

EL PROCESO DE VALIDACIÓN DE LOS MODELOS SOCIO-ECONÓMICOS DINÁMICOS



Yolanda Álvarez Castaño y M^a Isabel Alonso Magdaleno
Dpto. de Administración de Empresas y Contabilidad
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

1. INTRODUCCIÓN: LOS PROBLEMAS ORGANIZATIVOS

Un problema surge cuando: (a) existe una diferencia entre la situación existente y la prevista o entre la posición actual de un sistema y su posición potencial, (b) se percibe alguna clase de insatisfacción con la actuación de un sistema, (c) se toma conciencia de la existencia de oportunidades o de la relación de desarmonía entre la realidad y las propias preferencias (Oral y Kettani, 1993). Cuando este tipo de observaciones tienen lugar en el ámbito organizativo, el esfuerzo directivo debe ir dirigido a anular o mitigar la discrepancia percibida entre el estado real y el deseado.

Los problemas empresariales son de muy diversa índole, pudiendo efectuarse distintas tipologías sobre los mismos. Sin embargo, para el propósito de este trabajo se atenderá únicamente a la clasificación efectuada por Oral y Kettani (1993), quienes distinguen entre:

- Problemas prototipo. Se trata de situaciones bien conocidas, que necesitan tan sólo de un poco de esfuerzo conceptual adicional —incluso en ocasiones es innecesario— para elaborar un modelo formal dirigido a la búsqueda de una solución técnica y al establecimiento de su proceso de implementación. Así pues, el énfasis del análisis se centra en el desarrollo de algoritmos que proporcionen una solución óptima al problema objeto de estudio. Los modelos desarrollados para la gestión de inventarios, de transporte y de planificación de la producción constituyen algunas de las respuestas al análisis de este tipo de problemas empresariales.
- Problemas analíticos¹. Mediante su análisis se persigue, esencialmente, alcanzar un mayor entendimiento sobre el sistema y la organización donde se detecta el problema. En su estudio, la decisión no es por tanto, el fin último; puesto que la preocupación inmediata, radica en el conocimiento de las consecuencias que tendrían diversos escenarios, sobre el comportamiento del sistema. Para conseguir este objetivo se utilizan criterios tanto tradicionales, como no tradicionales. Aunque obtener una solución al problema no constituye la preocupación fundamental, gracias al mejor entendimiento que se consigue sobre el sistema, también se podrán prescribir ciertas recomendaciones y fijar algunas decisiones, en orden a conseguir importantes mejoras en el mismo.
- Problemas pragmáticos. Se trata de situaciones que, o bien mediante su análisis se espera un remedio inmediato, o bien son sistemas o procesos tan complejos, que es imposible construir un modelo formal para dar solución a los mismos. Se caracterizan pues, por la ausencia de un modelo formal —bien por motivos de premura de tiempo, bien por dificultades para recoger todos los elementos importantes que configuran el sistema— que sirva de base a la decisión; estableciéndose ésta sobre la base de modelos

¹ Los dos autores citados hacen referencia a ellos como *problemas descriptivos*. No obstante, en el presente trabajo, se ha optado por la denominación de problemas analíticos, al considerarse una denominación más congruente con el propósito que se persigue mediante la resolución de este tipo de situaciones. Pues, describir es “definir una cosa dando una idea general de ella”, mientras que analizar es “examinar los componentes de un todo, así como de sus respectivas propiedades y funciones”.

informales o mentales, que recogen las experiencias, los criterios, el conocimiento y las preferencias, de los decisores.

- **Problemas teóricos.** Su objetivo fundamental es la extensión del conocimiento. Para conseguir este propósito, se construye un modelo formal, que represente razonablemente bien el problema percibido.

Si bien cada una de estas cuatro categorías de problemas presenta como rasgo común de su análisis la construcción de modelos; cabe indicar que dichos modelos tienen propósitos muy diversos, desde la obtención inmediata de una solución técnica de carácter óptimo, al propósito de profundizar y ampliar en el conocimiento de las causas que originan la situación detectada. Esta distinción es importante, desde el momento en que no existe un acuerdo general sobre que constituye un modelo válido (Déry *et al.*, 1993); aun cuando este tema ya haya sido ampliamente abordado por la literatura empresarial². Por este motivo, puede afirmarse que el proceso de validación es muy dependiente de la naturaleza del problema que esté siendo analizado; puesto que no es posible aplicar el mismo enfoque de validación para todos los tipos de problemas; dado que los objetivos básicos de los modelos, varían de uno a otro, de modo considerable.

2. LA VALIDACIÓN DE MODELOS: DIVERSOS ENFOQUES Y TEORÍAS

Antes abordar el tema de la validez de los modelos, conviene tener claros una serie de conceptos, y en concreto, la distinción entre:

Verificación: consiste en determinar que el programa de simulación funciona como se esperaba (Law y Kelton, 1991; 299). Desde esta perspectiva, puede definirse como el proceso mediante el cual los científicos se aseguran así mismos, y a los demás, que el modelo construido es aquel que pretendían construir (Miser, 1993). Por tanto, puede considerarse a la verificación como una parte del proceso de validación.

Validación: busca que el modelo sea lo bastante bueno; siendo esta una valoración que depende del propio objetivo del modelo (Kleinjnen, 1995). Consiste pues en un proceso por el cual los científicos se aseguran así mismos, y a los demás, que una teoría o modelo es una descripción de un fenómeno determinado, siendo adecuado para los usos en los que será aplicado (Miser, 1993). Por tanto, el objetivo de una validación adecuada es producir información que ayude a los usuarios potenciales a aceptar o rechazar el modelo (Oral y Kettani, 1993).

Teniendo en cuenta esta distinción, cabe afirmar que tan sólo después de que el modelo de simulación haya sido correctamente programado —es un modelo verificado— cabe plantearse los problemas relativos a la validación del mismo.

Por otra parte, resaltar que la modelización de los sistemas socio–económicos es una forma de desarrollo no experimental (Starr, 1980), en la que el modelo se convierte en el centro de atención, representando una teoría acerca de la descripción y el funcionamiento de un sistema. El propósito del modelo es el aprendizaje y la descripción, frente a la predicción y la prescripción que son más propias de la investigación experimental —habitual en el estudio de los sistemas técnicos—, en la que el modelo es un medio hacia un fin. Por tanto, en su análisis debe aplicarse un proceso similar al expuesto en el apartado anterior, para el estudio de los problemas analíticos.

En función de la escuela filosófica empleada se obtendrá una u otra concepción del proceso de validez de un modelo (Barlas, 1996); por lo que es necesario exponer brevemente los fundamentos de cada una de ellas, con objeto de determinar cual debe ser el enfoque aplicable en el proceso de validación de los modelos que pretenden profundizar en un mayor conocimiento de los problemas socio–económicos.

- *Corriente del Fundacionismo*

En esta corriente se puede incluir al racionalismo, la lógica positivista y el empirismo clásico. Estas escuelas consideran que existe un criterio último y único de validez, por tanto, no permite la incorporación de ningún juicio o decisión personal al proceso de validación (Kleindorfe, *et al.*, 1998). Las observaciones o evidencias que sirven de base al modelo son trasladadas dentro de un lenguaje lógico–matemático, lo cual le permitirá obtener el status de conocimiento científico (Déry, *et al.*, 1993).

- *Corriente Anti–fundacionalista.*

Dentro de ella destaca la *teoría del falsacionismo*, uno de cuyos máximos exponentes es Karl Popper. Éste considera que la validación de los modelos debería adoptar la forma de un proceso de falsación, dirigido a comprobar las teorías y los modelos, a través de las hipótesis. Teniendo en cuenta que los modelos se derivan de las teorías, las cuales a su vez, se sustentan en conjeturas, uno nunca estaría en condiciones de asegurar que el modelo es válido; pudiendo a lo sumo —al no haber sido todavía rechazado—, llegar a afirmarse que es validable. Por tanto, en un sentido Popperiano, no se puede hablar de la validez de un modelo; pues nunca se puede estar seguro de ello. Es precisamente esto, lo que constituye la base del progreso científico; el cual se desarrolla sobre la base de teorías susceptibles de ser refutadas, y sobre la solventación de los fallos descubiertos en ellas, lo que contribuirá a mejorar dichas teorías (Bell y Senge, 1980).

Por su parte el Kunanianismo, considera que las teorías son inducidas a partir de la acumulación de los datos obtenidos de las observaciones empíricas; por lo que la validación del modelo se convierte en

² No obstante, hay quien opina que este aspecto sólo se ha venido tratando desde la perspectiva de la eficiencia, habiendo dejado de lado la perspectiva de la efectividad (Landry y Oral, 1993).

un complejo proceso de dimensión social, psicológica e incluso, histórica, en la que el modelador, debe convencer a terceras personas de la validez del modelo (Kleindorfe, *et al.*, 1998).

También se incluye en esta corriente la Metodología de los Programas Científicos de Investigación. Ésta considera la existencia de un núcleo central de paradigmas que sirven de base a las teorías, las cuales deben ser perfeccionadas mediante la adición de teorías auxiliares complementarias (Kleindorfe, *et al.*, 1998).

Finalmente, la Aproximación Bayerista considera que las teorías deben ser aceptadas si existen altas probabilidades de que se cumplan sus predicciones (Kleindorfe, *et al.*, 1998).

En cualquier caso, ambas corrientes consideran a la validez como un asunto de exactitud más que de utilidad.

- *Instrumentalismo*

Para este enfoque el conocimiento sólo es genuinamente científico si guía a acciones efectivas; es decir, si es un instrumento útil (Déry, *et al.*, 1993). Desde este punto de vista, un modelo se construye para su aplicación práctica en una situación particular, por lo tanto, no hay que preguntarse si es verdad o no, sino si es útil; pues el objetivo es validar, no verificar. De ahí, que lo importante sea conocer si el modelo es útil para resolver el problema para el que ha sido construido; puesto que desde el punto de vista del instrumentalismo, ningún modelo es superior a otros en un sentido absoluto. Pues aunque bien es cierto, que alguno de ellos puede resultar más efectivo, ninguno puede ser considerado como absolutamente objetivo; pues todo modelo contiene el punto de vista del modelador. Por tanto, los modelos no son verdaderos o falsos, sino que se encuentran en un continuo de utilidad (Barlas y Carpenter, 1990). La validación se convierte así en un proceso gradual, prolongado y complejo de otorgar confianza al modelo (Barlas, 1996), en el que se encuentran involucradas herramientas tanto formales —cuantitativas— como informales —cualitativas—.

Esta complejidad se pone de manifiesto al afirmar que (Forrester, 1961; 115): *«la validación, o el grado de significación de un modelo, debería ser juzgada por su conveniencia en relación a un determinado propósito. Un modelo es lógico y defendible, si consigue lo que se espera de él, [...] la validación como un concepto abstracto, divorciado de su propósito, no tiene un significado útil»*³.

El objetivo último de la validación es transferir confianza en la solidez del modelo y en su utilidad como una herramienta política. A menos que la confianza del modelador en el modelo pueda ser “transferida”, la potencialidad del modelo para aumentar el entendimiento sobre el sistema, y guiar políticas más efectivas no se realizará (Forrester y Senge, 1980).

³ Esta postura se encuadra dentro de la lógica instrumentalista de vincular la validez de un modelo con su utilidad.

En cualquier caso, la validez es un término relativo por dos motivos:

⇒ Porque para modelar la realidad casi siempre existen múltiples modelos entre los que hay que elegir aquél de mayor confianza.

⇒ Porque el modelo sólo puede ser correctamente valorado con relación a un propósito particular; es decir, *es inútil tratar de establecer que un modelo es útil, sin especificar para que propósito va a ser usado*. Así pues, la validez debe ser vista como la utilidad del modelo con respecto a un propósito. Esto implica que cuando se juzga la validez de un modelo, se está juzgando también la validez de su propósito; siendo esto un proceso esencialmente informal, cualitativo y no-técnico (Barlas, 1996). Ello es así, porque la comparación de las consecuencias del modelo con la realidad, no es el único medio para valorar la confianza que el mismo nos ofrece. Pues, si éste está claramente aproximado al fenómeno del cual comenzó la inducción, si las materias del conocimiento establecido tienen una gran confianza asociada con el modelo y, si los principios estructurales usados son conocidos como apropiados, entonces, el científico puede inferir, normalmente, un alto grado de confianza en el modelo, esperando que el mismo se confirme durante la posterior comparación de sus consecuencias con la realidad (Miser, 1993).

3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS ANALÍTICOS

La dinámica de sistemas es un enfoque que usa medios cuantitativos para investigar el comportamiento dinámico de sistemas socio-técnicos y sus respuestas a determinadas políticas (Starr, 1980). Su propósito es pues, reproducir el sistema real, de forma que su comportamiento pueda ser anticipado o cambiado. El comportamiento del modelo debe reproducir la toma de decisiones tal y como se efectúa en el sistema real, y no como debería efectuarse si el proceso de toma de decisiones fuese omniscientemente optimizador. Las decisiones heurísticas y las estrategias empleadas por las personas, tienen sus limitaciones que deben ser también modeladas (Sterman, 1987).

Se trata por tanto, de construir modelos de descripción causal, que indiquen como opera realmente el sistema real en algunos aspectos y aseguren la efectividad de políticas alternativas, o de las estrategias diseñadas para mejorar el comportamiento de dicho sistema (Barlas, 1996). Desde esta perspectiva, la validación es un proceso esencial, puesto que asegura que el conocimiento sobre el sistema es completo y preciso, verificando igualmente, que los componentes del modelo y las políticas aplicadas interactúan de forma efectiva para resolver el problema detectado (Ram y Ram, 1996).

La validez de los modelos de dinámica de sistemas es cuestionada a menudo, incluso cuando el

modelo reproduce el comportamiento histórico del sistema (Sterman, 1984). Se crea así una impresión de dejadez y de falta de profesionalidad, y por tanto una incertidumbre a cerca de los fundamentos de esta disciplina. Esto puede provocar un rechazo de las teorías desarrolladas a través de esta metodología, pues de hecho, las mismas son, a menudo, obviadas, al existir poca confianza en su “*status*” científico. Ese rechazo se agudiza, cuando tales teorías generan soluciones novedosas a problemas que están siendo investigados mediante otros enfoques (Bell y Senge, 1980).

Se plantea así, el reto de diseñar un proceso adecuado para validar los modelos desarrollados mediante la dinámica de sistemas. Tal proceso, debería centrarse básicamente en la validación de la estructura y de los patrones de comportamiento del modelo, más que en la comprobación de la identidad puntual entre los datos reales y los generados por el modelo (Barlas, 1989).

En el proceso de validación de los modelos construidos empleando la dinámica de sistemas debe excluirse —pese a las numerosas críticas que por este motivo recibe la metodología— a los tests estadísticos comúnmente utilizados por otras metodologías.

Estos tests plantean serios problemas de autocorrelación y de multicolinealidad, dado que asumen que los datos no están autocorrelacionados, no presentan correlación cruzada y tienen una distribución normal, aun cuando debido a su propia naturaleza, los datos generados por un modelo de dinámica de sistemas, son autocorrelacionados, y presentan correlación cruzada. Además, los modelos de dinámica de sistemas no tienen como resultado una única variable en la que centrar los tests de validación; pues, normalmente, son muchas las variables que se pueden considerar como importantes en el estudio. Por tanto, si el proceso de validación del modelo, adoptase la forma de tests estadísticos, surgiría el problema de estimar el nivel de significación en los tests simultáneos de múltiples hipótesis, no existiendo una solución lo bastante general, para poder aplicarla en un proceso automatizado de validación (Barlas, 1996).

Pese a todo, el propio autor reconoce que la estadística es necesaria a la hora de comprobar la precisión de la predicción, que resulta del comportamiento del modelo, una vez que la validez de su estructura ya ha quedado establecida. Por tanto, y tal y como se expondrá más adelante, la significación estadística es útil en su propósito de establecer la bondad de la habilidad predictora del modelo; siendo esto una cuestión de exactitud y de calibración, más que de validez. Debe señalarse no obstante, que los tests estadísticos empleados a la hora de evaluar el comportamiento de un modelo de dinámica de sistemas difieren de los tests estadísticos considerados como clásicos.

Además de las dificultades apuntadas, Barlas (1996) y Kleijnen (1995) resaltan la relativa al establecimiento de un nivel de significación para el test estadístico. El test de significación estadística consiste en anticipar una hipótesis nula, la cual será rechazada si la discrepancia entre lo que tal hipótesis predice, y los datos reales, es estadísticamente significativa; pues ello significaría, que tal discrepancia no puede ser atribuida a la mera casualidad.

Para llevar a cabo este test es necesario establecer un nivel de discrepancia, por encima del cual, la hipótesis nula será rechazada. Esto implica aceptar cierta probabilidad de error, puesto que ese nivel de discrepancia, o de significación, es fijado arbitrariamente —normalmente asumirá un valor del 5%—. Sin embargo, es ese nivel el que determina la zona de rechazo de la hipótesis nula o, lo que es lo mismo, la probabilidad de rechazar una hipótesis nula que sin embargo es verdadera —error tipo I, error α , o riesgo del modelador—. Pero además, se corre el peligro adicional de incurrir en otro tipo de error —error tipo II, error β , o riesgo del usuario del modelo—, que supone la aceptación de una hipótesis nula que es falsa.

Así pues, una vez fijado el nivel de significación, se pueden cometer dos tipos de errores: rechazar un modelo que es válido, o aceptar un modelo que no es válido. La solución a este problema no es sencilla, pues si se elige un nivel de significación pequeño, se reduce la probabilidad de cometer un error tipo I, pero se aumenta la probabilidad de incurrir en un error tipo II; mientras que un nivel de significación elevado, produce el efecto contrario. Para cada tipo de problema que se aborde, el coste de estos dos tipos de errores es distinto; y por tanto, en caso de que tales costes sean conocidos, debe buscarse un nivel de significación óptimo, que minimice el coste total de comisión de ambos tipos de errores⁴. No obstante, la estimación de tales costes es difícil —cuando no imposible— de efectuar. De ahí que las distintas escuelas hayan propuesto diversas soluciones a este problema:

- a) La *lógica positivista* no vincula la validación del modelo al propósito del mismo. El nivel de significación elegido marca la zona de rechazo o de aceptación del modelo, desde un punto de vista totalmente objetivo y, por tanto, la veracidad o falsedad del modelo.
- b) La *filosofía holística*, al igual que el *instrumentalismo*, considera que la validez depende del propósito del modelo; por lo que el nivel de significación debería depender igualmente de tal propósito. Es necesario por tanto, considerar los costes que conlleva para el modelador y el usuario, el aceptar un modelo inválido, frente a los de rechazar uno válido. Se introducen así, en el proceso de validación, juicios de valor; puesto que el modelo será aceptado siempre y cuando se considere que es más beneficioso utilizarlo, que no hacerlo.

⁴ En aquellos modelos contruidos para comprobar teorías, la veracidad de éstas debe ser probada objetivamente con independencia de los costes de comisión del error tipo I o tipo II. Por tanto, en este caso, es necesario usar tests de significación estadística para rechazar o aceptar el modelo. No obstante, la filosofía holística, considera que la confirmación de una teoría se obtiene a través de un proceso gradual; por lo que no pueden ser aplicadas las nociones de verdad absoluta y de objetividad; puesto que esta última es mal interpretada, al ser considerada como una visión desapasionada del tema objeto de estudio, lo cual no es aplicable en la construcción de modelos, pues estos siempre incluyen el punto de vista del modelador. De hecho, el test de significación estadística es muy poco utilizado en las ciencias sociales, incluso cuando los problemas técnicos señalados anteriormente, se encuentren resueltos. Pues la aplicación de este test en las ciencias sociales tiende más a buscar asociaciones empíricas, que hipótesis explicativas, contribuyendo esto a empobrecer la teoría (Balas, 1996).

Finalmente, una tercera dificultad es la relativa a la formulación de la hipótesis nula; puesto que generalmente, ésta asume que los datos obtenidos del modelo, son idénticos a los reales. Por este motivo, el test de significación estadística sólo es útil, si se rechaza la hipótesis nula —si el modelo no es válido—, siendo este el objetivo perseguido en los tests estadísticos clásicos, los cuales buscan legitimar como válida la hipótesis alternativa. Sin embargo, tal planteamiento no es aplicable cuando el proceso de validación pretende demostrar que no existen diferencias significativas entre el modelo elaborado y el sistema real; pues ello conduciría a aceptar como cierta, la hipótesis nula; siendo en este caso muy débil —de acuerdo con la teoría estadística— el resultado del tests de significación estadística.

4. VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

A la hora de validar un modelo de dinámica de sistemas no existe un único test que confirme su validez (Forrester y Senge, 1980). Esta postura se encuadra dentro de la lógica instrumentalista que vincula la validez de un modelo con su utilidad. Así la validez debe ser vista como la utilidad del modelo con respecto a un propósito. Este planteamiento sugiere por tanto, la concepción de la validación como el proceso de establecer confianza en la solidez y la utilidad del modelo. Ese proceso se inicia cuando el modelador empieza a confiar en que el modelo se comporta de forma plausible, generando los síntomas del problema o los mismos modos de comportamiento observados en el sistema real. A partir de aquí, el proceso de validación comienza a extenderse, hasta involucrar a personas no directamente involucradas en la construcción del modelo. Debe incluir por tanto, al proceso de comunicación; pues mediante éste, el modelador transmite las bases de su confianza en el modelo a la audiencia objetivo⁵.

Esta visión de la validez —estrechamente ligada al propósito del modelo— es considerada por Forrester y Senge (1980), como coherente con la visión del conocimiento científico como conocimiento público, el cual no es sinónimo de conocimiento publicado.

La validación de un modelo de dinámica de sistemas es complicada; pues generalmente son muchos los agentes vinculados al mismo, cada uno de los cuales posee sus propios objetivos y criterios, a la hora de evaluar dicho modelo. Así por ejemplo, para el investigador, un modelo debe ser considerado como útil, si genera señales, dentro de la estructura del sistema real, que permitan hacer predicciones correctas y estimular cuestiones significativas para futuros desarrollos. No obstante, debe tenerse siempre presente que el objetivo último de la validación, en dinámica de sistemas es transferir confianza en la solidez del modelo y en su utilidad como una herramienta política. La noción de validez como equivalente de confianza, entra en conflicto con la idea de igualar validez con verdad absoluta. Sin embargo, Forrester y Senge (1980) consideran que su interpretación es adecuada; puesto que no existe ningún método que pruebe la absoluta corrección con la que el modelo representa a la realidad.

⁵ A menos que el modelador pueda transferir su confianza en el modelo, la potencialidad de éste para aumentar el entendimiento sobre el sistema y guiar políticas más efectivas, no se realizará (Forrester y Senge, 1980).

En cualquier caso, la validez es un término relativo por dos motivos: (1) porque para modelizar la realidad casi siempre existen múltiples modelos entre los que hay que elegir aquel de mayor confianza y (2) porque el modelo sólo puede ser correctamente valorado en relación a un propósito particular, es decir, es inútil tratar de establecer que un modelo es útil, sin especificar para que propósito va a ser usado.

Teniendo como norte, a la hora de determinar la validez de un modelo de dinámica de sistemas, cuál es su propósito, Bell y Senge (1980), recomiendan seguir un planteamiento popperiano con el fin de obtener una base sólida que permita descubrir errores en el modelo y fomente la búsqueda de mecanismos causales, esenciales para el análisis de las políticas de cara a su influencia sobre el comportamiento del sistema. La corroboración de la teoría recogida en un modelo de dinámica de sistemas, requiere que éste pase una serie de tests con objeto de descubrir así, los errores que pudieran contenerse en el modelo. Dichos tests se aplicarán sobre los “*points of contact*”, o puntos de contacto entre la teoría y la realidad. En tales puntos de contacto, no debe buscarse la correlación entre los datos reales y los generados por el modelo; pues ello únicamente garantiza su relación actual, pero no permite generalizar tal relación a otras situaciones semejantes, ni utilizar el modelo para predecir la evolución futura del sistema.

De forma semejante, Bell y Senge (1980) señalan que los tests estadísticos, no son válidos para asegurar la refutabilidad del modelo de dinámica de sistemas; pues no dan una explicación causal del error detectado, ya que si bien ayudan a identificar las discrepancias existentes, no permiten explicar porqué existen las brechas entre la actuación real y la modelada, y tampoco proveen de un plan de actuación para cerrar esas brechas (Chiesa, *et al.*, 1996). Por tanto, la comprobación estadística debería considerarse como condición necesaria, pero no suficiente para validar el modelo.

De conformidad con lo expuesto, cabe aseverar que no es adecuada la aplicación de técnicas econométricas a la hora de validar un modelo de dinámica de sistemas; ya que mediante éste, se busca el porqué del comportamiento y no, únicamente, la reproducción de comportamientos pasados (Sterman, 1987). Además, incluso cuando por medio de técnicas econométricas fuera posible representar la relación existente entre dos variables, en las mismas no se recogería el porqué de ese retraso, ni su naturaleza (Bell y Senge, 1980).

Por eso y, teniendo en cuenta que únicamente se pueden proponer mejoras en un sistema, si se conoce bien su estructura y su funcionamiento, en la dinámica de sistemas se incorporan los principales atributos del proceso de toma de decisiones, por medio de la estructura de bucles de realimentación del sistema, los cuales determinan el comportamiento de éste, aún y cuando no detallen las reglas de decisión (Sterman, 1987). De ahí, que aún cuando son numerosas, las críticas recibidas por esta causa, la atención deba centrarse, en la reproducción de los patrones de comportamiento del sistema, y no en la comprobación de la identidad existente, entre los datos puntuales obtenidos en la simulación, y los reales.

Finalmente, señalar que la búsqueda de explicaciones causales proporciona la ventaja adicional de

poner de manifiesto relaciones no directamente observables cuando se analiza el comportamiento global del sistema, porque las mismas sólo son perceptibles bien bajo condiciones extremas, o bien cuando se estudian de forma aislada dentro del sistema⁶. El empleo de la dinámica de sistemas en esas investigaciones, permite poner de manifiesto tales relaciones; ya que mediante su utilización es posible llevar a cabo análisis de comportamientos en condiciones “Ceteris Paribus”, al tiempo que especificar relaciones no lineales entre las variables, por medio de la construcción de tablas-función.

La validación de un sistema experto —procedimiento que utiliza un programa de ordenador para, basándose en el conocimiento que se posee, resolver problemas dentro de un cierto campo⁷— comprende tres aspectos (Ram y Ram 1996): (α) validación de la metodología empleada para obtener información sobre el sistema, (β) validación de la actuación del modelo y (γ) validación de la utilidad del modelo.

a) Validación de la metodología empleada para obtener información sobre el sistema

La obtención del conocimiento sobre de la estructura y los procesos de toma de decisiones que imperan en el sistema, debería realizarse empleando múltiples fuentes; pues de esta forma el modelador poseería un conocimiento más amplio a cerca del problema, lo que a su vez, favorecería su entendimiento sobre el punto crucial de éste, así como la toma en consideración de las diferentes perspectivas, terminologías y elementos que los distintos agentes implicados en el problema tienen a cerca de éste (Ram y Ram, 1996). Se produciría así, “*validación conceptual*” del modelo (Oral y Kettani, 1993); por medio de la cual se evalúa lo apropiado del proceso de obtención de datos y el uso correcto de las capacidades cognoscitivas de los agentes implicados.

Se trata pues, en definitiva, de abordar el problema de obtención de datos. Para ello pueden emplearse diversos métodos, tales como entrevistas estructuradas o no estructuradas con los participantes en el sistema que está siendo modelado, análisis, observaciones “in-situ”, así como otros métodos indirectos (Ram y Ram, 1996). En cualquier caso, para la elaboración de un modelo, son fundamentales, tres tipos de datos (Oral y Kettani, 1993):

⇒ *Esquemas mentales de los agentes implicados en el problema*

Estos constituyen la categoría de datos más rica de las tres; ya que en ellos se incluye la experiencia, el conocimiento, el juicio, las percepciones y la creatividad de los individuos, siendo por tanto necesario un proceso, de incluso varios años de duración, para su formación.

⇒ *Datos escritos*

⁶ Bell y Senge, en su artículo de 1980, justifican este hecho, poniendo como ejemplo, la explicación causal de Newton al movimiento de los planetas, al señalar, que ni el principio de inercia, ni el de gravitación, son observables de forma independiente, al impedirlo la acción de factores externos y la fuerza de gravedad de la Tierra.

⁷ Puede considerarse a la dinámica de sistemas como una clase del mismo.

Consisten en información tanto cualitativa como cuantitativa, que se transmite de forma escrita. Sin embargo, y a pesar de su fácil transmisibilidad y comprensión, son de un valor inferior a los anteriores; ya que presentan serias dificultades para capturar y reflejar la información global y dinámica, que encierran los anteriores.

⇒ *Datos numéricos*

Estos tan sólo incluyen información cuantitativa. De ahí, que puedan ser considerados como un subconjunto de los datos escritos. Sin embargo, dentro de ellos, requiere especial atención el correcto establecimiento de los valores de los parámetros a incluir en el modelo a elaborar.

Así, Graham (1980) establece que en dinámica de sistemas, los datos que se precisan caen dentro de dos amplias categorías: *datos por debajo del nivel de agregación*⁸ de las variables del modelo —datos desagregados— y *datos al nivel de agregación* de dichas variables —datos agregados—. Los primeros son información a cerca de acontecimientos y elementos, que una vez agregados se corresponden con variables del modelo. No obstante, tal agregación nunca debería efectuarse sobre la base de algún informe o recuento efectuado por un agregado estadístico.

Es pues evidente, que la elección de las variables del sistema determinará los datos que se precisan y la necesidad o no, de agregar los mismos. Las variables en los estudios de dinámica de sistemas son elegidas, tanto porque pueden reproducir las causas de los problemas que están siendo analizados, como porque pueden ser reconocidas y validadas por los participantes en la construcción del modelo. Esta consideración favorece el uso de variables a un nivel de agregación próximo al nivel observable por los individuos; sin que sea preciso detenerse en consideraciones sobre si los mismos están o no, estadísticamente disponibles⁹.

En todo caso, hay que tener presente, que la obtención de información, y la determinación de los datos a utilizar debe realizarse —al igual que la validación del modelo— para un propósito específico (Graham, 1980). Así pues, la utilización de los datos obtenidos en un modelo o en otro —aun cuando este segundo analice un tema semejante—, debe efectuarse con sumo cuidado; pues podría dar lugar al empleo de datos inconsistentes con la definición y el objetivo del modelo.

b) Validación de la actuación del modelo

Consiste en la comprobación formal de la actuación del modelo. Comprende tres tareas:

⁸ El nivel de agregación que se precisa, está siempre estrechamente relacionado con el modelo en construcción. Así, datos que se encuentran por debajo del nivel de agregación para un modelo, pueden ser datos al nivel de agregación para otro (Graham, 1980).

⁹ Tal es el caso de objetivos y presiones psicológicas, las cuales son raramente medidas, pudiendo sin embargo, ser fundamentales, en la descripción del modelo a cerca de porqué surge un problema.

1. Establecer la validez del conocimiento utilizado para elaborar el modelo.
2. Identificar los tipos de problemas que puede ayudar a resolver, así como la calidad de las soluciones.
3. Chequear si inputs similares generan resultados similares.

Se encuadran dentro de esta tarea, los tests tanto de estructura como de comportamiento, que se analizarán con profundidad en el siguiente apartado.

c) Asegurar la utilidad del modelo

Esta actividad es denominada por Oral y Kettani (1993) como “*validación a cerca de la idoneidad del modelo*”. Tiene por objeto ayudar a los usuarios potenciales a aceptar o rechazar el modelo. Debe analizarse por medio de ella, tanto la representatividad como la utilidad, el coste y las sinergias que conlleva el empleo del modelo para sus usuarios. Éstos deben estar convencidos de que el modelo permite ofrecer soluciones al problema, proporcionando mejoras importantes frente a otras técnicas. Fomentar esa creencia es labor del modelador; quien debe ser capaz de transmitir a terceros su grado de confianza en el modelo.

4.1. Tests de validación de un modelo de Dinámica de Sistemas

Los tests que con carácter general se emplean a la hora de constatar la validez del modelo generado mediante la dinámica de sistemas —FIGURA 1— deben ser aplicados en la secuencia recogida en la FIGURA 2. En ésta se pone de manifiesto como en primer lugar, deben aplicarse los test de validación estructural para pasar, posteriormente, a la utilización de los tests de validación del comportamiento. Pues sólo cuando el modelo pasa con éxito los tests estructurales, se puede tener confianza en la habilidad del mismo para reproducir comportamientos pasados del sistema y generar recomendaciones¹⁰. Esta habilidad del modelo añade a su vez, credibilidad sobre su utilidad para proponer políticas alternativas que mejoren la actuación del sistema.

¹⁰ Barlas (1989) señala que un modelo con errores estructurales es capaz de reproducir con gran exactitud comportamientos del sistema; de ahí la importancia de realizar en primer lugar los tests estructurales. Por su parte, las dificultades de un modelo estructuralmente sólido, para reproducir con exactitud los comportamientos del sistema, se encuentran en el hecho de que algún parámetro o input exógeno, ha sido mal representado en el modelo; siendo esto, más fácil de percibir y corregir que cualquier error estructural.

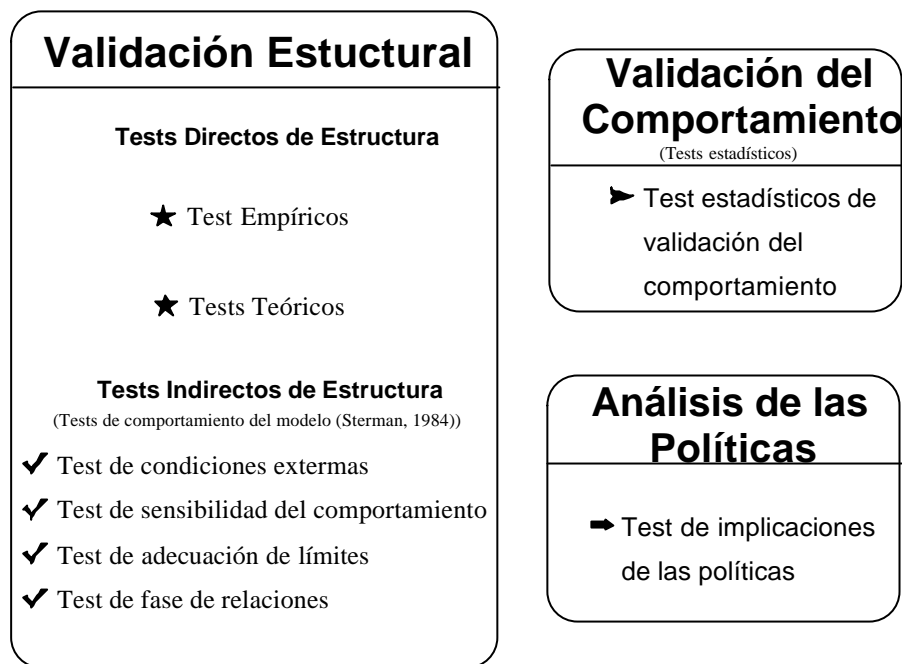


FIGURA 1. TESTS DE VALIDACIÓN

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los *tests estructurales*, cabe diferenciar entre:

⇒ Tests directos de estructura: éstos determinan la validez del modelo, por medio de la comparación directa de éste con el conocimiento a cerca de la estructura del sistema. Puede establecerse una subdivisión que distingue entre: tests teóricos o empíricos, en función de que se trate de tests que comparan la estructura del modelo con el conocimiento teórico sobre el sistema, o con información cuantitativa o cualitativa obtenida directamente del sistema que está siendo modelado.

⇒ Tests indirectos de estructura: establecen de forma indirecta la validez de la estructura del modelo. Presentan como ventaja, respecto de los anteriores, el hecho de ser más adecuados de formalizar y cuantificar. Mediante su empleo, se valora la adecuación de la estructura del modelo, basándose en la capacidad del mismo para reproducir comportamientos pasados del sistema. No obstante, debe tenerse presente, que el comportamiento de un sistema es resultado de la confluencia entre las fuerzas derivadas de las relaciones entre los elementos de su estructura, y las condiciones imperantes en el entorno en ese momento; de ahí, que una reproducción del comportamiento del sistema dato por dato, es prácticamente imposible, aun cuando el modelo sea estructuralmente adecuado (Stermán, 1984). Por consiguiente, los tests indirectos de estructura, deben poner el énfasis en analizar la habilidad del modelo para reflejar patrones de comportamiento observados en la realidad y no para reproducir una serie de datos puntuales (Barlas, 1996).

En segundo lugar, por medio de los *tests de validación del comportamiento*, se aplicarán una

serie de medidas estadísticas, con objeto de analizar el porqué de las diferencias percibidas entre los datos históricos y los obtenidos por medio de la simulación del modelo.

Finalmente con los *tests de implicaciones de las políticas*, se intenta verificar si la respuesta de un sistema a los cambios en las políticas recomendadas por el modelo, corresponden a las predicciones obtenidas a través de éste (Forrester y Senge, 1980).

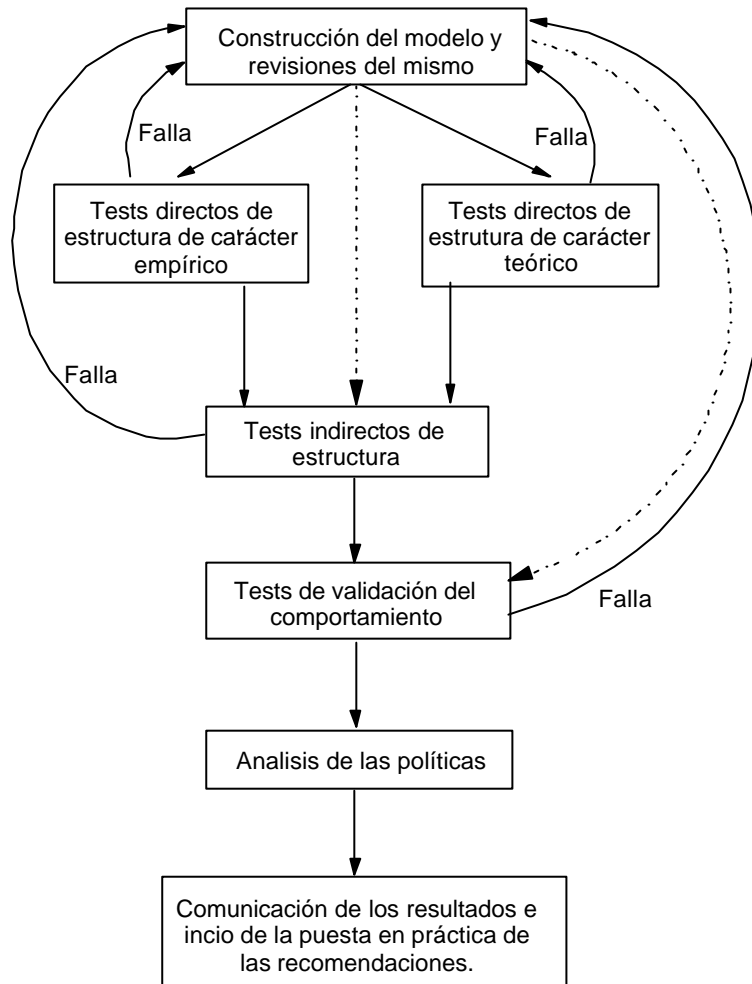


FIGURA 2¹¹. SECUENCIAS EN LA VALIDACIÓN DEL MODELO

Fuente: Adaptado de Barlas, (1996)

5. CONCLUSIONES

A lo largo de las páginas precedentes, se ha intentado justificar, cómo las numerosas críticas efectuadas a la dinámica de sistemas, derivadas de la falta del empleo de técnicas cuantitativas —y en especial de carácter estadístico— a la hora de validar el modelo generado carecen de fundamento.

Por tanto es posible afirmar que a pesar de que todavía queda mucho camino por recorrer en la construcción de un armazón de técnicas de validación dinámica, actualmente la validación de todo modelo dinámico está plenamente garantizada mediante la aplicación de múltiples y muy variados tests —cualitativos y cuantitativos, teóricos y empíricos, directos e indirectos— aplicados con objeto de garantizar la validez del modelo dinámico; sin que el empleo de técnicas exclusivamente estadísticas tenga porqué conllevar un mayor carácter científico de las disciplinas que las emplean, frente a la dinámica de sistemas. Puesto que la verdadera prueba de la validez de un modelo reside en su habilidad para reproducir endógenamente comportamientos históricos del sistema real, por medio de una estructura y unos parámetros consistentes con el conocimiento que se posee sobre el modelo (Sterman, 1984).

6. BIBLIOGRAFÍA

BARLAS, Y. Y CARPENTER S.: «Philosophical roots of model validation: Two paradigms», *System Dynamics Review*, Vol. 6, No 2, 1990, pp. 148-166.

BARLAS, Y.: «Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models», *European Journals of Operational Research*, No 42, 1989, pp. 59-87.

BARLAS, Y.: «Formal aspects of model validity and validation in system dynamics», *System Dynamics Review*, Vol. 12, No 3, 1996, pp. 183-210.

BELL, J.A. Y SENGE, P.M.: «Methods for enhancing refutability in system dynamics modeling», *TIMS Studies in Management Sciences*, No 14, 1980, pp. 61-73.

CHIESA, V. COUGHLAN, P. Y VOSS, CHA.: «Development of a technical innovation audit», *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 13, 1996, pp. 105-136.

DÉRY, R., LANDRY, M. Y BANVILLE, C.: «Revisiting the issue of model validation in OR: An epistemological view», *European Journals of Operational Research*, No 66, 1993, pp. 168-183.

FORRESTER, J.W. (1961): *Industrial dynamics*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

FORRESTER, J.W. Y SENGE, P.: «Tests, for building confidence in system dynamic models». *TIMS Studies in Management Sciences*, No 14, 1980, pp. 209-228.

¹¹ Las dos vinculaciones discontinuas, denotan la posibilidad de saltar de una revisión del modelo, a los tests indirectos de estructura, o a los tests de validación del comportamiento, siempre y cuando, la revisión efectuada al modelo, no haya sido de contenido estructural.

GAULT, R.: «The metaphysics OR», *Journal of the Operational Research Society*, No 33, 1982, pp. 91-99.

GRAHAM, A.K.: «Parameter estimation in system dynamics modeling». *TIMS Studies in Management Sciences*, No 14, 1980, pp. 125-142.

KEINDORFE, G.B., LIAM O'NEIL Y GANESHAN, R.: «Validation in Simulation: Various Positions in the Philosophy of Science», *Management Science*, Vol. 44, No 8, 1998, pp. 1087-1099

KLEIJNEN, J.P.C.: «Verification and validation of simulation models» *European Journals of Operational Research*, No 82, 1995, pp. 145-162.

LANDRY, M. Y ORAL, M.: «In search of a valid view of model validation for operations research», *European Journals of Operational Research*, No 66, 1993, pp. 161-167.

LAW, A.M. Y KELTON, W.D. (1991): *Simulation Modeling and Analysis*. 2^a Ed. McGraw-Hill, New York.

MISER, H.J.: «A foundational concept of science appropriate for validation in operational research», *European Journals of Operational Research*, No 66, 1993, pp. 204-215.

ORAL, M. Y KETTANI, O.: «The facets of the modeling and validation process in operations research», *European Journals of Operational Research*, No 66, 1993, pp. 216-234.

RAM, S. Y RAM, S.: «Validation of expert systems for innovation management: Issues, methodology and empirical assessment», *Journal Product Innovation Management*, Vol. 13, No 1, 1996, pp. 53-68.

STARR, P.: «Modeling issues and decisions in system dynamics», *TIMS Studies in the Management Science*, No 14, 1980, pp. 45-59.

STERMAN, J.D.: «Appropriate summary statistic for evaluating the historical fit of system dynamics models», *Dynamica*, Vol. 10, Parte II, 1984, pp. 51-66.

STERMAN, J.D.: «Testing behavioral simulation models by direct experiment», *Management Science*, Vol. 33, No 12, 1987, pp. 1572-1592.