

DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL

3.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de la primera etapa del análisis de sistemas es desarrollar un modelo conceptual, o cualitativo, del sistema de interés (Figura 3.1). Una vez que hayamos definido claramente los objetivos del proyecto, los usamos como base para abstraer del sistema real aquellos componentes que son relevantes para abordar nuestras preguntas. A medida que vamos seleccionando ciertos componentes y excluyendo otros, vamos definiendo los límites del sistema de interés. Luego clasificamos los componentes del modelo de acuerdo con el rol específico que tienen en la descripción de la estructura del sistema, e identificamos las relaciones entre los componentes que generan la dinámica del sistema. Posteriormente representamos formalmente el modelo conceptual resultante usando un diagrama de cajas y flechas. Las cajas representan los puntos de acumulación de material, por ejemplo individuos, energía, biomasa o nutrientes, y las flechas representan las rutas a través de las cuales el material fluye en el sistema. Finalmente, describimos los patrones esperados del comportamiento del modelo por medio de gráficos que representan los cambios a lo largo del tiempo en los valores de las variables del sistema que consideramos más importantes.

Etapa I: Desarrollo del modelo

1. Definir los objetivos del modelo
2. Definir los límites del sistema de interés
3. Clasificar los componentes del sistema de interés
4. Identificar las relaciones entre los componentes del sistema
5. Representación formal del modelo conceptual
6. Describir los patrones esperados del comportamiento del modelo

**Figura 3.1. Pasos de la Etapa I del análisis de sistemas:
Desarrollo del modelo conceptual.**

En muchos aspectos el desarrollo del modelo conceptual es la etapa del análisis de sistemas que presenta el mayor desafío intelectual. La mejor base para tomar decisiones (las que a menudo son subjetivas) acerca de cuáles componentes debemos incluir en el modelo está dada por el conocimiento acerca del sistema real. La experiencia previa en el desarrollo de modelos de simulación también es una ventaja importante. Existen dos estrategias generales para identificar los componentes del modelo: una de ellas consiste en incluir pocos componentes y posteriormente añadir aquellos componentes críticos que inicialmente fueron omitidos; la otra consiste en incluir todos los componentes que podrían ser de importancia en la etapa inicial, para luego descartar aquellos que a nuestro parecer son superfluos. Teóricamente el resultado final de las dos estrategias debería ser un modelo conceptual con el grado mínimo de complejidad que nos permita abordar nuestros problemas. En la práctica es mejor comenzar con un modelo que sea lo más simple posible.

DEFINIR LOS OBJETIVOS DEL MODELO

Antes de comenzar con el desarrollo del modelo debemos definir claramente los objetivos en términos del problema que queremos resolver o de la pregunta que queremos responder. Las preguntas o problemas pueden surgir a partir de observaciones en el sistema real, como ocurre usualmente en el caso de las investigaciones científicas, o pueden ser impuestas por la necesidad práctica de evaluar diversos esquemas de manejo. La definición de los objetivos del modelo es un paso crucial en el desarrollo de éste. Dichos objetivos definen el marco conceptual para el desarrollo y evaluación y las bases para la interpretación de los resultados del modelo. Sin embargo, este paso frecuentemente recibe menos atención de la que su importancia amerita.

Frecuentemente la definición inicial de los objetivos es demasiado amplia como para resolverlos directamente y, por lo tanto, no resultan de mucha utilidad como guía para el desarrollo del modelo. Por ejemplo, el objetivo del modelo de la fluctuación del peso del animal presentado en el Capítulo 2 fue "entender el efecto de la temperatura sobre las fluctuaciones del peso de un animal". Este objetivo podría haber sido definido más específicamente como "determinar el efecto de los cambios en la respiración inducidos por la temperatura sobre las fluctuaciones del peso de un animal". La primera especificación del objetivo no indica nuestro interés por representar el efecto fisiológico que tiene la temperatura sobre la respiración y, por lo tanto, no nos ayuda a identificar el nivel de detalle que debemos incluir en el modelo. Como regla general, los objetivos que comienzan con "entender" deben definirse más específicamente.

DEFINIR LOS LÍMITES DEL SISTEMA DE INTERÉS

Este paso consiste en identificar aquellos componentes que deberían ser incluidos en el sistema de interés y aquellos que pueden ser excluidos. Este proceso es importante, ya que el modelo debería ser lo más simple posible, pero no debe excluir aquellos componentes cruciales para la solución de nuestro problema. Al revisar el modelo de simulación

presentado en la Figura 2.1, podemos ver que los únicos componentes incluidos en el sistema de interés son el peso del animal, el consumo, la tasa de consumo, la respiración, la tasa de respiración y la temperatura ambiental. Otros componentes potenciales del sistema como la precipitación, la cantidad de alimento disponible y el número de animales en la población se excluyeron, porque fueron considerados de menor importancia para la predicción de las fluctuaciones del peso del animal.

Obviamente, este paso en el desarrollo del modelo conceptual es un paso altamente subjetivo, y frecuentemente conduce a decisiones difíciles de tomar con respecto a los componentes que debemos incluir. La experiencia en el desarrollo de modelos nos ayuda a tomar estas decisiones; sin embargo, y en definitiva, las decisiones deben estar basadas en la información de mejor calidad que tengamos acerca del sistema en estudio. En el ejemplo de la Figura 2.1, la precipitación podría haberse excluido por considerarse irrelevante. Sin embargo, la exclusión de la cantidad de alimento disponible y el número de animales en la población tal vez no estuvo basada en evidencias que mostraran claramente que estas variables eran irrelevantes, sino en la suposición de que los efectos de estas variables serían irrelevantes en el rango de condiciones que se quería simular.

Supongamos que, después de reconsiderar el problema de la predicción del peso del animal, decidimos que la cantidad de alimento disponible sí tiene un efecto importante sobre el consumo, y que la variabilidad en la cantidad de alimento disponible y la temperatura deberían ser representadas en el modelo en función de la estación del año. En este caso deberíamos modificar los límites de nuestro sistema de interés para incluir el alimento disponible, como un componente del sistema que afecta la transferencia de material (consumo) que va desde la fuente de alimento a la variable peso del animal, e indicando la influencia de la estación del año sobre la disponibilidad de alimento y la temperatura ambiental (Figura 3.2). Los símbolos que estamos usando para representar diagra-

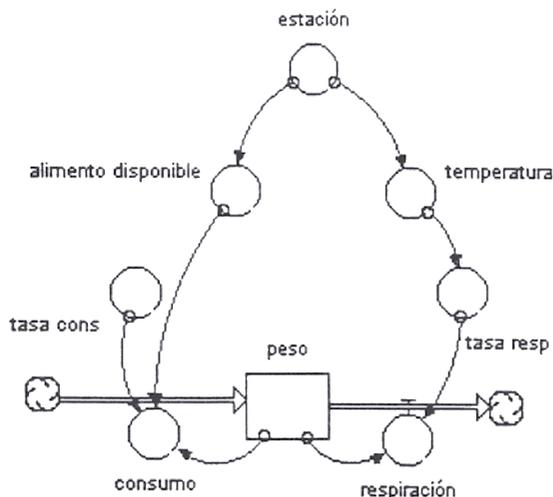


Figura 3.2. Modelo conceptual que representa la fluctuación del peso de un animal (Figura 2.1), modificado para incluir la representación del alimento disponible y la estación del año como componentes del sistema que afectan la fluctuación del peso.

máticamente los modelos conceptuales tienen un significado específico que definiremos más adelante; sin embargo, las figuras presentadas en esta sección (figuras 3.2, 3.3 y 3.4) se pueden interpretar informalmente sin distraernos de nuestro propósito actual). Supongamos, además, que no podemos predecir las fluctuaciones del peso de un animal individual sin considerar el número de animales en la población, debido a que la cantidad de alimento disponible está afectada por la densidad de la población. El número de individuos en la población es una función de las tasas de natalidad y mortalidad, las cuales, supongamos, son denso-dependientes. Nuevamente estaríamos modificando nuestro sistema de interés al incluir el número de individuos en la población como un componente del sistema que afecta la disponibilidad de alimento, y que a su vez depende de las tasas de natalidad y mortalidad denso-dependientes (Figura 3.3).

Otro aspecto importante en este paso es la identificación de los atributos o unidades de medida de los componentes de nuestro sistema de interés. En algunos casos, podríamos estar interesados sólo en un atributo del sistema. Consideremos el problema de predecir la captura de un pez migratorio en un área de pesca localizada en la ruta que sigue el pez desde el océano al sitio de desove. Supongamos que todos los peces son del mismo tamaño cuando pasan por el área de pesca y que no existe mortalidad natural durante la migración al área de desove. En este caso podríamos establecer los límites del sistema como aquellos indicados en la Figura 3.4. Nuestro interés se concentra sólo en el número de peces en el área de pesca y en el número de peces capturados mediante una serie de esquemas de manejo. El reclutamiento de peces en el área de pesca depende de la estación del año. La migración al área de desove depende de la estación del año y del

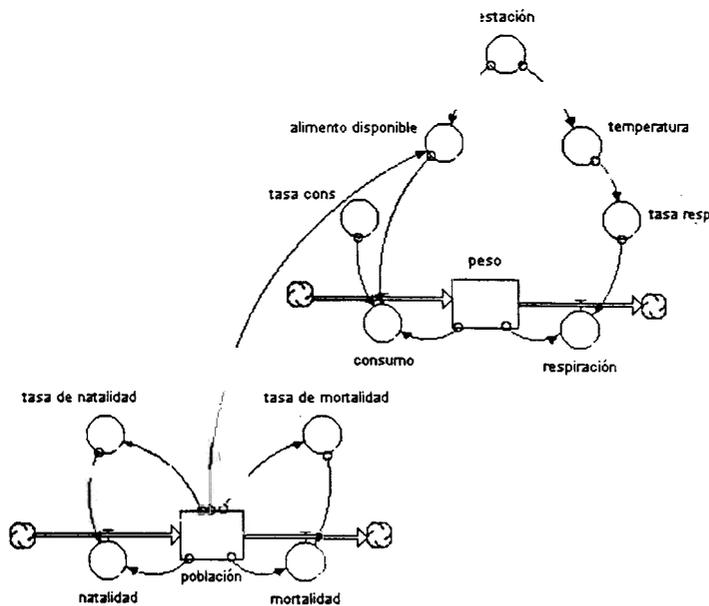


Figura 3.3. Modelo conceptual que representa la fluctuación del peso de un animal (Figura 3.2 y Figura 2.1), modificado para incluir la representación del número de animales en la población, como un componente del sistema que afecta la disponibilidad de alimento y que depende de las tasas de natalidad y mortalidad denso-dependientes.

número de peces en el área. La tasa de mortalidad por pesca depende del número de peces en el área y de las restricciones impuestas para la captura en cada esquema de manejo. La descripción del sistema es univariada, ya que estamos interesados sólo en el número de peces que pasa por el sistema.

En otros casos podría ser necesario monitorear varios atributos de un sistema en forma simultánea. Por ejemplo, podríamos estar interesados en la dinámica poblacional de una especie en particular, pero esta dinámica se podría representar en términos de varios atributos de la población: el número de individuos, la biomasa total o el contenido total de energía. Además, es posible que los componentes del sistema tengan más de un atributo en los que estamos interesados. Por ejemplo, en la Figura 3.2, nuestro interés en el componente animal del modelo era el número de *g*, pero la temperatura fue monitoreada en términos de °C. En la versión del modelo en la que incluimos la representación del número de animales en la población (Figura 3.3), aumentamos aún más la dimensionalidad de nuestra descripción del sistema.

3.4 CLASIFICAR LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE INTERÉS

Una vez que hayamos definido los límites del sistema, identificando los componentes que se deben incluir y los que se deben excluir, y al identificar los atributos de los componentes del sistema de interés, procedemos al tercer paso del desarrollo del modelo conceptual. Este paso en el desarrollo del modelo conceptual consiste en clasificar los componentes del sistema de interés, varios de los cuales pueden tener funciones diferentes en el modelo. Estos componentes se pueden clasificar en al menos siete categorías fundamentalmente diferentes: (1) variables de estado, (2) variables externas, (3) constantes, (4) variables auxiliares, (5) transferencias de material, (6) transferencias de información y (7) fuentes y sumideros (Forrester 1961, Innis 1979, Grant 1986).

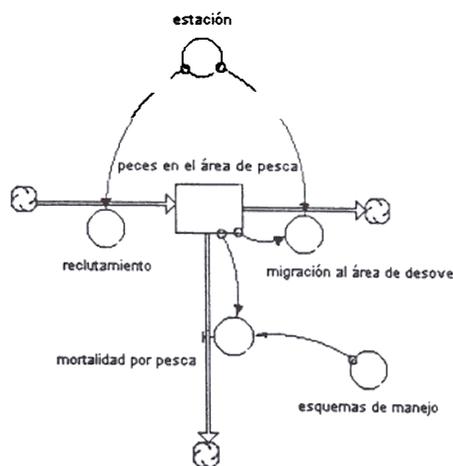


Figura 3.4. Modelo conceptual que representa la captura de un pez migratorio en un área específica de pesca en el marco de diferentes esquemas de manejo.

3.4.1 Variables de estado

Las variables de estado (Figura 3.5) representan puntos de acumulación de material en el sistema. Si estuviéramos interesados en desarrollar un modelo del flujo energético en un ecosistema, podríamos incluir tres variables de estado para representar la energía contenida en las plantas, en los herbívoros y en los carnívoros (Figura 3.6). En la versión del modelo de la fluctuación del peso presentado en la Figura 3.2, la variable de estado es el peso del animal (en g). En una versión posterior, incluimos una nueva variable de estado para representar la densidad de animales en la población (en el número de individuos/ha) (Figura 3.3). En el modelo que predice la captura de un pez migratorio (Figura 3.4), la única variable de estado es el número de peces en el área de pesca y corresponde al único punto de acumulación de "material" en el sistema.

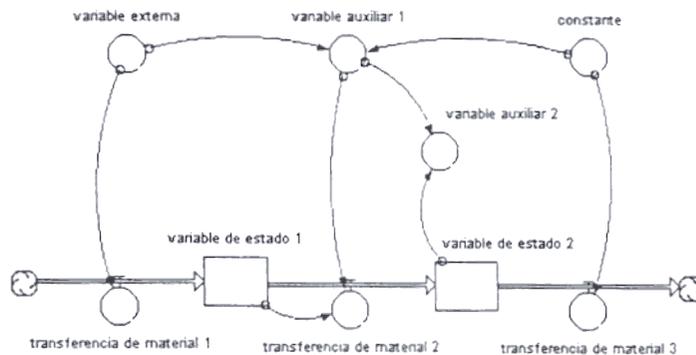


Figura 3.5. Símbolos usados para construir el diagrama del modelo conceptual (High Performance Systems, Inc. 1996) indicando todas las conexiones permitidas.

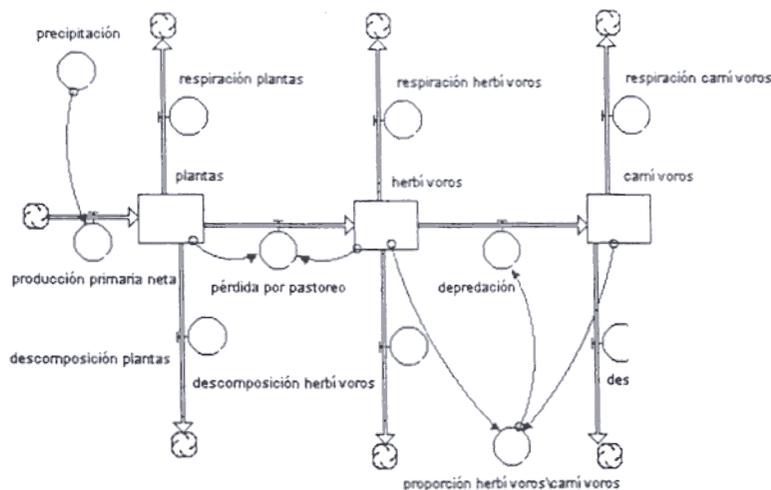


Figura 3.6. Modelo conceptual que representa el flujo de energía en un ecosistema.

Variables externas

Las variables externas (Figura 3.5) afectan el sistema, pero no están afectadas por el resto del sistema. Por ejemplo, si quisiéramos representar la transferencia de energía del sol a las plantas en función de la precipitación (Figura 3.6), nos daríamos cuenta de que la precipitación no está afectada por las plantas ni por ningún otro componente del sistema. La estación del año es una variable externa en el modelo de la fluctuación del peso (figuras 3.2 y 3.3) y en el modelo del pez migratorio (Figura 3.4). En este último, la estación del año afecta el reclutamiento y la migración entre las áreas de pesca y desove, pero éstos, obviamente, no afectan la estación del año. En el modelo de la fluctuación del peso, la estación del año afecta el consumo y la respiración (indirectamente por medio del alimento disponible y de la temperatura ambiental --ambas son variables auxiliares que explicaremos próximamente), pero éstos no afectan la estación del año. Mientras algunas variables se expresan en unidades de medida específicas, como es el caso de la variable externa precipitación (mm o cm) en la Figura 3.6, otras se expresan sin unidades. La estación del año, por ejemplo, frecuentemente se representa con valores 1, 2, 3, etc. para indicar enero, febrero, marzo o el primer, segundo, tercer cuatrimestre del año, etc. (La forma en que funciona esta representación se comprenderá más claramente, cuando discutamos el desarrollo del modelo cuantitativo en el Capítulo 4.).

Constantes

Las constantes (Figura 3.5) corresponden a valores numéricos que describen aquellas características del sistema que no cambian en ninguna de las condiciones simuladas por el modelo. Los coeficientes que aparecen como parte de las ecuaciones del modelo, como la tasa de consumo en el modelo original de la fluctuación del peso (Figura 3.2), son ejemplos comunes de lo que se entiende por constantes. Factores tales como la temperatura ambiental y la precipitación, que comúnmente se representan como variables externas, también se podrían representar como constantes, si es que no cambian durante el transcurso de una simulación.

3.4.4 Variables auxiliares

Las variables auxiliares se crean para representar cálculos intermedios realizados para determinar el valor de alguna otra variable, y representan conceptos que queremos identificar explícitamente en el modelo. Las variables auxiliares también se usan para representar el resultado final de cálculos de interés en nuestro modelo. Por ejemplo, supongamos que queremos representar la transferencia de energía desde herbívoros a carnívoros en función del número de herbívoros y el número de carnívoros. La proporción herbívoros/carnívoros representa no sólo un paso intermedio en el cálculo de la transferencia de energía de los herbívoros a los carnívoros sino que también representa una variable importante para comprender los resultados de nuestro modelo. En este caso deberíamos representar la proporción herbívoros/carnívoros como una variable auxiliar (Figura 3.6).

En el modelo de la fluctuación del peso del animal (figuras 3.2 y 3.3), tanto el consumo como la respiración del animal están afectados por la estación del año (variable externa). Sin embargo, ambas variables se ven afectadas de diferente forma: el efecto de la estación del año sobre el consumo se debe a los cambios estacionales en la cantidad de alimento disponible, mientras que el efecto de la estación del año sobre la respiración se debe a los cambios en la temperatura ambiental. Para representar explícitamente esta diferencia, creamos las variables auxiliares alimento disponible y temperatura ambiental, las que actúan como intermediarias entre los efectos de la estación del año sobre el consumo y la respiración, respectivamente. Como una versión alternativa del modelo representado en la Figura 3.2, si no hubiéramos querido destacar la relación entre la variación estacional del alimento disponible y la temperatura ambiental, podríamos haber omitido la representación de la variable externa estación del año. En este caso podríamos haber representado el alimento disponible y la temperatura ambiental como variables externas, ya que ninguna de ellas está afectada por el resto del sistema. En el modelo presentado en la Figura 3.3, también se podría haber representado la temperatura ambiental como una variable externa (sin relacionarla con la estación del año), pero el alimento disponible no puede ser representado como una variable externa, ya que está afectado por otro componente del sistema (la variable de estado densidad de la población).

3.4.5 Transferencias de material e información

Una transferencia de material (Figura 3.5) representa el movimiento de material durante un intervalo de tiempo específico. Este movimiento puede ser entre (1) dos variables de estado, (2) una fuente y una variable de estado o (3) una variable de estado y un sumidero. (Las fuentes y los sumideros se definen en la próxima sección).

En el modelo que representa el flujo de energía (en kcal/semana) a través de la cadena trófica en un ecosistema, la energía se transfiere de las plantas a los herbívoros (pérdida por pastoreo) y de los herbívoros a los carnívoros (depredación) (Figura 3.6). En el caso del modelo de la fluctuación del peso, a medida que el animal aumenta de peso (en kg/día), la biomasa se transfiere de la fuente de alimento al animal (consumo) y luego al sumidero de la respiración (Figura 3.2). En el modelo que representa la captura de un pez migratorio, la llegada de peces al área de pesca (reclutamiento) y su salida de esta área (migración al área de desove) representan la transferencia o el movimiento de individuos en el sistema (Figura 3.4). Cabe destacar que las unidades de medida asociadas a las transferencias de material siempre incluyen una dimensión temporal, por ejemplo por hora, por día, por año, etc.

Las transferencias de información representan el uso de información sobre el estado del sistema para controlar el cambio de estado del sistema (Figura 3.5). Por ejemplo, supongamos que queremos representar la transferencia de energía desde las plantas a los herbívoros en función del número de herbívoros y de la cantidad de plantas (Figura 3.6). En términos de la transferencia de información, necesitamos información acerca del contenido energético, en kcal, de los herbívoros y de las plantas en el sistema para realizar el cálculo de la transferencia de material (pérdida por pastoreo) (en kcal/intervalo de tiempo) entre las variables de estado plantas y herbívoros. En el modelo del pez migratorio,

para calcular la mortalidad por pesca necesitamos información acerca del número de peces en el área de pesca (variable de estado) e información acerca del esquema de manejo (variable externa) (Figura 3.4).

Fuentes y sumideros

Las fuentes representan puntos de origen del material que entra al sistema y los sumideros representan los puntos de salida de material del sistema (Figura 3.5). Por definición, no nos interesa el nivel de acumulación de material en las fuentes o en los sumideros. Por ejemplo, sabemos que la energía entra a un ecosistema al ser transferida del sol a las plantas, pero no nos interesa la cantidad de energía en el sol (fuente de energía solar) (Figura 3.6). De la misma forma, sabemos que la energía que fluye a través de la cadena trófica se pierde por la respiración de las plantas, los herbívoros y los carnívoros, y debido al proceso de descomposición, pero posiblemente no estemos interesados en el nivel de acumulación de la energía respirada (sumidero de respiración), o en la energía en los descomponedores (sumidero de descomposición) (Figura 3.6).

IDENTIFICAR LAS RELACIONES ENTRE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

El cuarto paso en el desarrollo del modelo conceptual consiste en identificar, entre los componentes del sistema, las relaciones que son de interés. Existen dos formas en que los componentes del sistema pueden estar relacionados: a través de transferencias de material o mediante transferencias de información. Las transferencias de material pueden tener origen en las fuentes o en las variables de estado y pueden entrar a las variables de estado y a los sumideros (Figura 3.5). Todas aquellas variables de estado, fuentes y sumideros que estén conectadas por transferencias de material deben tener las mismas unidades de medida.

Cuando hablamos de transferencias de información dentro de un sistema, nos referimos a la información sobre el valor actual de las variables de estado, externas, auxiliares y de las constantes. La información se "transfiere" para ser usada, por ejemplo, para determinar la tasa a la cual ocurre una transferencia de material específica o para calcular otros resultados requeridos por el modelo. Las transferencias de información pueden originarse en las variables de estado, externas, auxiliares y en las constantes, y pueden entrar a las transferencias de material y a las variables auxiliares (Figura 3.5). Las unidades de medida de las variables que afectan una transferencia de material o una variable auxiliar dada no necesitan ser las mismas. Por ejemplo, la tasa de respiración en nuestro modelo de la fluctuación del peso (aquella que va desde la variable de estado peso del animal al sumidero de la respiración) está determinada por la información que llega desde el peso del animal (en g) y desde la temperatura ambiental (en °C).

3.5.1 Submodelos

Hemos visto que el sistema de interés se puede describir usando más de un atributo, pero que las transferencias de material pueden ocurrir sólo entre las variables de estado, las fuentes y los sumideros descritos por el mismo atributo. Esto nos conduce al concepto de submodelos dentro de un modelo.

Si quisiéramos representar la transferencia de tipos diferentes de material dentro de un sistema, debemos representar cada conjunto de transferencias asociadas a un material dado en un submodelo diferente. Varios submodelos, o conjuntos de transferencias de material, se pueden conectar a través de transferencias de información, pero no a través de transferencias de material. Dado que las transferencias de material en la Figura 3.3 incluyen tanto biomasa como individuos, y cada una sigue una ruta diferente dentro del modelo, éstas han sido representadas en diferentes submodelos conectados sólo por una transferencia de información.

Para visualizar mejor el concepto de submodelos, supongamos que queremos modificar el modelo de la fluctuación del peso (la versión de la Figura 3.2) para simular el balance de nitrógeno, además de la fluctuación del peso. Supongamos, además, que la incorporación del nitrógeno depende del contenido de éste en el alimento disponible y de la cantidad de alimento consumido, la cual sabemos que depende del peso del animal y de la tasa de consumo por unidad de peso y de la cantidad de alimento disponible. La salida de nitrógeno depende del peso del animal y del contenido de nitrógeno en el animal.

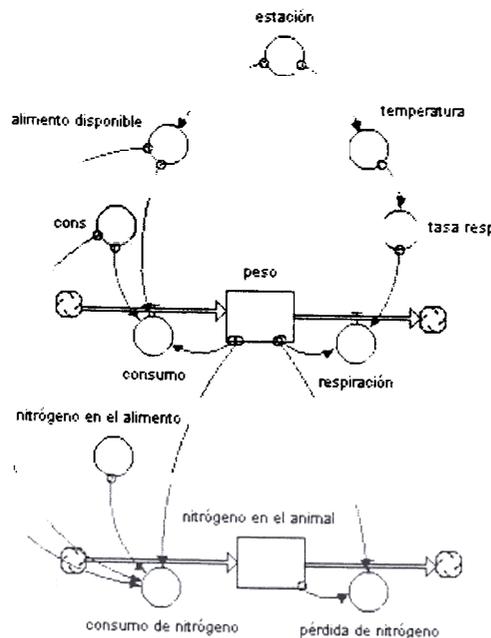


Figura 3.7. Modelo conceptual que representa la fluctuación del peso del animal (Figura 3.2), modificado para incluir el submodelo del balance de nitrógeno.

Para crear un modelo del nuevo sistema, podríamos agregar un nuevo submodelo que consiste de una variable de estado que representa la cantidad de nitrógeno en el animal (en g), una constante que representa el contenido de nitrógeno en el alimento disponible y transferencias de material que representan el consumo y la pérdida de nitrógeno (Figura 3.7). Para calcular la transferencia de nitrógeno de la fuente de nitrógeno a la variable de estado contenido de nitrógeno en el animal, debemos usar la información proveniente de la variable de estado peso del animal, de la constante tasa de consumo, de la variable auxiliar alimento disponible y de la constante contenido de nitrógeno en el alimento disponible. Para determinar la transferencia de material que representa la salida de nitrógeno de la variable de estado contenido de nitrógeno en el animal al sumidero de nitrógeno, usamos la información proveniente de las variables de estado peso del animal y contenido de nitrógeno en el animal, respectivamente (Figura 3.7). Nuestro modelo ahora tiene un submodelo para la fluctuación del peso del animal y un submodelo para la fluctuación del contenido de nitrógeno en el animal. Cada submodelo representa la dinámica de un atributo diferente del sistema de interés, y ambos están conectados sólo por transferencias de información, es decir, por la "red de información".

REPRESENTACIÓN FORMAL DEL MODELO CONCEPTUAL

Diagrama del modelo conceptual

La representación formal del modelo conceptual comúnmente se hace mediante un diagrama de cajas y flechas, tal como aquellos que hemos estado usando para ilustrar los ejemplos. Estos diagramas juegan un papel importante en el proceso del desarrollo del modelo, ya que proveen una visión global del problema y facilitan la comunicación entre las personas interesadas en un determinado sistema. A pesar de que este paso lo definimos como uno de los últimos de la primera etapa en el análisis de sistemas, y en cierta manera se puede considerar como el producto final de esta etapa, la representación del diagrama del modelo conceptual usualmente se realiza en forma simultánea con los pasos anteriores. El diagrama conceptual también provee un marco que facilita el desarrollo del modelo cuantitativo, ya que las ecuaciones se relacionan directamente con partes específicas del modelo conceptual. Existen varios medios para representar formalmente el diagrama del modelo conceptual. Los diagramas basados en los símbolos de la Figura 3.5 son particularmente útiles, porque son simples y flexibles y, además, porque se definen en términos idénticos a aquellos que hemos elegido para describir los componentes y las relaciones en el sistema de interés. Estos símbolos, que son los que usa el programa STELLA®II (High Performance Systems, Inc. 1996), son similares a aquellos sugeridos por Forrester (1961) para el desarrollo de modelos dinámicos de sistemas industriales, aunque el concepto de variable externa fue agregado por Innis (1979) para el desarrollo de modelos de sistemas ecológicos. Estos son los símbolos que usaremos en este libro.

3.7 DESCRIBIR LOS PATRONES ESPERADOS DEL COMPORTAMIENTO DEL MODELO

Generalmente, antes de correr el modelo por primera vez, ya tenemos algunas expectativas acerca del comportamiento del sistema, las cuales usualmente resultan del mismo conocimiento a priori en que nos basamos para desarrollar el modelo conceptual y de lo aprendido del sistema de interés durante el desarrollo del modelo conceptual. Para formalizar las ideas que tenemos acerca de los patrones esperados del comportamiento del modelo, comúnmente dibujamos gráficos en los cuales representamos los cambios a través del tiempo de los valores de las variables más importantes, a fin de (1) usarlos como puntos de referencia durante la evaluación del modelo y (2) asegurarnos que el modelo provee el tipo de predicciones que nos permita abordar nuestras preguntas directamente.

Durante la evaluación del modelo, se compara el comportamiento de éste con los patrones esperados de su comportamiento, antes de comparar formalmente las predicciones del modelo con los datos obtenidos en el sistema real. Dado que frecuentemente nuestro conocimiento sobre el sistema no se reduce sólo a los datos disponibles, queremos usar esta información más amplia para describir los patrones esperados para las variables más importantes. Esto nos permite realizar una evaluación más exhaustiva del comportamiento del modelo. Por ejemplo, debido a que conocemos la relación que existe entre la temperatura ambiental y la respiración en el modelo de la fluctuación del peso, podríamos predecir que el peso del animal mostrará una disminución monótona a medida que disminuye la temperatura, aunque no estemos seguros de la forma exacta de la curva.

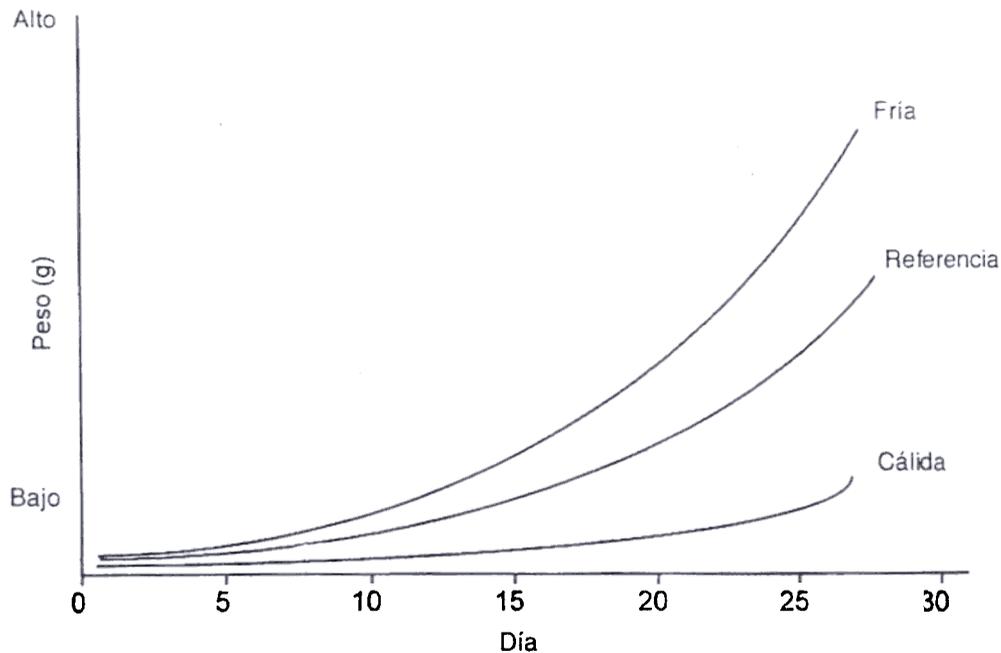


Figura 3.8. Patrones esperados de la fluctuación del peso de un animal (g) en el marco de las tres condiciones de temperatura: de referencia, más cálida y más fría.

Durante el uso del modelo, analizaremos e interpretaremos los patrones predichos por el modelo para las variables de interés en el marco de diferentes estrategias de manejo o condiciones ambientales para cumplir con nuestros objetivos. Por esta razón usualmente conviene describir los patrones esperados para aquellas variables que representan más directamente las hipótesis que queremos someter a prueba. En este sentido, los patrones esperados del comportamiento del modelo frecuentemente son una representación gráfica de los objetivos del modelo. Por ejemplo, retomando el objetivo del modelo de la fluctuación del peso "determinar el efecto de los cambios en la respiración inducidos por la temperatura sobre las fluctuaciones del peso de un animal", podríamos dibujar una serie de curvas que representen la fluctuación del peso en el marco de varios regímenes de temperatura (Figura 3.8).