



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

**Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación y
de la Construcción Naval**

TESIS DOCTORAL

**LA SEGURIDAD MARÍTIMA EN ESPAÑA. ACTUACIÓN EN UN
SUPUESTO DE EMERGENCIA DE UN FERRY**

Presentada por:

Máximo Azofra Colina

Directores:

Dr. D. Juan José Achútegui Rodríguez

Dr. D. Santiago Mendiola Gil

Santander, abril de 2001

CAPÍTULO IV

PLANIFICACIÓN. MODELOS DE GRAVEDAD

CAPÍTULO IV

PLANIFICACIÓN. MODELOS DE GRAVEDAD

IV.1. Generalidades sobre modelos. Función de los modelos en el proceso de planificación

El diccionario de la Lengua Española define modelo como toda estructura lógica o matemática que se utiliza en la ciencia para dar razón de un conjunto de fenómenos que guardan entre sí ciertas relaciones.

La física, y en concreto la mecánica, fue la primera disciplina que se constituyó como ciencia experimental y también la primera en utilizar modelos matemáticos sencillos. Así, el estudio del péndulo no se realiza sobre un péndulo real sino sobre un modelo.

El modelo lógico o matemático forma parte del método científico. El estudio de la realidad comporta la observación y el registro de los fenómenos. Con el modelo podemos generalizar estos datos de manera que se obtienen formulaciones intersubjetivas y a través de ellas se pueden deducir otras explicaciones.

Al construir un modelo es necesario reducir un fenómeno dado a sus líneas fundamentales, es decir se realiza una representación simplificada que, aunque no corresponda en su totalidad a la realidad, nos permita traducir el fenómeno a un lenguaje simbólico-lógico mediante ecuaciones o leyes estadísticas.

Muchas veces hay que recurrir a complicados modelos matemáticos para interpretar ciertos fenómenos, por lo que hay que realizar complejas operaciones que se resuelven mediante la ayuda del ordenador.

Existen modelos que se componen de determinado número de variables que, si bien guardan una cierta relación entre ellas, difieren en algunos aspectos: variables endógenas (las que el modelo intenta explicar y su influencia es mutua y directa), exógenas (explican las variaciones de las primeras e influyen en el modelo, pero no son influidas por el mismo) y retardadas (las que dan temporalidad al modelo).

Cuando un planificador dimensiona una línea férrea que va a unir dos o más poblaciones, establece la interrelación entre las poblaciones unidas. Significa que va a estudiar y establecer el número de personas que se van a mover diariamente de unos puntos a otros de acuerdo con unos parámetros. En consecuencia, indicará al director de la compañía el número de trenes y horarios que se han de establecer para ofrecer un servicio eficaz que haga rentable la explotación de esa línea férrea.

En los accidentes marítimos también se puede establecer la interrelación entre los accidentes y un buen servicio de asistencia, de acuerdo con una serie de parámetros conocidos de antemano. Una “población importante”, en nuestro trabajo, va a ser representado por una zona donde se produzcan muchos y graves accidentes y por ello habrá que darle una adecuada cobertura. Así, los medios de salvamento estarán en aquellos lugares donde la interrelación, o atracción, entre el accidente o zona de accidentes con el puerto de auxilio capacitado sea máxima, teniendo en cuenta que los medios disponibles nunca son ilimitados.

IV.2. El proceso de planificación

Colin Lee afirma que: “el uso de los modelos puede ayudar a los planificadores a comprender, y en determinadas ocasiones a predecir, el comportamiento de los sistemas. Sin embargo, los modelos representan solamente una pequeña parte, aunque importante, de la metodología de la planificación y sirven para apreciar el papel que desempeña este aspecto particular de la metodología en el amplio contexto del proceso de planificación, considerado como un todo”.

Chadwick (1966) destacó que, “la planificación es un sistema conceptual general. Creando un sistema conceptual independiente del mundo real, pero correspondiente a él, podemos comprender el fenómeno del cambio y, entonces, anticiparlo, para finalmente evaluarlo. Pretendemos la optimización del sistema del mundo real buscando la optimización del sistema conceptual”.

Los trabajos del británico Patrick Geddes, a comienzo del pasado siglo, destacaron la necesidad de un diagnóstico previo a la preparación del plan, aunque se espere que éste puede surgir del diagnóstico.

Esta afirmación nos indica que el planificador intuye la problemática y sus causas. El planificador también intuye la solución. Este es el punto de partida. Los números que lo demuestran son el punto final.

Catanese y Steiss (1968) consideran que el proceso de planificación puede estructurarse en siete fases principales:

- 1) Definición y determinación de los problemas actuales y sus interrelaciones.
- 2) Predicción de las condiciones futuras que surgen de los problemas que son identificables.

- 3) Identificación de los parámetros y de las condiciones límite o restricciones que determinan las posibles soluciones a los problemas.
- 4) Determinación de las metas y objetivos a distintos niveles.
- 5) Formulación de las políticas alternativas.
- 6) Evaluación de los costes cualitativos y cuantitativos y simulación de las alternativas para comprender el rendimiento general.
- 7) Recomendación de la política elegida y ejecución de la misma.

Chadwick en 1969 casi coincide con el procedimiento anterior.

Colin Lee afirma que: “aunque hay algunas diferencias entre las diferentes formulaciones del proceso de planificación, estas coinciden en los componentes esenciales”.

El examen de las diferentes alternativas permite destacar los siguientes puntos:

- 1) Definición del problema.
- 2) Elaboración del modelo:
 - Descripción del sistema.
 - Prognosis de las variables exógenas.
- 3) Aplicación del modelo: Identificación del problema y desarrollo de la solución.
- 4) Ejecución y control de la política elegida.

IV.2.1. Definición del problema

Estamos ante las intuiciones del planificador basadas en su conocimiento de la cuestión (conclusiones de Patrick Geddes). Esta afirmación nos indica que el planificador intuye la problemática y sus causas. El planificador también intuye la solución. De manera que, antes de nada, se debe redactar:

¿Cuál es el problema?

¿Qué causas se intuyen que lo han generado?

¿Qué soluciones se intuyen?

La determinación de los problemas y de los objetivos es la tarea más importante de cualquier actividad. Los puntos que deben resolverse controlan eficazmente el diseño del modelo y han de quedar especificados con claridad con el fin de controlar si aquél funciona correctamente. Por ejemplo, a menos que exista un objetivo específico para el uso del modelo, es imposible decidir qué variables se han de indicar, de cuáles hay que prescindir y qué nivel de agregación es aceptable.

Los problemas fundamentales que corresponde resolver al modelo deben definirse detalladamente al principio del proceso de planificación, aunque posteriormente se elaboren de nuevo.

Un modelo es una descripción de un sistema (sistema objeto de estudio). El proceso de describir un sistema consiste en la elaboración de un segundo sistema (sistema conceptual o modelo) que contiene representaciones de los elementos y relaciones presentes en el Sistema objeto de estudio.

Descripción del sistema:

Describir un sistema consiste en comprender su comportamiento. La descripción del sistema mediante un modelo supone la identificación y simulación de las variables que se consideran importantes y sus interrelaciones. De esta manera se valora la estructura y el rendimiento del sistema estudiado.

La elaboración de un modelo de un sistema puede considerarse como un intento de reducir su complejidad a un nivel que permita su comprensión. El sistema queda reducido a estándares y restricciones.

Prognosis del sistema:

Algunos modelos son meramente descriptivos de la situación actual. Sin embargo, debe disponerse de la posibilidad de proyectar en el tiempo las variables sobre las que no se tiene control (variables exógenas). El manejo de la mayoría de los modelos exige la presencia de “escenarios”, es decir, hipótesis que recojan el comportamiento futuro de las variables sobre las que no se tiene capacidad de actuación. La elaboración de estos “escenarios” ha de estar lo más fundamentada posible.

Un modelo permite la comprensión y evaluación del sistema estudiado en circunstancias en las que no es posible experimentar con una situación real.

IV.2.2. Aplicación del modelo: Identificación del problema y desarrollo de la solución

El problema se hará evidente a partir del conocimiento del sistema y de su rendimiento. El conocimiento del sistema permite identificar las cuestiones que lo alejan de un rendimiento óptimo.

La solución está compuesta por un sistema objetivo y una política óptima. El sistema objetivo es una configuración de variables e interrelaciones que atenúa o resuelve la problemática inicial. La política óptima describe la transformación del sistema estudiado en el sistema objetivo.

En su caso, se procede a la elaboración de soluciones alternativas. La identificación del problema y de su solución se realiza apoyándonos en el modelo y, a ser posible, cuantitativamente. Sin embargo, en muchos casos la decisión subjetiva y los juicios de valor pueden ser fundamentales.

La mayoría de las políticas tienen en cuenta la evolución que se va a producir en el sistema durante su ejecución. Por esta razón es importante que el Modelo tenga la capacidad de tener en cuenta la evolución de aquellas variables sobre las que no se tiene control.

IV.2.3. Ejecución y control de la política elegida

Todo proceso de planificación es siempre interactivo con la realidad.

IV.3. Naturaleza de los modelos

Según Lee, “esencialmente, un modelo es una representación de la realidad, una expresión simplificada y generalizada de las características principales de una situación del mundo real. Es decir, es una abstracción de la realidad, que se utiliza para obtener una imagen conceptual a fin de reducir la variedad y complejidad del mundo real a un nivel que podamos entender y especificar. El valor de un modelo es su posibilidad de aplicación para la mejor comprensión del comportamiento de un sistema en circunstancias en las que no es posible, por razones técnicas, económicas o políticas, experimentar con una situación real”.

Los modelos pueden clasificarse de diferentes formas, aunque la división básica es la de modelos físicos y abstractos. Los primeros son los más comprensibles y comunes. Normalmente son copias a escala del objeto en estudio. Los ingenieros navales, por ejemplo, utilizan estos

modelos, que se pueden probar y destruir a un coste bajo, y cuya finalidad es extraer conclusiones sobre las posibles características de un buque.

Un modelo abstracto representa una situación del mundo real expresado mediante símbolos. Es un modelo analítico, puesto que profundiza en el análisis del comportamiento del sistema considerado. Los modelos físicos son meramente descriptivos por lo que el modelo abstracto es el más utilizado desde el punto de vista de la planificación.

En el presente estudio se va a utilizar un tipo de modelo abstracto: el modelo matemático. Como otros varios, el modelo matemático es una descripción del sistema que representa, pero que se halla escrito en un “lenguaje” de símbolos matemáticos. La necesidad de un análisis preciso es una de las ventajas más significativas de la aplicación de los modelos matemáticos.

Lowry (1965) clasifica los modelos matemáticos en tres categorías:

Modelos descriptivos,

de predicción o previsión,

y modelos de planificación o normativos.

Los modelos descriptivos, como su nombre indica, se refieren a la representación de una situación existente. Los buenos modelos descriptivos son de gran valor científico, ya que describen muchos aspectos de la estructura del contexto en cuestión. Reduce la aparente complejidad del mundo observado a un lenguaje coherente y riguroso de relaciones matemáticas.

Sin embargo Lowry, utilizando el modelo descriptivo, observó que este tenía algunas limitaciones en un futuro inmediato, por lo cual creyó que necesitaba un nuevo modelo que le permitiera ir introduciendo variables que se adaptaran a los cambios que podrían surgir.

Los modelos de predicción o previsión, que se usan en la simulación de situaciones futuras más que de presentes, presentan unas exigencias más estrictas que los descriptivos, aunque pueden operar en el mismo sentido.

La diferencia entre los modelos de previsión y descriptivos se difuminan si los segundos contemplan variables que permanezcan vigentes en el tiempo.

Un modelo de previsión bien elaborado es aquél en el que la causa y el efecto siempre están perfectamente delimitados, si bien, en algunos casos, puede ofrecer ciertas dificultades su discernimiento al estar interrelacionados diferentes variables. De igual forma, es necesario

asegurarse de que las variables incluidas puedan evaluarse en el futuro, aunque cabe la posibilidad, recogida por Lowry, de establecer una previsión condicional.

Los modelos de planificación o normativos pueden considerarse como una ampliación de los modelos de previsión, pese a que muestran una diferencia importante: se construyen no solo basándose en las previsiones que se hacen sino que además nos permitirá actuar de la manera más adecuada para la consecución de los objetivos.

A pesar del rigor que aporta la utilización de un modelo de planificación, siempre es necesaria la opinión de expertos, especialmente cuando existen muchas variables que se interaccionan. Para Quade y Boucher (1968) los modelos no sustituyen el juicio de los expertos, sino que intentan proporcionar “un método sistemático de ayuda al responsable en la toma de decisiones para elegir las acciones, investigando el problema, analizando los objetivos y alternativas y comparándolos mediante la aplicación de un marco apropiado, analítico si es posible, para facilitar un juicio acerca del problema”.

De todas formas, a veces, hay limitaciones inherentes a la aplicación de los modelos en el proceso de planificación, pero como reconoce Helmer (1966) y en consonancia con lo indicado, “donde la construcción de un modelo es muy provechosa para promover el conocimiento y control de nuestro contexto, la confianza en el juicio, aunque menos sistemática, es absolutamente necesaria. Debe solicitarse la opinión de un experto cuando sea necesario para elegir entre varias alternativas de acción, en ausencia de un conocimiento teórico que permita la selección de la alternativa que deberá seguirse”.

IV.4. Elaboración del modelo

Aunque es difícil explicar cómo nace un modelo, se puede describir, no obstante, un método general que sea útil para la planificación y construcción de modelos.

La aplicación de un modelo a un problema del mundo real no es un proceso sencillo. Algunas de las fases del desarrollo del modelo pueden indicar que las ideas iniciales son susceptibles de mejora o modificación. Por tanto, es conveniente que el método para la elaboración de un modelo sea repetitivo, como se muestra en la figura anterior.

Es conveniente distinguir las cinco fases que muestra la figura precedente (definición del problema, formulación del modelo, simulación del modelo, comprobación de la validez del modelo y aplicación del modelo), pese a que estas fases no son actividades independientes o secuenciales.

De la definición del problema y de la aplicación del modelo nos ocupamos al hablar del proceso de planificación.

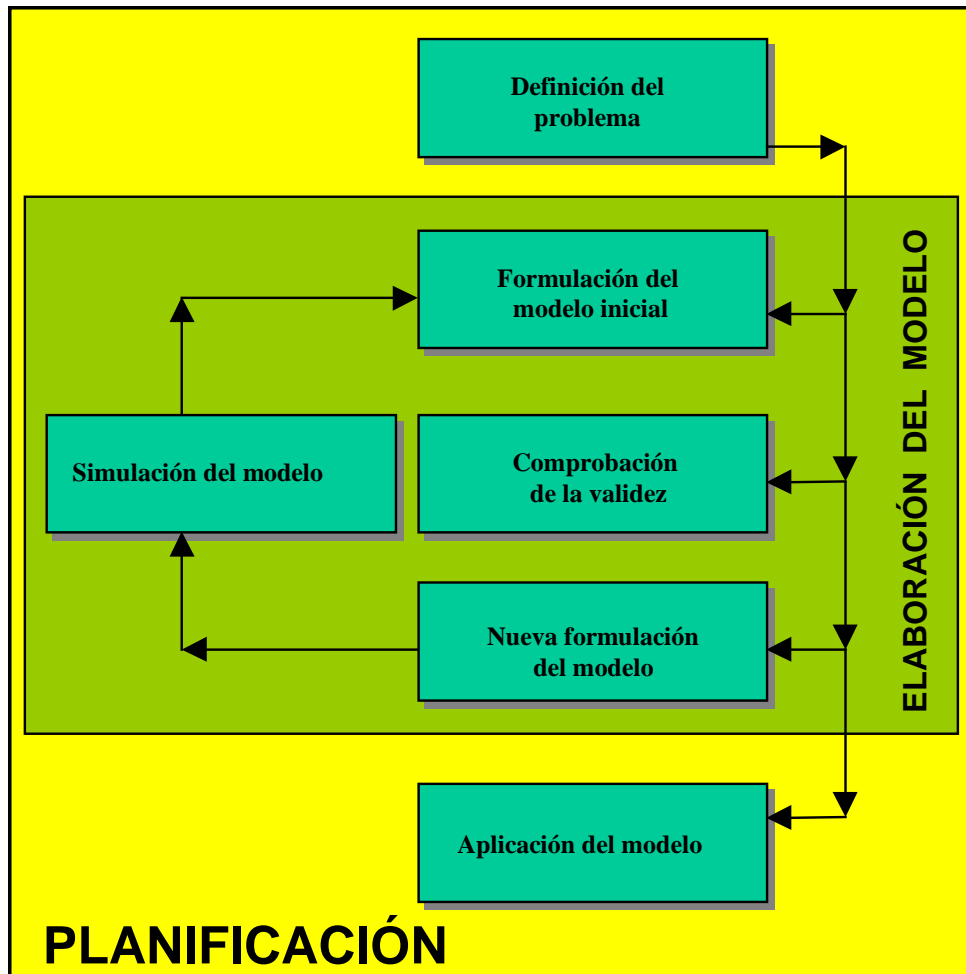


Gráfico 1. Elaboración de un modelo

IV.4.1. Formulación del modelo

La formulación de un modelo requiere la elección de las variables, la elección del nivel apropiado de agregación y la clasificación de las mismas. La formulación del modelo también exige decisiones sobre el tratamiento del tiempo y la descripción de las interrelaciones entre las variables.

IV.4.1.1. ¿Qué variables se van a incluir? Nivel de agregación y método de clasificación

Una de las mayores dificultades en la construcción de modelos es decidir las variables que se van a elegir y las que se van a desechar. El modelo debe reproducir claramente el fenómeno para el cual está diseñado.

Una vez que se ha decidido incluir una variable, es necesario establecer su clasificación y el nivel de agregación. La agregación se define como la agrupación lógica de datos particulares o condensación de un conjunto de variables en una magnitud global o en un número reducido de datos globales, con la finalidad de representar una realidad compleja por un esquema simplificado. La elección de un determinado método de clasificación se fijaría en función del propósito del modelo.

Sistema objeto de estudio	Descripción o modelo
¿El accidente necesita de un helicóptero?	Variable 1: Nombre: Lugar seguro o no. Tipo: Lógica (s/n). Variable 2: Nombre: Heridos Tipo: Lógica (s/n). Variable 3: Nombre: Gravedad de los heridosetc. A partir de estas variables se desarrolla un indicador que responde a la pregunta.
¿El accidente necesita remolque?	Otras variables y relaciones entre ellas

Gráfico 2. Variables del modelo

De manera que clasificar las variables significa asociarlas de acuerdo con su significado. Las variables 1, 2 y 3 están asociadas a un aspecto del sistema objeto de estudio. Los grupos de variables van apareciendo a medida que se profundiza en la descripción del sistema. Cada grupo de variables se refiere a un aspecto del sistema objeto de estudio.

Algunas variables pueden presentar diferentes niveles de agregación. No es el caso del cuadro de ejemplo, en donde la toma de datos se refiere a cada accidente en concreto. Sin embargo, si deseamos conocer la utilidad de un helicóptero de ayuda, no específico, debemos sumar las variables que describen los accidentes que se producen en su radio de acción y durante el día. Esto

supone un nivel de agregación. En el caso de los helicópteros de la DGMM, el radio de acción es diferente y debemos ocuparnos de los accidentes producidos a cualquier hora. Esto supone otro nivel de agregación.

La zona SAR Española es un nivel de agregación. Las cercanías del puerto de Bilbao es otro. Las mismas variables y relaciones pueden aplicarse en uno y otro nivel de agregación. De esta manera se fundamentan diferentes conclusiones.

La necesidad de tener que especificar las variables que se van a incluir y decidir el nivel apropiado de agregación, así como el método de clasificación, obligan al planificador a establecer una hipótesis sobre la estructura y comportamiento del fenómeno que se quiere reproducir.

IV.4.1.2. Tratamiento del tiempo. Período de validez

La forma en que se incorpora el tiempo al modelo es uno de los puntos más importantes en el diseño del modelo y, a la vez, uno de los más complejos. Hay dos aspectos del tratamiento del tiempo que son significativos. El primero de ellos afecta fundamentalmente a la planificación y se refiere al período de tiempo para el que se utiliza el modelo. En otras palabras, ¿cuál es el horizonte temporal del plan? El segundo aspecto radica en la simulación del paso del tiempo, que es un problema más complejo.

El desarrollo y funcionamiento de los modelos que recogen continuos cambios (dinámicos) son más difíciles que la construcción de modelos estáticos.

IV.4.1.3. Relaciones entre las variables

Una vez seleccionadas las variables, el siguiente paso en la construcción del modelo corresponde a la descripción de las hipótesis de comportamiento del sistema y de su conversión a una forma matemática o simbólica. El punto de partida es una descripción verbal del sistema en cuestión. A continuación es conveniente el desarrollo de un diagrama de flujos. Una vez completada esta descripción, puede convertirse en un modelo matemático equivalente, aunque esto no es un proceso simple.

El desarrollo del modelo, en términos matemáticos, incluye varias constantes o parámetros que añaden dimensiones a las relaciones de aquél (es decir, a la variación de una variable con relación a las otras).

IV.4.1.4. Simulación y validación del modelo

Una vez que se ha conseguido la formulación inicial del modelo, debe probarse su capacidad para reproducir las características y el comportamiento de un sistema del mundo real. Es importante que la formulación del modelo pueda modificarse cuando se profundice en él. Este es el caso cuando, por ejemplo, los resultados de determinadas relaciones en el modelo proporcionan datos que parecen absurdos sobre la base de la información pasada y la experiencia.

El procedimiento iterativo, que es la esencia del proceso de construcción de un modelo, presupone frecuentes verificaciones sobre la validez de éste.

La validación del modelo consiste en confirmar que realiza la función para la que fue diseñado. Existen criterios para la evaluación de cualquier modelo:

- 1) 1) Exactitud. Un modelo se considera más eficaz, si logra reproducir con exactitud la situación existente.
- 2) 2) Validez. Cada ecuación del modelo debe expresar una relación preferentemente causal entre las variables introducidas. El problema consiste en identificar la relación causa-efecto en una situación compleja. El comportamiento del modelo será válido si se formula sobre la base de unas hipótesis que hayan sido rigurosamente probadas.
- 3) 3) Constancia. Este criterio no afecta al valor del modelo como dispositivo descriptivo, pero es importante cuando se trata de un modelo de predicción y se refiere a las relaciones actuales que se espera se mantengan constantes. Puede ocurrir, que para algunas de las ecuaciones, no se aconseje ningún cambio, pero, para otras, hay indicios de que ciertos factores no incluidos en el modelo tendrán una mayor influencia en el futuro.
- 4) 4) Posibilidad de estimar las variables. El que un modelo sea o no eficaz para la previsión depende de la posibilidad de estimar los valores futuros de las variables claves.

IV.5 La importancia de comprender los modelos “dinámicos”

Supongamos que realizamos una distribución óptima de los medios de salvamento (sistema objetivo) atendiendo a los accidentes acontecidos en una serie de años. Supongamos que la política óptima supone el desarrollo de un plan trienal. Es decir, en tres años se habrán redistribuido los medios de acuerdo con la solución obtenida en el modelo.

Podemos hacer esto, es decir, resolver el problema en un momento y asumir la solución. O bien, podemos realizar una estimación de los accidentes en estos tres años de implantación (una prognosis de las variables exógenas), y modificar la solución atendiendo a los resultados. Es evidente la superioridad del segundo enfoque. Aunque también resulta evidente el riesgo que acompaña a cualquier predicción.

Otros enfoques de la programación dinámica (es decir del tratamiento del tiempo en los modelos) se ocupan del desarrollo de políticas óptimas. O sea, no se modifica el estado objetivo, sino la temporalización de las acciones que nos llevan hasta él.

IV.6 Origen de los modelos de gravedad

“Los modelos de gravedad son, dentro de los modelos matemáticos, los que con mayor frecuencia se han aplicado en los estudios de planificación y transporte”. Los modelos de gravedad se han venido utilizando durante décadas para analizar la interacción entre varias actividades urbanas y se denominan así porque el concepto de interacción humana está asimilado en el concepto de gravedad de Newton.

En las aplicaciones del concepto de gravedad al análisis de los sistemas urbanos, la atracción entre dos cuerpos se ha interpretado como la interacción entre dos áreas y la masa de los cuerpos equivale al tamaño de la población o riqueza. Esta versión simple del modelo de gravedad se puede representar matemáticamente así:

$$I_{ij} = G \frac{P_i P_j}{d_{ij}^b} \quad (1)$$

Donde:

I_{ij} la interacción entre las áreas i y j .

P_i, P_j el tamaño de las áreas i y j .

d_{ij} la distancia entre las áreas i y j .

b potencia o exponente aplicado a la distancia entre las áreas

G una constante, equivalente a la constante de gravitación, que se determina empíricamente y se incluye para establecer la relación en las condiciones actuales.

El significado de esta formulación del modelo de gravedad se puede explicar mediante un ejemplo (ejemplo obtenido de “Los modelos de planificación” de Colin Lee). Consideremos una región urbana hipotética con tres zonas y una población total P . Supongamos que el número diario

de desplazamientos es T . La interacción entre las tres zonas de esta área urbana se puede describir por el número de desplazamientos efectuados entre dos zonas. El modelo de gravedad indica que la interrelación entre dos áreas varía directamente en relación a su tamaño o atracción e inversamente a la distancia. Si, por el momento, prescindimos del efecto de la distancia en la interacción (es decir, suponemos que no se consideran ni los costes ni el tiempo en los desplazamientos de un área a otra), el volumen de desplazamientos para ir de la zona i a la j es directamente proporcional a la posibilidad de que un desplazamiento encuentre un punto de destino conveniente en la zona j . La atracción relativa de la zona j (según el deseo de la población de otra zona para desplazarse a aquella) será igual a la población de la zona j , (P_j) dividida por el total de la población de la región P . Así pues, la proporción de desplazamientos de cualquier zona, que tiene su destino en la zona j , será igual a la relación P_j/P .

Una vez calculada la proporción de desplazamientos a la zona j , es fácil encontrar el número actual de recorridos. El número medio de desplazamientos hechos por una persona en la región es T/P ; si representamos el promedio por K , entonces el número actual de desplazamientos a la zona j , realizados por una persona que vive en la zona i se representa por $K \times (P_j/P)$. Si hay P_i individuos que viven en la zona i , el número total de desplazamientos a la zona j será P_i veces el número de recorridos hechos por una persona; es decir:

$$T_{ij} = K \frac{P_i P_j}{P} \quad (2)$$

donde T_{ij} representa el número total de desplazamientos hechos por personas que viven en la zona i y que van a la zona j .

Igualmente podemos estimar el posible número de desplazamientos entre cada par de zonas, obteniendo una descripción de la interacción entre todos los componentes del área urbana.

Es obvio que la hipótesis de que partimos es una simplificación, puesto que consideramos que la distancia o el coste no tienen influencia en los recorridos. El modelo de gravedad indica que cuando la distancia entre dos zonas aumenta, la interacción entre esas zonas disminuye.

Los estudios empíricos sugieren que el efecto de la distancia en la interacción no es uniforme y que las distancias largas tienen un efecto disuasivo proporcional mayor que las cortas. La solución de los estudios empíricos consiste en expresar el efecto disuasivo de la distancia elevando ésta a una potencia. La atracción de una zona se puede definir, por tanto, de la siguiente forma:

$$\frac{P_j / P}{d_{ij}^b} \quad (3)$$

Es difícil saber qué valor conviene dar al exponente b , lo que se decide durante la evaluación.

Partiendo de la última definición de atracción de una zona (la probabilidad de que un desplazamiento que empieza en la zona i tenga su punto de destino en la zona j), podemos ahora aplicar la expresión (3) a la ecuación (2) para volver a definir la interacción entre las zonas i y j :

$$T_{ij} = \frac{K \frac{P_i P_j}{P}}{d_{ij}^b} \quad (4)$$

Esta ecuación se puede simplificar, ya que en cualquier área K y P son constantes que pueden representarse por G . Sustituyendo G en la ecuación, obtenemos:

$$T_{ij} = G \frac{P_i P_j}{d_{ij}^b} \quad (5)$$

que es de la misma forma que la ecuación (1) o de la gravitación.

La ecuación anterior representa solo la relación entre una zona determinada y cualquier otra. Es conveniente describir la interacción entre una zona y todas las demás, lo que se logrará aplicando la ecuación (6) a cada zona. Y sumando los valores de cada una de las interacciones:

$$T_{i1} + T_{i2} + \dots + T_{in} = G \frac{P_i P_1}{d_{i1}^b} + G \frac{P_i P_2}{d_{i2}^b} + \dots + G \frac{P_i P_n}{d_{in}^b} \quad (6)$$

Se puede simplificar,

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = G \sum_{j=1}^n \frac{P_i P_j}{d_{ij}^b} \quad (7)$$

IV.6.1 La forma moderna del modelo de gravedad

La forma simple del modelo de gravedad expresado por la ecuación (6) se ha adaptado para considerar no solo el tamaño o poder de atracción de las zonas y la distancia que las separa, sino también la competencia de otras zonas. Ello condujo a un replanteamiento del modelo de gravedad, que se puede describir en los siguientes términos: la interacción entre dos o más zonas es directamente proporcional al tamaño (o poder de atracción) de las zonas y a la atracción relativa de las zonas que compiten. En términos simbólicos esto significa que se introduce un factor de equilibrio como denominador del modelo de gravedad para representar la atracción de otras zonas:

$$T_{ij} = \frac{G \frac{P_i P_j}{d_{ij}^b}}{G \frac{P_1}{d_{i1}^b} + G \frac{P_2}{d_{i2}^b} + G \frac{P_3}{d_{i3}^b} + \dots + G \frac{P_n}{d_{in}^b}} \quad (8)$$

Esta ecuación que sirve para mostrar cómo se ha desarrollado la estructura del modelo, es incómoda si se aplica con frecuencia.

Operando y simplificando, la ecuación anterior se convierte en:

$$T_{ij} = \frac{P_i P_j d_{ij}^{-b}}{\sum_{j=1}^n P_j d_{ij}^{-b}} \quad (9)$$

Recordando que podemos decir que

$$\frac{1}{d_{ij}^b} = d_{ij}^{-b}, \quad \frac{1}{\sum_{j=1}^n P_j d_{ij}^{-b}} = \left(\sum_{j=1}^n P_j d_{ij}^{-b} \right)^{-1} \quad (10)$$

y si al término anterior le llamamos A_i , obtendremos $T_{ij} = P_i A_i P_j d_{ij}^{-b}$ (10). Generalmente, la ecuación anterior se representa por:

$$T_{ij} = O_i A_i D_j d_{ij}^{-b} \quad (11)$$

donde:

T_{ij} es el número de desplazamientos entre las zonas i y j .

O_i es el número de desplazamientos que parten de la zona i . (En la fórmula (9) equivale a P_i o población de la zona i).

D_j es la medida de atracción de la zona j . (En la fórmula (9) equivale a P_j o población de la zona j).

IV.7 Los modelos de gravedad como modelos de localización: problemas y limitaciones

Una característica de los modelos de gravedad es su capacidad para proporcionar estimaciones de las actividades por localizaciones; en otras palabras, es posible aplicarlos como modelos de localización de las actividades y también como modelos de interacción.

En el presente trabajo se utilizan los modelos de gravedad puesto que van a promover la realización de estimaciones de las actividades por localizaciones, para situar adecuadamente los medios de salvamento. Pero, al mismo tiempo, es un modelo interactivo puesto que permiten establecer interrelaciones entre los accidentes y los posibles puertos receptores.

Existe una serie de problemas de aplicación relacionados con determinados modelos, pero, dado que este capítulo se refiere solamente a la formulación general del modelo de gravedad, la consideración de los problemas asociados al uso de estos modelos se limitará a aspectos generales. El estudio se centrará en los siguientes puntos: carencia de una base teórica sólida; la necesidad de la desagregación; la forma de la función distancia; la importancia del sistema de zonificación y el problema de la evaluación.

IV.7.1 Carencia de una base teórica sólida

Schneider en 1959 afirma: “No hay ningún parentesco real entre un campo gravitacional y un sistema generador de desplazamientos... Los soportes teóricos sobre los cuales descansa este método parecen ser éstos: un intercambio entre dos regiones es claramente una función descendente de la distancia entre ambas, y desciende en proporción inversa a la atracción o conveniencia. Estos no son de ningún modo fundamentos desdeñables, pero tampoco satisfactorios. La deficiencia principal del modelo de gravedad es que no proporciona explicaciones ni intenta hacerlo...”

Se puede decir, al igual que en los modelos de regresión lineal, que, pese a que son capaces de describir satisfactoriamente las normas de interacción y actividad, no las explican. Su atención no se centra en lo que está ocurriendo, sino en el resultado de lo que ha ocurrido, resumiendo los datos para describir la situación actual. J. P. Lewis indica que “utilizar los parámetros observados, como una base para predecir lo que ocurrirá, es buscarse conflictos, porque el grado en que los

valores paramétricos dependen de diversas fuerzas no pueden medirse”. Resumiendo, puede indicarse que:

- 5) a) Si el sistema cambia no sirven los resultados.
- 6) b) Como no se conocen las leyes del sistema, no se puede saber si cambiará.

Sin embargo, estos modelos, aunque no sean plenamente adecuados, están entre los mejores de cuantos se dispone actualmente y proporcionan soluciones parciales a los interrogantes de los planificadores.

IV.7.2 Desagregación de los modelos de gravedad

Es obvio que el modelo se diseña para conocer el comportamiento de grandes grupos de personas, partiendo de la hipótesis de que el comportamiento de los grandes grupos es previsible sobre la base de probabilidades matemáticas, porque la idiosincrasia de los individuos o de pequeños grupos tiende a quedar anulada. La muestra a la que se le aplica el modelo ha de ser numerosa y homogénea, de esta forma se puede parametrizar anulando la influencia de los casos particulares.

Es necesario desagregar las características diferenciales y el propósito de los desplazamientos.

IV.7.3 La función distancia

En las primeras pruebas empíricas del modelo de gravedad, la distancia se utilizaba como la variable impedancia. Sin embargo, es evidente que la simple distancia no es bastante para garantizar la medida de los efectos de la separación espacial. La evidencia sugiere que el tiempo es una variable más significativa que la distancia en el comportamiento al realizar los desplazamientos.

El exponente que ha de aplicarse al factor tiempo/distancia debe ser diferente, según el propósito del desplazamiento. Es lógico que el exponente no solo ha de variar con el propósito del desplazamiento, sino también con la distancia. Las investigaciones han revelado que un exponente constante no siempre es capaz de reproducir adecuadamente las normas de interacción para distancias largas y cortas, lo que ha llevado a diversos autores a considerar que el exponente podría variar con la distancia.

IV.7.4 Problemas de la zonificación

El uso de los modelos de interacción espacial o de localización implica que el área en estudio se ha dividido en componentes o zonas. En la práctica, los sistemas de zonificación son generalmente arbitrarios, aunque la definición de las zonas es importante para el rendimiento del modelo.

IV.7.5 Problemas de evaluación

La evaluación es el proceso que consiste en encontrar los valores de los parámetros que proporciona el mejor ajuste entre el rendimiento del modelo y el comportamiento del sistema del mundo real.

Para calcular el valor del parámetro, lo más común es aplicar un método de tanteos con diferentes valores del parámetro y seleccionar aquel que facilite el “mejor ajuste”. Aquí surge el problema de la selección de dicho valor, no solo el actual, sino también el previsto.

IV.8. Modelo de gravedad/potencial de Hansen

Uno de los primeros ejemplos del uso de los modelos de gravedad en la planificación de una situación fue el desarrollado por W. G. Hansen en 1959. Este modelo de localización se diseñó para predecir la localización de la población y se basa en la hipótesis de que la accesibilidad al trabajo, es el factor principal que determina la localización de la población.

Hansen considera que la relación entre la localización de la población y el empleo se puede expresar por un índice de accesibilidad que se calcularía así:

$$A_{ij} = \frac{E_j}{d_{ij}^b}$$

donde:

A_{ij} es el índice de accesibilidad de la zona i en relación con la zona j .

E_j es el empleo total de la zona.

d_{ij} es la distancia entre las zonas i y j .

b es un exponente o potencia de d_{ij}

Ésta es la expresión de la accesibilidad de la zona i en relación con la j . El índice general para la zona i es la suma de los índices individuales, o sea:

$$A_i = \sum_j \frac{E_j}{d_{ij}^b}$$

Hansen reconoce que, además de la accesibilidad, existe un factor fundamental en la fijación de la cantidad de población que se ve atraída por un área determinada y que es el terreno disponible para usos residenciales. A esto lo denomina “capacidad de agrupación” de una zona y estima que ambos factores pueden combinarse calculando un índice de potencial de desarrollo, el cual se obtiene multiplicando el índice de accesibilidad por la capacidad de agrupación. El índice resultante de la zona D_i sería:

$$D_i = A_i H_i$$

donde:

H_i es la capacidad de agrupación de la zona i . El potencial de desarrollo se puede considerar como una medida de la atracción de una zona, basado en el acceso al trabajo y en el terreno disponible para viviendas. La población se distribuye en zonas basándose en el potencial de desarrollo relativo de cada una de ellas, es decir, el potencial de desarrollo de cada zona dividido por el potencial total:

$$\frac{A_i H_i}{\sum_i A_i H_i}$$

En otras palabras, Hansen opina que la participación del crecimiento de la población total que se obtiene en cualquier zona se refiere a la atracción de esa zona con respecto a las demás que compiten. Si el crecimiento total de la población es G_t , entonces el volumen de ese crecimiento hacia la zona i sería:

$$G_i = G_t \frac{(A_i H_i)}{\sum_i A_i H_i} \quad \delta \quad G_t = \frac{D_i}{\sum_i D_i} \quad \text{Donde, } D_i = A_i H_i$$

Esto proporciona un instrumento de asignación de la población cuya aplicación es relativamente fácil. Se puede utilizar para probar los efectos de diferentes hipótesis. La figura expresada a continuación muestra un organigrama que contiene la secuencia de los cálculos del modelo de Hansen.

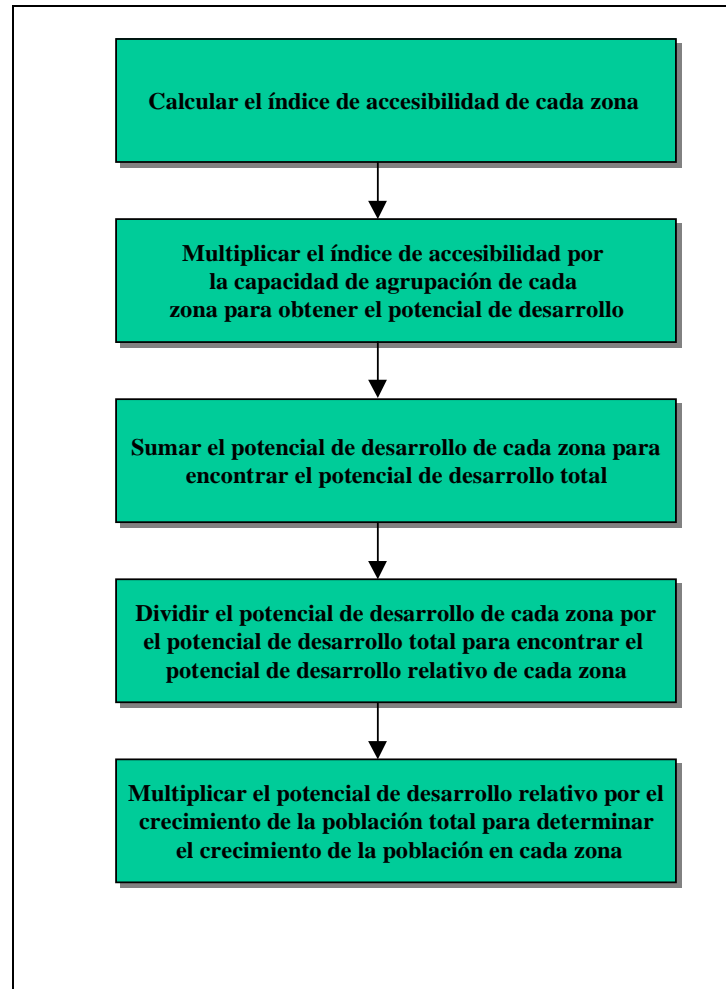


Gráfico 3 Mecánica del modelo de Hansen.