No necesita ser meramente un simple ciclo de generar-probar, sino que puede ser un todo subdividido en series de tales ciclos. Los generadores implícitamente definen la descomposición del problema de diseño, y las pruebas garantizan que consecuencias indirectas importantes serán advertidas y evaluadas. Las descomposiciones alternativas corresponden a las diferentes maneras de dividir las responsabilidades del diseño final entre generadores y pruebas.

Para tomar un ejemplo enormemente simplista, una serie de generadores pueden generar uno o más bocetos posibles y esquemas de ventanas para un edificio, mientras que las pruebas se pueden aplicar para determinar si las necesidades de los diferentes tipos de cuartos se pueden cubrir dentro de los esquemas generados. Otra posibilidad es utilizar los generadores para desarrollar la estructura de los cuartos, mientras que las pruebas se aplican para considerar si son coherentes con una forma y un diseño integral aceptables. La casa se puede diseñar a partir del exterior hacia dentro o desde dentro hacia fuera.⁸

Igualmente las alternativas están abiertas, en la organización del proceso de diseño, en cuanto a que tan lejos se llevará el desarrollo de posibles subsistemas antes de que el diseño integro de

To design such a complex structure, one powerful technique is to discover viable ways of decomposing it into semi-independent components corresponding to its many functional parts. The design of each component can then be carried out with some degree of independence of the design of others, since each will affect the others largely through its function and independently of the details of the mechanisms that accomplish the function.⁷

There is no reason to expect that the decomposition of the complete design into functional components will be unique. In important instances there may exist alternative feasible decompositions of radically different kinds. This possibility is well known to designers of administrative organizations, where work can be divided up by subfunctions, by subprocesses, by subareas, and in other ways. Much of classical organization theory in fact was concerned precisely with this issue of alternative decompositions of a collection of interrelated tasks.

THE GENERATOR-TEST CYCLE

One way of considering the decomposition, but acknowledging that the interrelations among the components cannot be ignored completely, is to think of the design process as involving, first, the generation of alternatives and, then, the testing of these alternatives against a whole array of requirements and constraints. There need not be merely a single generate-test cycle, but there can be a whole nested series of such cycles. The generators implicitly define the decomposition of the design problem, and the tests guarantee that important indirect consequences will be noticed and weighed. Alternative decompositions correspond to different ways of dividing the responsibilities for the final design between generators and tests.

To take a greatly oversimplified example, a series of generators may generate one or more possible outlines and schemes of fenestration for a building, while tests may be applied to determine whether needs for particular kinds of rooms can be met within the outlines generated. Alternatively the generators may be used to evolve the structure of rooms, while tests are applied to see whether they are consistent with an acceptable over-all shape and design. The house can be designed from the outside in or from the inside out.⁸

Alternatives are also open, in organizing the design process, as to how far development of possible subsystems will be carried before the over-all coordinating design is developed in detail, or

7) Este acercamiento al diseño de estructuras complejas ha sido explorado por Christopher Alexander en *Notes on the Synthesis of Form* (Cambridge: Harvard University Press, 1967). Él también ha presentado en su libro algunos procedimientos automatizados para encontrar descomposiciones plausibles una vez que la matriz de interconexiones de las funciones de componentes ha sido especificada.

7) This approach to the design of complex structures has been explored by Christopher Alexander in *Notes on the Synthesis of Form* (Cambridge: Harvard University Press, 1967). He has also presented in his book some automated procedures for finding plausible decompositions once the matrix of interconnections of component functions has been specified.

8) Estoy endeudado con Juan Grason en muchas ideas en el tema de esta sección. J. Grason, "Descripción Fundamental de un Programa de Diseño de Planos", EDRAI, Actas de la primera conferencia de la asociación de diseño de entorno, H. Sanoff y S. Cohn (editores), North Carolina State University, 1970.

8) I am indebted to John Grason for many ideas on the topic of this section. J. Grason, "Fundamental Description of a Floor Plan Design Program," EDRAI, Proceedings of the First Environmental Design Association Conference, H. Sanoff and S. Cohn (eds.), North Carolina State University, 1970.

coordinación sea desarrollado detalladamente, o viceversa, hasta dónde el diseño integro debe ser llevado antes que los distintos componentes, o posibles componentes. Estas alternativas de diseño son familiares a los arquitectos. Son familiares también a los compositores, que deben decidir hasta dónde la arquitectónica de una estructura musical se desarrollará ante algún componente del tema musical y otros elementos hayan sido inventados. Los programadores de ordenador afrontan las mismas opciones, entre el trabajo hacia abajo de las rutinas ejecutivas a las subrutinas o hacia arriba de componentes subrutinarios a un ejecutivo de coordinación. Una teoría de diseño incluirá principios - la mayor parte de los cuales aún no existen - para decidir tales cuestiones de anticipación y secuencia en el proceso de diseño.

PROCESO COMO DETERMINANTE DEL ESTILO

Cuando recordamos que el proceso generalmente se interesará por encontrar un diseño satisfactorio, preferiblemente un diseño óptimo, veremos que la secuencia y la división de trabajo entre los generadores y las pruebas pueden afectar no sólo a la eficacia con la que los recursos para diseñar son utilizados sino también la naturaleza del diseño final. Lo que vulgarmente llamamos "estilo" puede provenir tanto de estas decisiones sobre el proceso de diseño como de distintos énfasis en los objetivos a ser realizados por el diseño final. Un arquitecto que diseña edificios desde el exterior hacia dentro llegará a edificios absolutamente diversos del uno que diseña de adentro hacia afuera, aunque ambos podrían estar de acuerdo con las características que un edificio satisfactorio debería tener.

Cuando llegamos al diseño de sistemas tan complejos como los de ciudades, o edificios, o de economía, debemos abandonar el propósito de crear sistemas que optimicen una hipotética función de utilidad, y debemos considerar si las diferencias en el estilo de la clase que acabo de describir no solo representan variantes altamente deseables en el proceso de diseño mas que alternativas para ser evaluadas como "mejores" o "peores." La variedad, dentro del ámbito de limitaciones satisfactorias, puede ser un fin deseable en sí mismo, entre otras razones, porque nos permite atribuir valor a la búsqueda así como a su resultado - para considerar al proceso de diseño como una actividad valorada en sí misma por aquellos que participan en ella.

Comúnmente pensamos al urbanismo como un medio por el cual la actividad creativa del planificador podría construir un sistema que satisfaría las necesidades de un pueblo. Quizás debemos pensar en el urbanismo como actividad creativa valiosa en la cual muchos miembros de una comunidad puedan tener la oportunidad de participar - si tenemos ingenio para organizar el proceso de esa manera. Tendré más para decir de estos temas en el capítulo siguiente.

vice-versa, how far the over-all design should be carried before various components, or possible components, are developed. These alternatives of design are familiar to architects. They are familiar also to composers, who must decide how far the architectonics of a musical structure will be evolved before some of the component musical themes and other elements have been invented. Computer programmers face the same choices, between working downward from executive routines to subroutines or upward from component subroutines to a coordinating executive. A theory of design will include principles - most of which do not yet exist - for deciding such questions of precedence and sequence in the design process.

PROCESS AS A DETERMINANT OF STYLE

When we recall that the process will generally be concerned with finding a satisfactory design, rather than an optimum design, we see that sequence and the division of labor between generators and tests can affect not only the efficiency with which resources for designing are used but also the nature of the final design as well. What we ordinarily call "style" may stem just as much from these decisions about the design process as from alternative emphases on the goals to be realized through the final design. An architect who designs buildings from the outside in will arrive at quite different buildings from one who designs from the inside out, even though both of them might agree on the characteristics that a satisfactory building should possess.

When we come to the design of systems as complex as cities, or buildings, or economies, we must give up the aim of creating systems that will optimize some hypothesized utility function, and we must consider whether differences in style of the sort I have just been describing do not represent highly desirable variants in the design process rather than alternatives to be evaluated as "better" or "worse." Variety, within the limits of satisfactory constraints, may be a desirable end in itself, among other reasons, because it permits us to attach value to the search as well as its outcome - to regard the design process as itself a valued activity for those who participate in it.

We have usually thought of city planning as a means whereby the planner's creative activity could build a system that would satisfy the needs of a populace. Perhaps we should think of city planning as a valuable creative activity in which many members of a community can have the opportunity of participating - if we have wits to organize the process that way. I shall have more to say on these topics in the next chapter.

Sin embargo eso puede ser, espero que haya ilustrado suficientemente que tanto la forma del diseño y la forma y la organización del proceso de diseño son componentes esenciales de una teoría del diseño. Estos asuntos constituyen el sexto artículo en mi plan de estudios propuesto en diseño:

6. *La organización de estructuras complejas y su implicancia para la organización de procesos de diseño.*

REPRESENTACIÓN DEL DISEÑO

De ninguna manera he examinado todas las facetas de la ciencia emergente del diseño. Particularmente he dicho poco sobre la influencia de la representación del problema en diseño. Aunque la importancia de la cuestión sea hoy reconocida, tenemos poco conocimiento sistemático sobre ello. Citaré un ejemplo, para aclarar lo que quiero decir con "representación".

Aquí están las reglas de un juego, que llamaré el número garabateado. Se juega de a dos personas con nueve cartas - decimos el as por el nueve de corazones. Las cartas se colocan en una fila, cara arriba, entre los dos jugadores. Los jugadores levantan alternadamente, uno a la vez, seleccionando alguna de las cartas que permanecen en el centro. El objetivo del juego para el jugador es componer un "libro", es decir, un conjunto de exactamente tres cartas cuyos puntos sumen 15, antes de que su oponente pueda hacerlo. El primer jugador que hace un libro gana; si las nueve naipes han sido levantadas sin que ningún jugador haga un libro, el juego es un empate.

¿Cuál sería una buena estrategia en este juego? ¿Cómo usted podría encontrar una? Si el lector no lo ha descubierto aún por su cuenta, déjeme demostrar cómo un cambio en la representación hará fácil jugar bien al juego. El cuadrado mágico aquí, que introduje en el tercer capítulo, se compone de los números del 1 al 9.

4	9	2
3	5	7
8	1	6

Cada fila, columna, o diagonal suman 15, y cada tres de estos números que sumen 15 es una fila, una columna, o una diagonal del cuadrado mágico. De esto, es obvio que "la confección de un libro" en el número garabateado es equivalente a conseguir "tres en fila" del juego ta-te-ti. Pero la mayoría de la gente sabe jugar bien al ta-te-ti, por lo tanto puede simplemente transferir su estrategia habitual al número garabateado.⁹

However that may be, I hope I have illustrated sufficiently that both the shape of the design and the shape and organization of the design process are essential components of a theory of design. These topics constitute the sixth item in my proposed curriculum in design:

6. *The organization of complex structures and its implication for the organization of design processes.*

REPRESENTATION OF THE DESIGN

I have by no means surveyed all facets of the emerging science of design. In particular I have said little about the influence of problem representation on design. Although the importance of the question is recognized today, we have little systematic knowledge about it. I shall cite one example, to make clear what I mean by "representation."

Here are the rules of a game, which I shall call number scrabble. The game is played by two people with nine cards - let us say the ace through the nine of hearts. The cards are placed in a row, face up, between the two players. The players draw alternately, one at a time, selecting any one of the cards that remain in the center. The aim of the game is for a player to make up a "book", that is, a set of exactly three cards whose spots add to 15, before his opponent can do so. The first player who makes a book wins; if all nine cards have been drawn without either player making a book, the game is a draw.

What is a good strategy in this game? How would you go about finding one? If the reader has not already discovered it for himself, let me show how a change in representation will make it easy to play the game well. The magic square here, which I introduced in the third chapter, is made up of the numerals from 1 through 9.

4	9	2
3	5	7
8	1	6

Each row, column, or diagonal adds to 15, and every triple of these numerals that add to 15 is a row, column, or diagonal of the magic square. From this, it is obvious that "making a book" in number scrabble is equivalent to getting "three in a row" in a game of tic-tac-toe. But most people know how to play tic-tac-toe well, hence can simply transfer their usual strategy to number scrabble.⁹

9) El número garabateado no es el único isomorfo del ta-te-ti. John A. Michon ha descrito otro, el JAM, que es el doble del ta-te-ti en el sentido de la geometría descriptiva. Es decir, las filas, las columnas, y las diagonales del ta-te-ti se convierten en puntos en el JAM, y los cuadrados del anterior se convierten en segmentos de línea que unen los puntos. El juego es ganado "bloqueando" todos los segmentos a través de un punto - un movimiento consiste en el agarrar o bloquear un solo segmento. Otros isomorfos del ta-te-ti son conocidos también.

9) Number scrabble is not the only isomorph of tic-tac-toe. John A. Michon has described another, JAM, which is the dual of tic-tac-toe in the sense of projective geometry. That is, the rows, columns, and diagonals of tic-tac-toe become points in JAM, and the squares of the former become line segments joining the points. The game is won by "jamming" all the segments through a point - a move consists of seizing or jamming a single segment. Other isomorphs of tic-tac-toe are known as well.

PROBLEM SOLVING COMO CAMBIO EN LA REPRESENTACIÓN

Que la representación hace una diferencia es un punto largo y familiar. Todos creemos que la aritmética se ha vuelto más sencilla desde los números árabes y poner anotaciones ha sido reemplazado por números romanos, aunque yo no sepa de ningún tratamiento teórico que explique el por qué.¹⁰ Que la representación hace una diferencia es evidente por una razón distinta. Todas las matemáticas exponen en sus conclusiones sólo lo que ya está implícito en sus premisas, como mencioné en un capítulo anterior. Por ello toda la derivación matemática puede ser vista simplemente como el cambio en la representación, haciendo evidente lo que previamente era verdad, pero oscuro.

Esta visión puede ser extendida a toda resolución de problemas - resolviendo un problema simplemente representándolo para hacer la solución transparente.¹¹ Si la solución de problemas realmente pudiera ser organizada en estos términos, la cuestión de la representación en efecto sería central. Pero incluso si esto no logra - si es muy amplio para visualizar - una comprensión más profunda de cómo se crean las representaciones y de cómo contribuyen a la solución de problemas sería un componente esencial en la futura teoría de diseño.

LA REPRESENTACIÓN ESPACIAL

Puesto que la mayor parte del diseño, particularmente el arquitectónico y el de ingeniería, se interesan por objetos o dispositivos en verdaderos espacios bidimensionales o tridimensionales euclidianos, la representación del espacio y de cosas en el espacio será necesariamente un asunto central en una ciencia de diseño. De nuestra discusión anterior de la percepción visual, debe estar claro que el "espacio" dentro de la cabeza del diseñador y en la memoria de una computadora pueden tener características muy diversas de una imagen en un papel o un modelo tridimensional.

Estas cuestiones representacionales ya han cautivado la atención de aquellos interesados en el diseño asistido por computadora - la cooperación de humano y computadora en el proceso de diseño. Solo como ejemplo, puedo mencionar el programa SKETCHPAD (*BLOC DE DIBUJO*) de Ivan Sutherland, que permite formas geométricas en relación a limitaciones, a las cuales pues se ajustan.¹²

Las consideraciones geométricas además son notables en las tentativas de automatizar totalmente el diseño, por ejemplo, de circuitos de impresión o grabados, o de edificios. Grason, por ejemplo, en un sistema para diseñar planos de casas, construye una representación interna del layout (*diagramación*) que ayuda a uno a decidir un sistema propuesto de conexiones entre cuartos, selecciona para encontrar criterios de diseño para la comunicación, y así sucesivamente, se puede materializar en un plano.¹³

PROBLEM SOLVING AS CHANGE IN REPRESENTATION

That representation makes a difference is a long-familiar point. We all believe that arithmetic has become easier since Arabic numerals and **place notation replaced** Roman numerals, although I know of no theoretic treatment that explains why.¹⁰ That representation makes a difference is evident for a different reason. All mathematics exhibits in its conclusions only what is already implicit in its premises, as I mentioned in a previous chapter. Hence all mathematical derivation can be viewed simply as change in representation, making evident what was previously true but obscure.

This view can be extended to all of problem solving - solving a problem simply means representing it so as to make the solution transparent.¹¹ If the problem solving could actually be organized in these terms, the issue of representation would indeed become central. But even if it cannot - if this is too exaggerated a view - a deeper understanding of how representations are created and how they contribute to the solution of problems will become an essential component in the future theory of design.

SPATIAL REPRESENTATION

Since much of design, particularly architectural and engineering design, is concerned with objects or arrangements in real Euclidean two-dimensional or three-dimensional space, the representation of space and of things in space will necessarily be a central topic in a science of design. From our previous discussion of visual perception, it should be clear that "space" inside the head of the designer of the memory of a computer may have very different properties from a picture on a paper or a three-dimensional model.

These representational issues have already attracted the attention of those concerned with computer-aided design - the cooperation of human and computer in the design process. As a single example, I may mention Ivan Sutherland's SKETCHPAD program, which allows geometric shapes in terms of constraints, to which they then conform.¹²

Geometric considerations are also prominent in the attempts to automate completely the design, say, of printed or etched circuits, or of buildings. Grason, for example, in a system for designing house floor plans, constructs an internal representation of the layout that helps one decide whether a proposed set of connections among rooms, selected to meet design criteria for communication, and so on, can be realized in a plane.¹³

10) Mi colega, Allen Newell, ha estado investigando esta cuestión. No intentaré anticipar su respuesta.

10) My colleague, Allen Newell, has been investigating this question. I shall not try to anticipate his answer.

11) Saul Amarel, "En la Mecanización de procesos creativos", IEEE Spectrum 3 (el abril de 1966): 112-114.

11) Saul Amarel, "On the Mechanization of Creative Processes, IEEE Spectrum 3 (April 1966): 112-114.

12) I. E. Sutherland, "SKETCHPAD, Un Sistema de Comunicación Gráfico Hombre-Maquina" Actas AFIPS Spring Joint Computer Conference, 1963 (Baltimore: Spartan Books), pag. 329-346.

12) I. E. Sutherland, "SKETCH-PAD, A Man-Machine Graphical Communication System", Proceedings, AFIPS Spring Joint Computer Conference, 1963 (Baltimore: Spartan Books), pp. 329-346.

13) Véase también C.E. Pfefferkorn, "El solucionador de Problemas de Diseño: Un Sistema para Diseñar Diagramaciones de Dispositivos o Muebles", en C.M. Eastman (ed.), "Síntesis Espacial en Diseño Automatizado de Edificios" (Londres: Applied Science Publishers, 1975).

13) See also C. E. Pfefferkorn, "The Design Problem Solver: A System for Designing Equipment or Furniture Layouts," in C. M. Eastman (ed.), Spatial Synthesis in Computer-Aided Building Design (London: Applied Science Publishers, 1975).

LA TAXONOMÍA DE LA REPRESENTACIÓN

Un viejo recurso para el entendimiento de cualquier sistema de fenómenos es aprender que clases de cosas están en el sistema - para desarrollar una taxonomía. Esta medida no se ha tomado aún con respecto a las representaciones. Solo tenemos un conocimiento esbozado e incompleto de los diferentes caminos en los que los problemas pueden ser representados y mucho menos conocimiento de la significación de las diferencias.

En una veta completamente pragmática sabemos que los problemas se pueden describir verbalmente, en lenguaje natural. Pueden ser descritos a menudo matemáticamente, usando formalismos estándares de álgebra, geometría, teoría de conjuntos, análisis, o topología. Si los problemas están relacionados con objetos físicos, ellos (o sus soluciones) pueden ser representados mediante planos, dibujos técnicos, renderings, o modelos tridimensionales. Los problemas que tienen que ver con acciones se pueden acometer con organigramas y programas.

Muy probablemente otros ítems necesitarán ser agregados a la lista, y allí pueden existir maneras más fundamentales y significativas de clasificar sus miembros. Pero aunque nuestra clasificación esté incompleta, y quizás superficial, podemos comenzar a construir una teoría de las propiedades de estas representaciones. Un número de temas en las crecientes teorías de máquinas y de lenguajes de programación pueden darnos una cierta noción de las direcciones que una teoría de representaciones - al menos en su lado más formal - puede tomar.¹⁴ Estos asuntos pueden también proveer, al comienzo, un poco de la sustancia para la tema final en nuestro programa sobre la teoría de diseño:

7. Representaciones alternativas para problemas de diseño.

RESUMEN - ASUNTOS EN LA TEORÍA DEL DISEÑO

Mi objetivo principal en este capítulo ha sido demostrar que hoy existe ya un número de componentes de una teoría del diseño y una base de conocimientos sustancial, teórico y empírico, afín a cada uno. Como preparamos nuestro plan de estudios en diseño - en la ciencia de lo artificial - para tomar su lugar al lado de las ciencias naturales en el íntegro plan de estudios de ingeniería, abarcará por lo menos los siguientes asuntos:

La Evaluación de Diseños

1. Teoría de evaluación: teoría de utilidad, teoría de decisión estadística.
2. Métodos computacionales:
 - a. Algoritmos para elegir alternativas óptimas, tal como cálculos de programación lineales, teoría de control, programación dinámica.

THE TAXONOMY OF REPRESENTATION

An early step toward understanding any set of phenomena is to learn what kinds of things there are in the set - to develop a taxonomy. This step has not yet been taken with respect to representations. We have only a sketchy and incomplete knowledge of the different ways in which problems can be represented and much less knowledge of the significance of the differences.

In a completely pragmatic vein we know that problems can be described verbally, in natural language. They often can be described mathematically, using standard formalisms of algebra, geometry, set theory, analysis, or topology. If the problems relate to physical objects, they (or their solutions) can be represented by floor plans, engineering drawings, renderings, or three-dimensional models. Problems that have to do with actions can be attacked with flow charts and programs.

Other items most likely will need to be added to the list, and there may exist more fundamental and significant ways of classifying its members. But even though our classification is incomplete, and perhaps superficial, we can begin to build a theory of the properties of these representations. A number of topics in the growing theories of machines and of programming languages may give us some notion of the directions that a theory of representations - at least on its more formal side - may take.¹⁴ These topics can also provide, at the beginning, some of the substance for the final subject in our program on the theory of design:

7. Alternative representations for design problems.

SUMMARY - TOPICS IN THE THEORY OF DESIGN

My main goal in this chapter has been to show that there already exist today a number of components of a theory of design and a substantial body of knowledge, theoretical and empirical, relating to each. As we draw up our curriculum in design - in the science of the artificial - to take its place by the side of natural science in the whole engineering curriculum, it includes at least the following topics:

The Evaluation of Designs

1. Theory of evaluation: utility theory, statistical decision theory
2. Computational methods:
 - a. Algorithms for choosing optimal alternatives such as linear programming computations, control theory, dynamic programming

14) A modo de ejemplo, vea a Marvin L. Minsky, "Computación: Máquinas finitas e infinitas" (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1967), y Kenneth E. Iverson, "Un Lenguaje de Programación" (Nueva York: Wiley, 1962).

14) By way of example, see Marvin L. Minsky, *Computation: Finite and Infinite Machines* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1967), and Kenneth E. Iverson, *A Programming Language* (New York: Wiley, 1962).

- b. Algoritmos y heurística para elegir alternativas *satisfactorias*.
- 3. **La Lógica Formal de Diseño:** lógicas imperativas y declarativas.

La Búsqueda de Alternativas

- 4. Búsqueda heurística: factorización y análisis de medios-fines.
- 5. Asignación de recursos para la búsqueda.
- 6. **Teoría de Organización de Estructura y Diseño:** sistemas jerárquicos.
- 7. **Representación de Problemas de Diseño**

En pequeños segmentos del plan de estudios - la teoría de evaluación, por ejemplo, y la lógica formal de diseño - ya es posible organizar la enseñanza dentro del marco de una teoría sistemática, formal. En muchos otros segmentos el trato sería más pragmático, más empírico.

Pero en ninguna parte necesitamos regresar o replegar a los métodos del libro de recetas que en un principio puso al diseño en desprestigio y lo apartó del plan de estudios de ingeniería. Para esto existe hoy un considerable número de ejemplos de procesos de diseño reales, de muchas clases diversas, que han sido definidas a fondo y moldeadas en metal, por así decirlo, bajo la forma de programas de computadora en funcionamiento: optimizando algoritmos, procedimientos de búsqueda, y programas especiales para diseñar motores, equilibrando líneas de ensamble, seleccionando carteras de inversiones, localizando depósitos, diseñando carreteras, diagnosticando y tratando enfermedades, etc.

Como estos programas de computadora describen procesos de diseño complejos en detalle completo, minucioso, están plenamente abiertos a la inspección y al análisis, o al experimento de simulación. Constituyen un cuerpo de fenómenos empíricos a los cuales el estudiante de diseño puede dirigirse y a los cuales puede procurar entender. No hay duda, ya que estos programas existen, del proceso de diseño que se oculta detrás del manto del "juicio" o de la "experiencia". Cualquier juicio o experiencia que se utilizó en la creación de los programas deben ahora incorporarse en ellos y consecuentemente ser observables. Los programas son el registro tangible de la variedad de esquemas que el hombre ha ideado para explorar su complejo entorno externo y para descubrir en ese entorno las trayectorias hacia sus metas.

PAPEL DEL DISEÑO EN LA VIDA DEL ENTENDIMIENTO

He llamado a mi tema "la teoría de diseño" y a mi plan de estudios "programa en diseño". He acen-
tuado su papel como complemento al plan de estudios de las ciencias naturales en la formación íntegra de un ingeniero profesional - o de cualquier profesional cuya tarea sea solucionar problemas, para elegir, para sintetizar, para decidir.

- b. Algorithms and heuristics for choosing *satisfactory* alternatives

- 3. **The Formal Logic of Design:** imperative and declarative logics

The Search For Alternatives

- 4. Heuristic search: factorization and means-ends analysis
- 5. Allocation of resources for search
- 6. Theory of Structure and Design Organization: hierarchic systems
- 7. Representation of Design Problems

In small segments of the curriculum - the theory of evaluation, for example, and the formal logic of design - it is already possible to organize the instruction within a framework of systematic, formal theory. In many other segments the treatment would be more pragmatic, more empirical.

But nowhere do we need to return or retreat to the methods of the cookbook that originally put design into disrepute and drove it from the engineering curriculum. For there exist today a considerable number of examples of actual design processes, of many different kinds, that have been defined fully and cast in the metal, so to speak, in the form of running computer programs: optimizing algorithms, search procedures, and special-purpose programs for designing motors, balancing assembly lines, selecting investment portfolios, locating **warehouses**, designing highways, diagnosing and treating diseases, and so forth.

Because these computer programs describe complex design processes in complete, painstaking detail, they are open to full inspection and analysis, or to trial by simulation. They constitute a body of empirical phenomena to which the student of design can address himself and which he can seek to understand. There is no question, since these programs exist, of the design process hiding behind the cloak of "judgment" or "experience." Whatever judgment or experience was used in creating the programs must now be incorporated in them and hence be observable. The programs are the tangible record of the variety of schemes that man has devised to explore his complex outer environment and to discover in that environment the paths to his goals.

ROLE OF DESIGN IN THE LIFE OF THE MIND

I have called my topic "the theory of design" and my curriculum a "program in design." I have emphasized its role as complement to the natural science curriculum in the total training of a professional engineer - or of any professional whose task is to solve problems, to choose, to synthesize, to decide.

Pero hay otra manera de la cual la teoría del diseño puede ser vista en relación a otro conocimiento. Mi tercer y cuarto capítulo eran capítulos de psicología - específicamente en relación del hombre a su entorno interno biológico. El capítulo presente también puede ser interpretado como capítulo de psicología: en relación del hombre al entorno externo complejo en el cual intenta sobrevivir y triunfar.

Los tres capítulos, así entendidos, tienen una importancia que va más allá del trabajo profesional del hombre que hemos llamado "diseñador". Muchos de nosotros han sido infelices con la fragmentación de nuestra sociedad en dos culturas. Algunos de nosotros incluso piensan que hay no solo dos culturas sino un gran número de culturas. Si lamentamos esa fragmentación, entonces debemos buscar una base común de conocimiento que se pueda compartir por los miembros de todas las culturas - una base que incluya asuntos más significativos que el clima, deportes, los automóviles, el cuidado y la alimentación de niños, o quizás hasta política. Una comprensión común de nuestra relación a los entornos internos y externos que definen el espacio en el que vivimos y elegimos puede proporcionar por lo menos una parte de esa base significativa.

Esto puede parecer una pretensión extravagante. Déjeme utilizar el reino de la música para ilustrar lo que quiero decir. La música es una de las más antiguas de las ciencias de lo artificial, y fue así reconocida por los Griegos. Cualquier cosa que he dicho sobre lo artificial se aplicaría igualmente a la música, a su composición o a su disfrute, en cuanto a los asuntos técnicos que he utilizado para la mayor parte de mis ilustraciones.

La música implica un patrón formal. Tiene pocos (pero importantes) contactos con el entorno interno; es decir, es capaz de evocar emociones fuertes, sus patrones son perceptibles por oyentes humanos, y algunas de sus relaciones armónicas pueden dar interpretaciones físicas y fisiológicas (aunque la importancia estética de éstas es discutible). En cuanto al entorno externo, cuando vemos la composición como problema de diseño, encontramos justamente las mismas tareas de evaluación, de búsqueda de alternativas, y de representación que empleamos en cualquier otro problema de diseño. Si nos agrada, podemos incluso aplicar a la música algunas de las mismas técnicas del diseño automático por computadora que se han utilizado en otros campos de diseño. Si la música compuesta por computadora aún no ha alcanzado alturas notables de excelencia estética, merece, y ha recibido ya, atención seria de compositores profesionales y analistas, que no la encuentran escrita en un lenguaje ajeno a ellos.¹⁵

Indudablemente hay ingenieros sordos musicalmente, tal como hay compositores matemáticamente ignorantes. Pocos ingenieros y compositores, ya sean sordos, ignorantes, o no, pueden con-

But there is another way in which the theory of design may be viewed in relation to other knowledge. My third and fourth chapters were chapters on psychology - specifically on man's relation to his biological inner environment. The present chapter may also be construed as a chapter on psychology: on man's relation to the complex outer environment in which he seeks to survive and achieve.

All three chapters, so construed, have import that goes beyond the professional work of the man we have called the "designer." Many of us have been unhappy about the fragmentation of our society into two cultures. Some of us even think there are not just two cultures but a large number of cultures. If we regret that fragmentation, then we must look for a common core of knowledge that can be shared by the members of all cultures - a core that includes more significant topics than the weather, sports, automobiles, the care and feeding of children, or perhaps even politics. A common understanding of our relation to the inner and outer environments that define the space in which we live and choose can provide at least part of that significant core.

This may seem an extravagant claim. Let me use the realm of music to illustrate what I mean. Music is one of the most ancient of the sciences of the artificial, and was so recognized by the Greeks. Anything I have said about the artificial would apply as well to music, its composition or its enjoyment, as to the engineering topics I have used for most of my illustrations.

Music involves a formal pattern. It has few (but important) contacts with the inner environment; that is, it is capable of evoking strong emotions, its patterns are detectable by human listeners, and some of its harmonic relations can be given physical and physiological interpretations (though the esthetic import of these is debatable). As for the outer environment, when we view composition as a problem in design, we encounter just the same tasks of evaluation, of search for alternatives, and of representation that we do in any other design problem. If it pleases us, we can even apply to music some of the same techniques of automatic design by computer that have been used in other fields of design. If computer-composed music has not yet reached notable heights of esthetic excellence, it deserves, and has already received, serious attention from professional composers and analysts, who do not find it written in tongues alien to them.¹⁵

Undoubtedly there are tone-deaf engineers, just as there are mathematically ignorant composers. Few engineers and composers, whether deaf, ignorant, or not, can carry on a mutually rewarding

15) L. A. Hillier y L. M. Isaacson's y "Música Experimental" (Nueva York: McGraw-Hill, 1959), divulgando los experimentos comenzados hace más de dos décadas, todavía proporciona una buena introducción al tema de la composición musical, vista como diseño. Vea también Walter R. Reitman, "Cognición y Pensamiento" (Nueva York: Wiley, 1965), capítulo 6, "Solución de Problemas Creativa: Notas de la autobiografía de una Fuga."

15) L. A. Hillier and L. M. Isaacson's *Experimental Music* (New York: McGraw-Hill, 1959), reporting experiments begun more than two decades ago, still provides a good introduction to the subject of musical composition, viewed as design. See also Walter R. Reitman, *Cognition and Thought* (New York: Wiley, 1965), chapter 6, "Creative Problem Solving: Notes from the Autobiography of a Fugue."

tinuar una conversación mutuamente provechosa sobre el contenido del trabajo profesional de cada uno. Lo que estoy sugiriendo es que ellos *pueden* continuar tal conversación sobre diseño, pueden comenzar a percibir la actividad creativa común a la cual ambos se dedican, pueden comenzar a compartir sus experiencias del proceso de diseño creativo, profesional.

Aquellos de nosotros que hemos vivido cerca del desarrollo de la computadora moderna con la gestación y la infancia hemos sido cautivados de una amplia variedad de campos profesionales, la música es uno de ellos. Nos hemos percatado de la creciente comunicación entre disciplinas intelectuales que ocurre alrededor de la computadora. Le hemos dado la bienvenida, porque nos ha llevado al contacto con nuevos mundos del conocimiento - nos ha ayudado a combatir nuestro propio aislamiento multicultural. Esta falla de los viejos límites disciplinarios ha sido muy comentada, y su conexión con las computadoras y las ciencias de la información a menudo notables.

Pero seguramente la computadora, como pieza de hardware, o incluso como pieza de software programado, no tiene nada que ver directamente con el asunto. He sugerido ya una explicación diferente. La capacidad de comunicarse entre los campos - los puntos en común - viene del hecho de que todos los que usan computadoras de manera compleja las están usando para diseñar o para participar en el proceso de diseño. Por lo tanto como diseñadores, o como diseñadores de procesos de diseño, hemos tenido que ser explícitos como nunca antes sobre lo que implica la creación de un diseño y lo que ocurre mientras la creación tiene lugar.

La verdadera cuestión del nuevo libre comercio intelectual entre las diferentes culturas son nuestros propios procesos de pensamiento, nuestros procesos de juicio, decisión, elección, y creación. Importamos y exportamos de una disciplina intelectual a otra ideas sobre como un sistema procesador de información en serie organizado como un ser humano - o un ordenador, o un complejo de hombres y mujeres y ordenadores en cooperación organizada - soluciona problemas y alcanza metas en entornos externos de la gran complejidad. Se ha dicho que el estudio apropiado de la humanidad es el hombre. Pero he sostenido que el hombre - o al menos su componente intelectual - puede ser relativamente simple, que la mayor parte de la complejidad de su comportamiento puede ser extraída de su entorno, de la búsqueda del hombre por buenos diseños. Si he dado mis razones, entonces podemos concluir que, en grande parte, el estudio apropiado de la humanidad es la ciencia de diseño, no sólo como el componente profesional de una educación técnica, sino como una disciplina esencial para cada persona liberalmente culta.

conversation about the content of each other's professional work. What I am suggesting is that they *can* carry on such a conversation about design, can begin to perceive the common creative activity in which they are both engaged, can begin to share their experiences of the creative, professional design process.

Those of us who have lived close to the development of the modern computer through gestation and infancy have been drawn from a wide variety of professional fields, music being one of them. We have noticed the growing communication among intellectual disciplines that takes place around the computer. We have welcomed it, because it has brought us into contact with new worlds of knowledge - has helped us combat our own **multiple-cultures** isolation. This breakdown of old disciplinary boundaries has been much commented upon, and its connection with computers and the information sciences often noted.

But surely the computer, as a piece of hardware, or even as a piece of programmed software, has nothing to do directly with the matter. I have already suggested a different explanation. The ability to communicate across fields - the common ground - comes from the fact that all who use computers in complex ways are using computers to design or to participate in the process of design. Consequently we as designers, or as designers of design processes, have had to be explicit as never before about what is involved in creating a design and what takes place while the creation is going on.

The real subjects of the new intellectual free trade among the many cultures are our own thought processes, our processes of judging, deciding, choosing, and creating. We are importing and exporting from one intellectual discipline to another ideas about how a serially organized information-processing system like a human being - or a computer, or a complex of men and women and computers in organized cooperation - solves problems and achieves goals in outer environments of great complexity. The proper study of mankind has been said to be man. But I have argued that man - or at least the intellectual component of man - may be relatively simple, that most of the complexity of his behavior may be drawn from man's environment, from man's search for good designs. If I have made my case, then we can conclude that, in large part, the proper study of mankind is the science of design, not only as the professional component of a technical education but as a core discipline for every liberally educated person.