

MODELOS: UNA DISCUSION

Dr. Marcial Echenique.

Trabajo realizado en el Centro de *Land Use and Built Form Studies* de la Universidad de Cambridge (Marzo, 1968).

Reproducido con autorización del autor.

Se reconoce en forma general que, sin un marco teórico de referencia, toda información factual sobre un problema, carece de relevancia. *Al efectuar una observación, la descripción de un hecho no se traduce directamente a un lenguaje, sino que es ya una interpretación del hecho.* (Hesse, 1963). Y esta interpretación, dependerá del marco de referencia establecido de antemano.

La recolección y ordenamiento de información presupone un marco teórico de referencia. Como dice C. H. Coombs (1964), *todo conocimiento es el resultado de una teoría, -recoger una información significa un supuesto previo- los hechos, del mismo modo que los datos, las mediciones y los valores, son inferencias.*

Este marco de referencia es también necesario en estudios parciales de sistemas complejos, en los cuales la naturaleza de las interacciones entre los factores involucrados y su contexto está especificada o determinada.

Por estas razones, el propósito del presente ensayo es tratar de establecer algunas definiciones que permitan construir este marco de referencia o *modelo*, como generalmente se le llama, que haga útil el proceso de *observación-descripción* y posibles los estudios parciales.

Este artículo se divide en tres partes :

1. Definición del modelo
2. Funciones del modelo
3. Clasificaciones de modelos

I. DEFINICION DE MODELO.

Un modelo es una representación de una realidad.

Establecida esta definición, debemos analizar el significado que atribuimos a los términos *representación* y *realidad*.

Por *representación* queremos expresar ciertas características relevantes de la realidad que observamos. Y por *realidad*, objetos o sistemas que existen, existieron o que pudieran existir.

Estas definiciones nos conducen a considerar dos problemas principales

1. Cómo seleccionamos estas características relevantes de la realidad, y
2. Qué medios elegimos para representar esas características.

En este artículo suponemos que podemos conocer la realidad a través de procesos de observación y abstracción.

Pero naturalmente estos procesos son subjetivos, en tanto que el observador, al hacer sus observaciones, tiene ciertas intenciones y, en su apreciación de la realidad, usa sus propios sentidos. Esto nos conduce a suponer la existencia de una realidad única, *intrínseca*, y la existencia de una pluralidad de realidades parciales, *extrínsecas*, que dependen de cada observador y de sus intenciones.

Con estos supuestos, puede ahora responderse a la primera pregunta. La selección de características de la realidad está orientada por la intención del constructor de modelos.

En otras palabras, el tipo de preguntas que el modelo debe responder determinará la selección de las características.

Estas preguntas dependerán del entrenamiento del constructor de modelos, de los recursos disponibles, de la institución para la que trabaja, etc.

Sólo teniendo una *actitud muy selectiva con respecto a la información* (Hagget, 1967) es posible recoger datos útiles. Esta actitud selectiva, que depende de la intención del observador, hace *finito* el número infinito de características.

A causa de este proceso de selección, la unidad de cada realidad parcial, *extrínseca*, resulta exagerada: *la mente necesita ver el sistema en oposición y distinto a todos los demás, de tal manera, que la separación del sistema de otros se hace más completo de lo que es en la realidad: el sistema es estudiado con un cierto propósito, todo aquello que no afecta este propósito es eliminado* (Apostel, 1961).

Con respecto a la segunda pregunta, los *medios* que elegimos para representar las características pueden ser físicos o conceptuales. Cualquier representación de la realidad es un modelo.

Entre la realidad y el modelo distinguimos dos tipos de analogías, positivas (similitudes) y negativas (diferencias). La selección de las analogías positivas depende nuevamente de las preguntas que el modelo puede contestar.

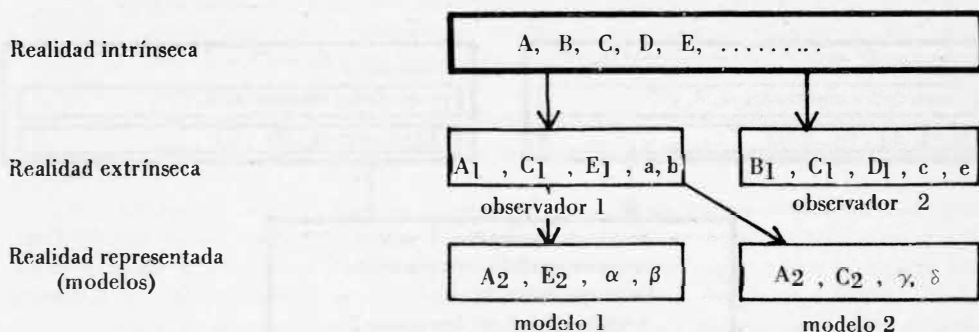
En algunos casos la substancia material de un modelo puede ser una analogía negativa y, sin embargo, las leyes de comportamiento pueden constituir analogías positivas o vice-versa. Por ejemplo, un modelo hidráulico de flujos de tránsito puede presentar características positivas de comportamiento de flujos, pero las substancias materiales comprendidas son claramente muy diferentes.

Por todas estas razones, *sólo siendo infiel en algún aspecto puede un modelo representar su original* (Black, 1962). Si no fuéramos infieles, estaríamos frente a la realidad y no a una representación. (ver diagrama 1).

Vamos a especificar a continuación las etapas del proceso de construcción de mo-

1. Un objeto o sistema que estamos interesados en comprender.
2. Una intención, claramente expresada, para hacer una selección.
3. Un proceso de observación y abstracción.
4. Un proceso de traducción, a través de ciertos medios de representación.
5. Un proceso de prueba y conclusiones.

Generalmente, la palabra modelo se usa de una manera muy ambigua, y puede significar *una teoría, una ley, una hipótesis, una idea estructural, un rol, una relación, una e-*



- A, B, propiedades del mundo real
 A₁ B₁ propiedades del mundo real en la mente del observador
 a, b, otras propiedades en la mente del observador
 A₂ A₂ propiedades representadas del mundo real en el modelo (analogías positivas)
 α, β, propiedades del modelo (analogías negativas)

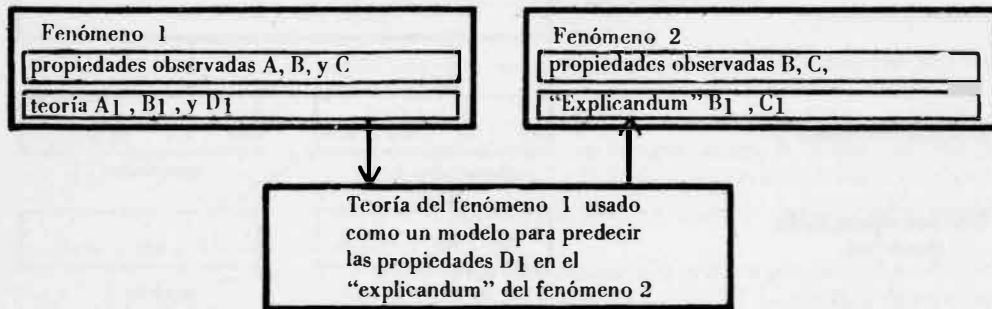
DIAGRAMA 1

cuación, una síntesis de datos (Skilling, 1964), y como sustantivo, significa representación, como, adjetivo, grado de perfección, como verbo, demostrar (Haggat, 1967). De hecho, todos estos significados se asumen corrientemente.

En esta exposición, la palabra modelo se usa como sustituto de teoría, y se define como un conjunto o sistema de ideas o afirmaciones presentadas como una explicación o relación de un grupo de hechos o fenómenos. Una visión más ortodoxa, (Hesse, 1963) distingue tres tipos de teorías, de acuerdo con sus poderes predictivos.

- 1) Teorías formales, sólo débilmente predictivas, incluyendo aquí el modelo llamado matemático.
- 2) Modelos conceptuales, que son fuertemente predictivos, pero que no están justificados por criterios mayores de selección.
- 3) Modelos analógicos materiales, que son a la vez fuertemente predictivos y justificados por criterios rigurosos de selección, que concurren a los modelos como datos empíricos.

El uso de modelos analógicos, se basa en la suposición de que las cosas que tienen algunos atributos similares, tendrán también otros. En este tipo de modelos, una teoría que explica algunos fenómenos del mundo real se usa como un modelo para predecir una nueva propiedad en el *explicandum* de otro fenómeno, basado en la similaridad de ciertos datos observables, (ver diagrama 2).



A y C : analogías negativas
 B : analogías positivas
 D : analogías "neutras"

DIAGRAMA 2

Ejemplo de teoría usado como *modelo* para el *explicandum*. (Hesse, 1963).

	<i>Propiedades del sonido</i>	<i>Propiedades de la luz</i>
Relaciones	ecos	reflexión
Causales	sonoridad	brillantez
	tono	colorido
	detectado por el oído	detectado por la vista
	propagación en el aire	propagación por el éter

Relaciones Similares

Este tipo de modelo analógico se usa actualmente en nuestro campo. Por ejemplo, el *modelo gravitatorio* usado para predecir flujos de transporte entre diferentes lugares, representa una versión generalizada de la teoría de la gravedad. Este modelo, basado en relaciones de similitud entre masas, personas y distancia, y la relación causal de atracción, se utiliza en predicciones de transporte.

La forma más simple establece que el flujo de transporte entre dos lugares es directamente proporcional al tamaño de la población de los dos lugares e inversamente proporcional a la distancia que los separa.

Otros ejemplos, que pueden usarse como modelos para el *explicandum* de un sistema urbano son : la teoría de la red eléctrica, los flujos hidráulicos, etc.

Las condiciones para establecer analogías materiales son :

1) Las relaciones bivalentes horizontales entre términos son relaciones de similitud entre el modelo y el *explicandum* y donde la similitud puede, por lo menos con

fines de análisis, ser reducida a identidades y diferencias entre grupos de características que constituyen los términos.

- 2) Las relaciones verticales en el modelo son relaciones causales, en algún sentido científicamente aceptables, no existiendo razones forzosas, *a priori*, para negar relaciones causales del mismo tipo que pueden presentarse entre términos del *explicandum*.
- 3) Las propiedades esenciales y relaciones causales del modelo no han sido mostradas como parte de la analogía negativa entre el modelo y el *explicandum* (Hesse, 1963).

El segundo tipo, el modelo conceptual, se presenta cuando el modelo usado para predecir una nueva propiedad del *explicandum* es completamente imaginario, y no se deriva de ninguna teoría causal. *Tales modelos deberían ser considerados como elementos imaginativos que deben modificarse y adaptarse de acuerdo con los datos* (Hesse, 1963).

Cuando no podemos encontrar ningún modelo material analógico para el *explicandum*, el modelo conceptual juega un rol muy importante. A pesar de ser considerado arbitrario en la primera etapa de desarrollo, puede, sin embargo, constituir una contribución importante. Por ejemplo, en la primera etapa de desarrollo de la teoría atómica se usaron modelos conceptuales que eran fuertemente predictivos, ya que daban nuevas interpretaciones de términos teóricos, como hechos observables que no eran arbitrarios, en el sentido de que estaban determinados por el modelo mismo.

Sin embargo, en otro sentido, *el modelo mismo puede ser considerado como arbitrario, ya que no puede darse ninguna justificación para suponer que el mundo será como el modelo*. (Hesse, 1963).

Cuando no usamos modelos material-analógicos ni conceptuales y explicamos algunos fenómenos directamente, tenemos una teoría formal: *una hipótesis matemática adaptada a los datos empíricos*. (Hesse, 1963).

Prácticamente, todos los modelos de investigación operativa pueden ser clasificados como teorías formales, que son débilmente predictivos en el sentido de que todas las relaciones son supuestamente conocidas y no podemos predecir nuevas propiedades de los datos observables.

Este último tipo de teoría, comúnmente llamada modelo matemático, está empezando a ser usado en las ciencias sociales.

Puede ser considerado como un procedimiento analógico que simula el efecto de diferentes decisiones, dentro de un sistema, con el propósito de evaluación.

II. FUNCIONES DE LOS MODELOS.

El objetivo principal de un modelo es proveer un cuadro simplificado e inteligible de la realidad, con el fin de comprenderla mejor.

Como consecuencia, debería ser posible manipular el modelo para determinar mejoras de la realidad.

Una vez establecido el objetivo principal, podemos especificar sus funciones: (Haggel, 1967).

- 1) Función psicológica : permitir que un grupo de fenómenos complejos sea visualizado y comprendido.
- 2) Función adquisitiva : proveer un marco donde la información puede ser definida, recogida y ordenada.
- 3) Función lógica : explicar cómo un fenómeno particular se produce.

- 4) Función normativa : comparar algunos fenómenos con otros más familiares.
- 5) Función cognitiva : comunicación de ideas científicas.

A ello podemos agregar :

- 6) Función sistemática: proveer un marco donde pueda ser probada una idea de la realidad o de realidades posibles.
- 7) Función partitiva : proveer un marco donde puedan definirse estudios parciales, conociendo su interacción con el resto del sistema.
- 8) Función evaluativa : proveer un marco donde pueda ser simulado el efecto de diferentes decisiones dentro de un sistema.

En general, podemos decir que *un modelo debe ser :*

- I. *Lo suficientemente simple para su manipulación y comprensión.*
- II. *Lo suficientemente representativo, dentro del alcance total que sus implicaciones pueden tener y,*
- III. *Lo suficientemente complejo para representar con precisión el sistema en estudio.*
(Chorafas, 1965)

III. CLASIFICACION DE MODELOS.

Podemos clasificar los modelos en tres categorías :

- 1) Para qué están hechos.
- 2) De qué están hechos.
- 3) Cómo se considera el factor tiempo.

1) *Para qué están hechos.*

El primer aspecto de la clasificación, tiene en cuenta las intenciones del constructor de modelos, en otras palabras, qué clase de preguntas se intenta contestar con el modelo. Al respecto podemos distinguir cuatro tipos principales de modelos :

- A) Modelo descriptivo
- B) Modelo predictivo
- C) Modelo explorativo
- D) Modelo de planificación

A) *Modelo descriptivo.*

En este caso, la intención fundamental es la comprensión de la realidad, tratando de establecer cómo se desarrolla un fenómeno particular y describiendo las relaciones entre los diferentes factores en el modelo. En otras palabras, la intención principal es *explicativa*. Este tipo de modelo es lógicamente esencial para cualquier otro tipo, ya que no podemos predecir, explorar o planear sin una descripción previa de la realidad en estudio. El problema es, entonces, qué exactitud es necesaria en un modelo descriptivo. Naturalmente, obtener un buen ajuste entre el modelo y la realidad, resulta muy difícil. Ello es aún más difícil en las ciencias sociales, donde cada hecho o valor presupone una cantidad considerable de datos, los cuales, a veces, no están disponibles, o requieren de grandes recursos.

Por otro lado, la exactitud del modelo en una situación particular tiende a estar en

contradicción con la generalidad, propiedad que cualquier teoría debe tener. En ese sentido debemos *sacrificar su exactitud por su generalidad*. (Bunge, 1966).

Esto nos conduce a considerar que para establecer un modelo descriptivo que pueda servir otras proposiciones, no es necesario ni deseable ser demasiado exacto, pero podemos usar valores teóricamente determinados o datos disponibles existentes y, en el caso de una situación específica, unir teoría y realidad con valores empíricamente determinados.

B) *Modelo predictivo.*

En él la intención principal es prever el futuro. Podemos distinguir dos clases :

- a) extrapolativos, en los que se establecen tendencias que continúan las presentes, ya determinadas en el modelo descriptivo.
- b) condicionales, donde los mecanismos de causa y efecto que gobiernan las variables se especifican determinando *si ocurre x, luego sucederá y*.

Ambos tipos de modelos predictivos se basan en la suposición de que se trata de una situación establecida como opuesta a una emergente; la distinción entre una situación establecida y una emergente es que en la primera, en *toda acción las condiciones relevantes del medio son especificables y predecibles, y, en la segunda, en cambio, algunas de estas condiciones no prevalecen*. (Boguslaw, 1965).

El modelo predictivo se basa en la suposición de que él representa la forma en que la realidad está cambiando.

Sin embargo, otras alternativas son dejadas fuera, o bien porque no han sido descubiertas, o bien porque no se ajustan a la teoría que describe el fenómeno.

Un ejemplo de esto se muestra en el trabajo de R. Morill (1962), en Suecia. Trata de simular el crecimiento de los esquemas de lugares centrales en el tiempo, basado en la *teoría de lugar central*, de Christaller y Lösch. Esta teoría ignora la posibilidad de crecimiento a lo largo de caminos radiales y, naturalmente, la simulación no genera esta alternativa.

Como señala B. Berry (1962), no sólo se nuclean las actividades centrales, sino que también se desarrollan linealmente a lo largo de caminos.

C) *Modelo explorativo.*

La intención principal en este caso es descubrir, por medio de la especulación sistemática otras realidades que puedan ser lógicamente posibles, a partir de la variación sistemática de los parámetros básicos usados en el modelo descriptivo. Este tipo de modelo se asocia más con el tipo conceptual, explicado en la primera parte. El objetivo de este tipo de modelo es, no sólo ver nuevas posibilidades que puedan ser evaluadas y seguidas en un modelo de planeamiento, sino volver a analizar la realidad para ver si las posibilidades teóricamente determinadas existen o no.

Un ejemplo de este tipo de modelo de estudios urbanos puede verse en una investigación sobre alternativas topológicas de la distribución de usos del suelo, de L. March (1967). El estudio ilustra un ejemplo del desarrollo de la tierra urbana, contrastando un desarrollo en retícula con otro nucleiforme.

Sobre la base de estas dos alternativas teóricas, March reconsidera luego la situación existente y señala ejemplos del desarrollo en red en los EE. UU. Aquí puede observarse que este desarrollo reticular siguiendo caminos existentes, y proveyendo, así, un alto nivel de accesibilidad, constituye una tendencia natural del crecimiento urbano.

Otro ejemplo de un modelo explorativo es el descrito por E. Jautsch (1967), en

relación a la investigación morfológica en el campo de las máquinas a chorro. En este caso, las características de la máquina están divididas en 11 parámetros básicos y por cada uno se define un campo específico.

Combinando estas alternativas, diferentes tipos de máquinas a chorro que hasta el momento no habían sido consideradas, demostraron ser viables.

Un buen modelo es aquel cuyas *implicaciones son lo suficientemente ricas como para sugerir nuevas hipótesis y especulaciones en el campo básico de la investigación* (Black 1962).

D) Modelo de planeamiento.

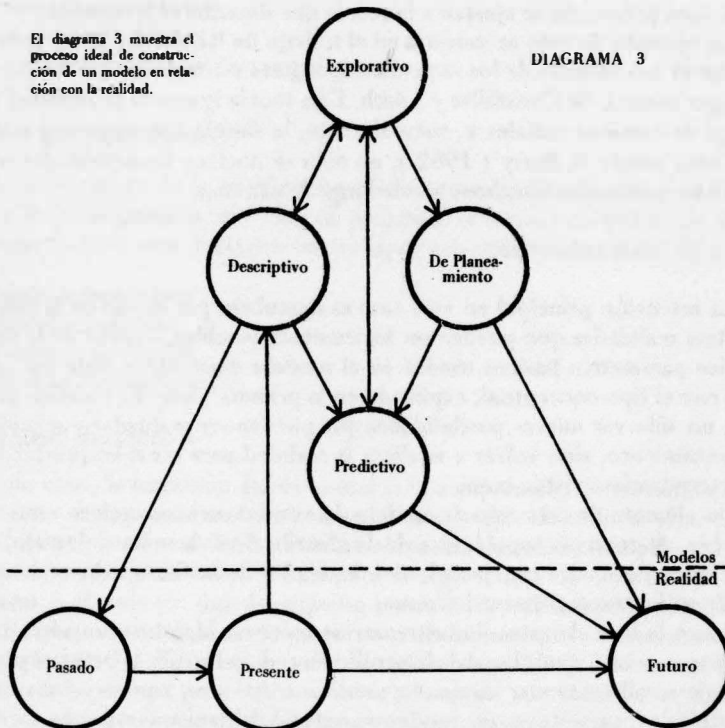
En este caso se introduce *una medida de optimización en términos de criterios elegidos para determinar medios de conseguir ciertos objetivos de planeamiento establecidos.* (Lowry, 1965). Este tipo está más asociado con la teoría formal explicada en la primera parte, y, en especial, con el expediente analógico que simula el efecto de diferentes decisiones dentro de un sistema, con propósitos de evaluación.

Se requieren los siguientes pasos :

- a. Especificación de programas o acciones alternativas que pueden elegirse.
 - b. Predicción de las consecuencias de elegir cada alternativa.
 - c. Medir estas consecuencias de acuerdo a un análisis de los resultados.
 - d. Elección de la alternativa que produzca el mayor puntaje.
- (Lowry, 1965).

El diagrama 3 muestra el proceso ideal de construcción de un modelo en relación con la realidad.

DIAGRAMA 3



2) De qué están hechos.

Este aspecto se refiere a los *medios* que se eligen para representar la realidad, y estos pueden clasificarse en físicos y conceptuales.

A. *Modelo físico* : En este caso, las características físicas de la realidad están representadas por las mismas o análogas características materiales. Pueden dividirse en dos clases :

- a. *Isométricos* : en el cual *las propiedades físicas están representadas sólo por un cambio de escala.* (Ackoff, Gupta y Minas, 1962). Esta clase incluye modelos arquitectónicos, fotografías, etc., y es *generalmente difícil usarlos para representar situaciones dinámicas.* (Churchman, Ackoff y Arnoff, 1964).
- b. *Análogos* : donde *las propiedades físicas del mundo real son representadas por diferentes propiedades* (Haggert, 1967), *de acuerdo a algunas reglas de transformación* (Churchman, Ackoff y Arnoff, 1964). Esta clase incluye mapas, planos, gráficos, etc. Es *generalmente apropiado para representar situaciones dinámicas, es decir, procesos o sistemas.*

B. *Modelo conceptual* : En este tipo de modelo las características relevantes están representadas por conceptos (lenguaje o símbolos).

Nuevamente pueden dividirse en dos :

- a. *Verbales* : Utilizan para la descripción de la realidad, en términos lógicos, palabras escritas u orales. No aseguran *resultados explícitos ni libres de contradicciones* (Bunge, 1966).
- b. *Matemáticos* : donde la descripción de la realidad está representada por el uso de símbolos y de relaciones expresadas en términos de operaciones.

Este tipo incluye, a su vez, a los modelos determinísticos o estocásticos, de acuerdo al grado de probabilidad con que operan. En relación a los modelos matemáticos o teoría formal, como hemos mostrado en la primera parte, Wilson (1967) distingue 4 tipos de técnicas.

1.- *Técnicas estadísticas.*

2.- *Sistemas de ecuaciones* : las interrelaciones entre varias partes del modelo pueden, a veces, expresarse como un sistema de ecuaciones simultáneas, que implica que las relaciones entre variables son conocidas.

3.- *Simulación* : No todas las relaciones entre variables son conocidas, quedan variables *libres*. Se define un campo de variación y existe una prueba del modelo para cada valor de cada variable. En este caso es esencial el uso del computador.

4.- *Algoritmos de computación* : son reglas para el computador, no expresadas como sistemas de ecuaciones, por ejemplo, las instrucciones dadas al computador en el sentido de que los viajes se harán por la distancia más corta.

Churchman, Ackoff y Arnoff (1962) distinguen tres tipos de soluciones en un modelo matemático.

- 1.- *Analíticas* : Los procedimientos analíticos consisten en el uso de la deducción matemática, siempre asociada con sistemas de ecuaciones.
- 2.- *Numéricas* : De carácter inductivo, trata varios valores de las variables en el modelo y selecciona aquel conjunto de valores de las variables que llevan a una mejor solución. Se llama normalmente interacción. Un procedimiento iterativo es aquél en el cual, por medio de pruebas sucesivas, se tiende a una solución óptima. Un ejemplo de esta técnica es la programación lineal.
- 3.- *Estocásticas* : Algunas expresiones en un modelo no pueden ser numéricamente evaluadas con exactitud debido a consideraciones matemáticas o prácticas. Tales técnicas, como la de Monte Carlo o Cadena de Markov, usan un enfoque probabilístico.

En esencia, la técnica Monte Carlo consiste en simular un experimento para determinar cierta propiedad probabilística de un conjunto de objetos o hechos, utilizando una muestra al azar.

Algunos modelos matemáticos son apropiados para cierto tipo de problemas en investigaciones operacionales, tales como : inventarios, asignaciones, colas de espera, reemplazos, problemas de competencia y de combinación.

3.- *Cómo se considera el factor tiempo.*

Podemos tener una tercera clasificación, de acuerdo al tratamiento del tiempo :

- A. *Modelo estático* : donde se presta especial atención al equilibrio de rasgos estructurales (pasado, presente o futuro).
- B. *Modelo dinámico* : donde la atención se concentra en procesos y funciones a través del tiempo.

Conclusión.

Hemos definido el término modelo y las condiciones necesarias para construirlo. También hemos mostrado sus funciones y los tipos de modelos que podemos construir, de acuerdo a las intenciones, los medios seleccionados para su representación, y el tratamiento del factor tiempo.

También hemos mostrado que modelo y teoría se usan generalmente en forma indistinta, pero hemos tratado de distinguir tipos de teorías en relación a su *poder predictivo*. (Hesse, 1963). La confusión surge porque algunas teorías están basadas en modelos, ya sea modelos material-analógicos o conceptuales, y en estos términos, los llamados modelos matemáticos son, de hecho, teorías formuladas matemáticamente.

Para simplificar: podemos establecer que la construcción de un modelo presupone el uso de una teoría (ya sea formal, conceptual o material-analógica), que explique parte o el total de las relaciones establecidas en el modelo.

En ciertos casos, la falta de teorías explícitas en el proceso de construcción hace que el modelo mismo se convierta en una teoría, en el sentido que constituye la única explicación para un fenómeno particular.