

---

## **ASPECTOS DEL DESARROLLO DEL MODELO MEPLAN DE EDMONTON**

**JD Hunt y JDP McMillan**

Departamento de Ingeniería Civil

Universidad de Calgary

2500 University Drive NW

Calgary, Alberta, Canada T2N 1N4

Teléfono: 403-220-8793 Fax: 403-282-7026

[jdhunt@acs.ucalgary.ca](mailto:jdhunt@acs.ucalgary.ca)

[jpmcmill@acs.ucalgary.ca](mailto:jpmcmill@acs.ucalgary.ca)

### **RESUMEN**

Este artículo revisa diversos aspectos del desarrollo del modelo MEPLAN de Edmonton, mostrando los aspectos de políticas que han influido en el diseño del modelo, la estrategia adoptada para la calibración, algunas limitaciones prácticas que surgieron con respecto a los datos y el impacto que estas limitaciones han tenido en la forma final del modelo.

El sistema MEPLAN es un sistema de modelamiento generalizado que usa, en forma original, estructuras input-output espacialmente desagregadas para proyectar la localización y la interacción espacial entre factores como producción de bienes, servicios y mano de obra en una serie de escenarios temporales. Estas interacciones proyectadas a futuro son convertidas en demandas de transporte y asignadas a las redes correspondientes. Las desutilidades de transporte debidas a la congestión afectan la localización de actividades en el siguiente escenario temporal.

La descripción del desarrollo del modelo de Edmonton ilustra sobre las posibilidades y la flexibilidad del sistema MEPLAN y sobre las etapas que deben seguirse en el desarrollo de una aplicación práctica del mismo. También se muestran algunas dificultades prácticas que pueden surgir en este proceso, junto a posibles vías de solución. Por último se extraen algunas conclusiones de carácter general, de interés para otras posibles aplicaciones de este sistema.



## 1. INTRODUCCION

Está en marcha un programa de investigación para considerar la aplicabilidad de las técnicas de modelización de usos del suelo y transporte en el área metropolitana de Edmonton, Canadá. El programa incluye el desarrollo de un modelo integrado de Usos del Suelo y Transporte, usando el sistema MEPLAN. Esta sistema fue diseñado el "Martin Centre" de la Universidad de Cambridge, y ha sido desarrollado e incorporado en un sistema de Software por Marcial Echenique & Partners (Echenique, 1994). En su forma actual incluye submodelos de Usos del Suelo y de Transporte que simulan los respectivos mecanismos de mercado interactuando entre sí, con un componente principal tipo Lowry (Lowry, 1964), estructura input-output espacialmente desagregada, que incluye coeficientes técnicos variables, restricciones espaciales y precios.

El desarrollo del modelo basado en este sistema incluye tanto la selección de la estructura del modelo como la estimación de sus parámetros.

La selección de la estructura del modelo supone el establecimiento de los siguientes ítems:

- categorías que representan la demanda de viajes, la oferta de transporte y la actividad económica en términos de inputs y outputs para la producción y el consumo,
- sistema de zonificación espacial,
- forma de las funciones que representan las interacciones dentro de cada submodelo, y de éstos entre sí,
- incremento de tiempo entre puntos de equilibrio contiguos, que representan diferentes cortes temporales.

La estimación de los parámetros consiste en la obtención de los valores numéricos apropiados para los diferentes inputs del modelo y para los coeficientes incluidos en las funciones de cada submodelo. Este artículo describe diferentes aspectos de estas dos etapas en el caso concreto del modelo de Edmonton. Se revisan los elementos considerados en la selección de la estructura del modelo, presentando el camino seguido en su confección, alcanzando un equilibrio entre las políticas específicas para Edmonton que deben ser probadas y las limitaciones impuestas por la disponibilidad de información. Se muestra también el proceso de calibración, describiendo el enfoque dado al desarrollo de las expresiones matemáticas del modelo y la estimación de sus diferentes parámetros, al tiempo que se indican los requerimientos de datos asociados en cada caso.

En definitiva, se presentan los distintos pasos necesarios para el desarrollo de un modelo con el sistema MEPLAN. Con el fin de proporcionar un contexto adecuado, en la sección 2 se describe el sistema MEPLAN. En la sección 3 se discuten las hipótesis generales para el desarrollo de un modelo MEPLAN concreto. Las secciones 4 y 5 consideran el desarrollo del modelo de Edmonton, describiendo respectivamente la definición de la estructura del modelo y la calibración de los parámetros. Las conclusiones se recogen en la sección 6.



## 2. DESCRIPCION DEL SISTEMA MEPLAN

El sistema MEPLAN incorpora una estructura input-output (Leontief, 1941) para establecer las demandas intermedias derivadas de la producción que satisfacen los consumos en cada una de las zonas en que se divide el área de estudio. El consumo en una zona dada se determina de la siguiente forma:

$$T_{ej} = D_{ej} + Q_{ej} \quad (1)$$

con

$$D_{ej} = \sum_M a_j^{mn} T_{gj}^n \quad (2)$$

donde:

$j$  = índice que representa las zonas de uso del suelo;

$m$  = índice que representan los factores (producción, servicios y mano de obra);

$n$  = índice que representan los factores (producción, servicios y mano de obra);

$a_j^{mn}$  = volumen del factor  $n$  consumido en la producción de una unidad del factor  $m$  en la zona  $j$  (coeficiente técnico)

$T_{ej}$  = volumen total del factor  $n$  consumido en la zona  $j$ ;

$Q_{ej}$  = componente exógena del volumen total del factor  $n$  consumido en la zona  $j$ ;

$D_{ej}$  = componente endógeno del volumen total del factor  $n$  consumido en la zona  $j$ ;

$T_{gj}^n$  = Volumen total del factor  $m$  producido en la zona  $j$ .

Se introduce un elemento espacial al localizar esta producción,  $T_{ej}$  entre todas las zonas de acuerdo a la siguiente expresión:

$$t_{ij}^n = \frac{\exp\left[\lambda^n\left(T_{bi}^n + d_{ij}^n + s_i^n + Q_{ei}^n + D_{ej}^n\right)\right]}{\sum_i \exp\left[\lambda^n\left(T_{bi}^n + d_{ij}^n + s_i^n + Q_{ei}^n + D_{ej}^n\right)\right]} \quad (3)$$



donde:

$i$  = índice que representa las zonas de usos del suelo;

$t_{ij}^n$ , = volumen del factor  $n$  producido en la zona  $i$  y consumido en la zona  $j$ ;

$d_{ij}^n$  = desutilidad asociada al transporte de una unidad del factor  $n$  desde la zona  $i$  hasta la  $j$  (para la persona o agente que toma decisiones respecto a la localización de actividades);

$s_i^n$  = factor de escala, que incorpora la probabilidad a priori de que una unidad del factor  $n$  sea producido en la zona  $i$ ;

$Q_{e_i^n}$  = componente exógeno de la desutilidad asociado específicamente a la producción del factor  $n$  en la zona  $i$ ;

$D_{e_i^n}$  = componente endógeno de la desutilidad asociado específicamente a la producción del factor  $n$  en la zona  $i$  (representa la influencia de todos los factores no representados explícitamente en el modelo);

$T_{b_i^n}$  = costo de producción de una unidad del factor  $n$  en la zona  $i$ ;

$\lambda^n$  = parámetro de dispersión asociado a la distribución de la producción del factor  $n$ .

Las demandas de transporte (denominadas 'flujos') se derivan de las transferencias calculadas como outputs (denominadas matrices de 'intercambios') entre las diferentes zonas. Estas demandas son cargadas en una representación de la red de transporte mediante un algoritmo de distribución modal nested-logit (Willians, 1977) y modelos de elección rutal que tienen en cuenta los efectos de la congestión. Las desutilidades resultantes para cada "flujo" permiten calcular las desutilidades de cada 'intercambio', que afectarán a la localización de actividades en el siguiente corte temporal simulado.

La representación de las condiciones de la demanda en cada modo disponible para un cierto flujo se construye a partir de las características de cada una de las "componentes" del viaje, que se corresponden con los estados que se dan en los arcos de la red asociados a dichas "componentes". Por ejemplo, el modo "automóvil" puede construirse con tres componentes: caminar al auto, desplazarse en el auto y estacionar el auto. Un viaje que se haga en modo automóvil utilizará los arcos asociados a cada una de estas componentes. Determinadas componentes de viaje pueden estar restringidas a tipos de arcos específicos y pueden utilizarse diferentes tipos de arcos para diferenciar costos monetarios de desplazamiento u otras desutilidades.

El espacio (tanto de suelo como de superficie construida) se considera como no-transportable, y por tanto la demanda de espacio en cada zona deberá ser satisfecha por la oferta de espacio en esa zona. La demanda de espacio se considera elástica y los cambios de precios equilibrarán la

oferta y la demanda en cada zona. Estos precios de equilibrio ingresan en el resto de la estructura input-output afectando todos los precios dentro del modelo. La oferta de espacio se actualiza en cada zona en cada corte temporal simulado.

Según lo expuesto, el sistema resulta altamente general y flexible, y puede ser utilizado para el análisis de muy diversas situaciones y rangos de escala. Para una descripción más detallada del sistema ver Simmonds (1993) y Hunt (1994).

### **3. METODOLOGIA GENERAL PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO MEPLAN ESPECIFICO**

El desarrollo de un modelo concreto, usando el sistema MEPLAN supone:

- seleccionar la estructura del modelo, incluyendo la definición de las zonas y las categorías que representen los factores económicos, las demandas de transporte, los modos, y las componentes de los viajes. También hay que seleccionar las formas funcionales para reproducir las relaciones entre estos ítems
- establecer los valores más apropiados para los parámetros que intervienen en las funciones.

Inevitablemente, este proceso de desarrollo requiere elevados requerimientos de información, tiempo y mano de obra, siendo necesario un compromiso entre la funcionalidad deseada, la sofisticación teórica y las limitaciones reales de los recursos disponibles.

En este contexto, el diseño y la calibración en el desarrollo de un modelo específico, deben entenderse como:

Diseño : decidir qué debe incorporarse al modelo, de forma que puedan simularse apropiadamente las políticas que deban considerarse.

Calibración : a partir del diseño dado al, hacer el modelo operativo y capaz de proporcionar resultados suficientemente precisos en las simulaciones.

El diseño se da tanto en la decisión inicial sobre la estructura del modelo como en las modificaciones posteriores de esa estructura, a medida que se avanza en su desarrollo. Para reproducir las políticas el modelo debe incorporar categorías y relaciones funcionales apropiadas. Además el modelo debe representar adecuadamente los mecanismos de conducta y las relaciones causa-efecto consiguientes. Todos estos aspectos deben ser considerados en la concepción del "diseño inicial". No obstante pueden darse (y normalmente se dan) cambios a medida que se avanza en el desarrollo del modelo, en respuesta a las limitaciones de la información disponible o a problemas en el comportamiento del modelo.

La calibración incluye la estimación de los parámetros del modelo, la modificación de la estructura del modelo y la re-estimación de los parámetros en la búsqueda de un comportamiento correcto en las simulaciones. Un desajuste entre el modelo y la realidad conocida puede llevar a la modificación de



la estructura del modelo, para mejorar sus resultados, por ejemplo modificando la forma de una función o variando la categorización. Pueden existir además inconsistencias entre las fuentes de información utilizadas que se hagan patentes durante la calibración y que aconsejen cambios en la estructura del modelo.

Por tanto, el proceso de desarrollo es de naturaleza iterativa, ya que la calibración - que a su vez es iterativa en la estimación de parámetros y en los cambios de estructura - puede conducir a la revisión del diseño, con el fin de asegurar que el modelo se comporta de acuerdo a los requisitos que se fijaron para el "diseño inicial". La selección de la estructura del modelo y la estimación de los parámetros concluyen cuando se completan el diseño y la calibración. Este proceso resulta, inevitablemente, complejo y requiere elevados consumos de tiempo y recursos.

## 4. SELECCION DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO DE EDMONTON

### 4.1 POLITICAS CONSIDERADAS

Algunos de los elementos de políticas más significativos que han de ser considerados en el modelo de Edmonton, y por tanto que influyen en su diseño inicial, son:

- Desarrollo de un sistema de ferrocarril ligero (LRT)
- Expansión del anillo de circunvalación
- Reurbanización del sector central
- Mejora de efectividad en el transporte público
- Usos alternativos en los terrenos del Aeropuerto Municipal
- Desarrollo y Rol de los centros de actividad suburbanos
- Tendencia creciente de trabajo en el propio hogar
- Calidad del aire
- Demanda de electricidad
- Impactos de los impuestos municipales

Los elementos del modelo deberán ser diseñados de forma que el modelo proporcione una representación adecuada de las características del sistema relevantes en relación a los aspectos citados. Por ejemplo, para examinar el impacto de la expansión del sistema de ferrocarriles ligeros y las opciones de park+ride asociadas se han incorporado modos y arcos que representen en detalle el sistema de ferrocarriles ligeros y se ha hecho una zonificación más detallada a lo largo de los futuros corredores potenciales.

### 4.2 ESPECIFICACION DE CATEGORIAS

A continuación se presentan los factores de empleos, espacio (suelo y superficie construida), modos de transporte, componentes de viaje y zonificación incluidas en el diseño inicial.



#### **4.2.1 FACTORES DE EMPLEOS Y ESPACIO**

La definición de factores de empleo y espacio están estrechamente relacionados. Los empleos, definidos como combinación del sector de actividad y el tipo de ocupación, se localizan en dos tipos de espacio. Por ejemplo, el empleo en el sector industrial se divide en (1) 'industry/office' [industria/oficina] que incluye todas las ocupaciones "non-blue-collar" y consumen espacio de oficinas y (2) 'industry/industrial' [industria/industrial] que consumen espacio industrial.

#### **4.2.2 SELECCION DE LOS MODOS Y COMPONENTES DE VIAJE**

Los modos se han seleccionado de forma que permitan un análisis razonable de las políticas y proporcione un nivel de detalle correcto en lo que se refiere a la distribución modal. En el modelo de Edmonton se ha incluido el modo no-motorizado junto a los modos automóvil, transporte público, park+ride y camión.

Las componentes que forman cada modo se han escogido de forma que representen distintas actividades relacionadas con el uso del modo. Se han usado diferentes etapas "caminar" para cada modo, con el fin de facilitar la simulación de restricciones específicas que se dan en ciertos arcos de la red. También se han usado diferentes etapas "viajar en vehículo" para cada modo, con el fin de considerar sus distintos valores del tiempo.

#### **4.2.3 ZONIFICACION**

La zonificación se ha definido por agregación de las zonas del modelo de transporte de Edmonton existente y teniendo en cuenta las divisiones censales. La zonificación ha sido más detallada en las zonas más relacionadas con las políticas consideradas. Esto permitirá al modelo una respuesta más precisa sobre los efectos zonales de dichas políticas.

### **4.3 ESTRUCTURA GLOBAL DEL MODELO DE EDMONTON**

La figura 1 visualiza la estructura del modelo de Edmonton. En la descripción de la figura se representan entre paréntesis los símbolos utilizados en la figura 1.

La matriz central indica el patrón de producción y consumo para cada uno de los factores considerados en el submodelo de Usos del Suelo. Cada una de las filas de esta matriz se relaciona con el comportamiento del consumo en el proceso de producción de un factor, mostrando qué factores se consumen en su producción con tasas de consumo fijas (f), elásticas (e) o variables (v) de acuerdo con una función de consumo tipo Stone-Geary (Theil, 1980).

La fila aislada, justo sobre la matriz central, representa los factores que tienen parte de su producción demandada exógenamente, siempre con coeficientes fijos (f). En el modelo Edmonton, todas las categorías de hogares y empleos, tienen una parte de sus outputs demandados exógenamente, excepto para 'education/government' [educación/gobierno] y 'education/schools' [educación/colegios].



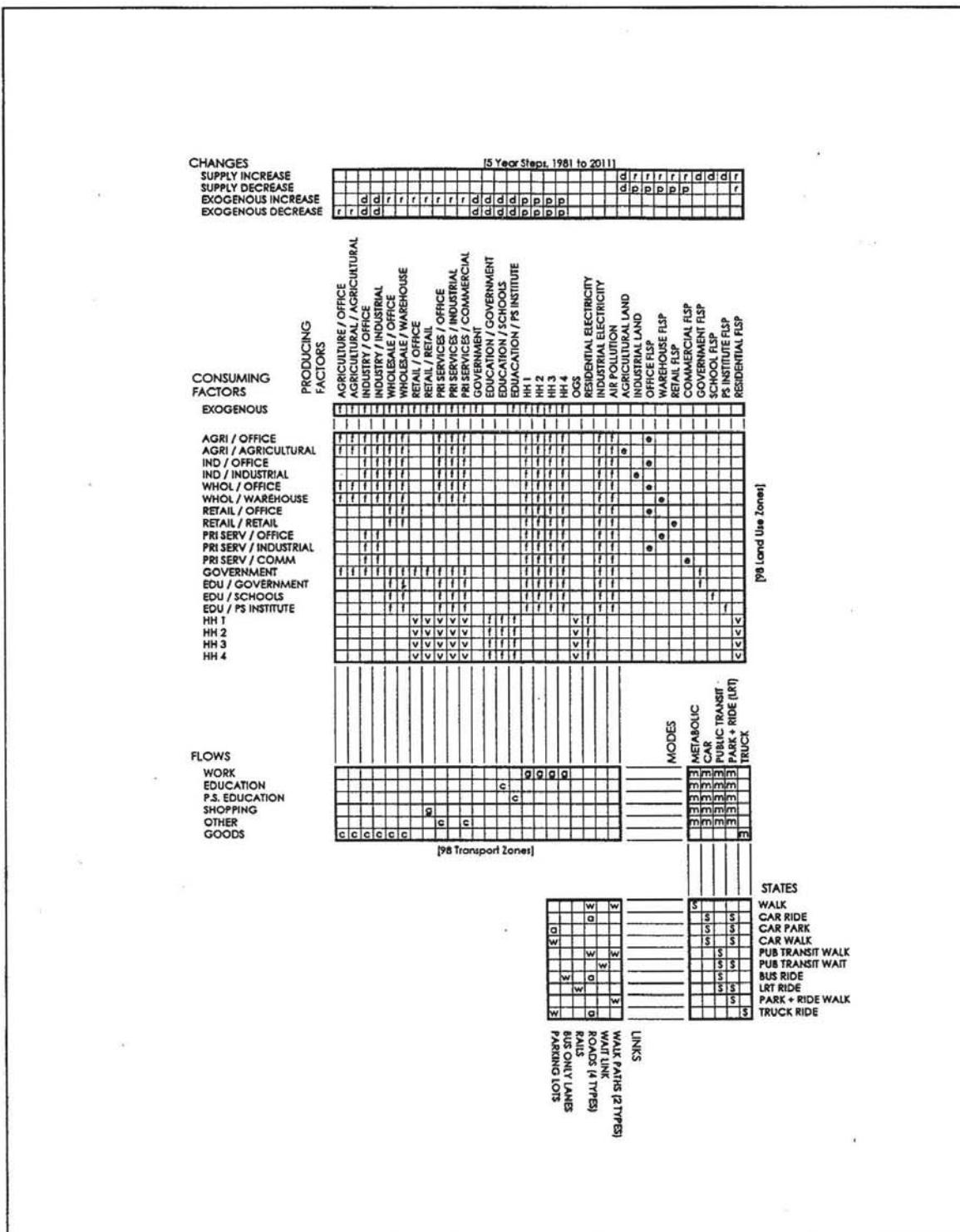
La matriz en la parte superior de la figura 1 está relacionada con la estructura del modelo incremental de localización. Muestra las características que son tenidas en cuenta para la localización espacial (de acuerdo a la zonificación de Usos del Suelo) de los incrementos y decrementos en la oferta de suelo y en las demandas exógenas. Los cambios pueden ser localizados directamente, sin utilización de expresiones matemáticas (d), proporcionalmente a los valores existentes antes de la distribución (p), o en función de los precios y restricciones existentes (r).

Hay dos matrices bajo la matriz central. La de la izquierda indica la estructura de la interface entre los submodelos de uso del suelo y de transporte. Cada fila de esta matriz está relacionada con una de las matrices de demanda de transporte, o lo que es lo mismo con uno de los flujos físicos modelados, y señala los factores productivos (en las columnas de la matriz) cuyos intercambios económicos generan el flujo físico en cuestión. Los factores de transformación asociados pueden ser constantes (c) o variables en función de las desutilidades de viaje (g).

Las tres matrices restantes están relacionadas con la estructura del modelo de Transporte.

La de la derecha muestra los modos disponibles para cada uno de los flujos. Cada fila representa un flujo y cada columna los modos considerados en el modelo que puede usar ese flujo (m).





**Figura 1: Estructura del modelo de Edmonton. Categorías y funciones matemáticas en los diferentes componentes del modelo**

La matriz inferior-derecha muestra las componentes de viaje (s), en las filas, utilizadas para modelizar cada modo, en las columnas). Por ejemplo el modo 'auto' está formado por tres etapas: 'car walk' [caminar al auto], 'car ride' [viajar en el auto] y 'car park' [estacionar el auto].

La matriz inferior-izquierda señala cómo son tratadas las componentes de viaje en la red de transporte. Cada fila se asocia con una componente, mostrando los tipos de arcos, en las columnas, que pueden usar, con restricción de capacidad (a) o sin ella (w).

#### **4.4 ESPECIFICACION DE FORMAS FUNCIONALES**

El proceso general para determinar la expresión más adecuada para una determinada función matemática en el modelo empieza por fijar la expresión aceptable más sencilla, e ir introduciendo expresiones más complejas a medida que avanza el proceso de calibración y se ve necesaria una representación más compleja ante las dificultades de ajuste de la función utilizada.

Las formas funcionales iniciales en este proceso, están dictadas por supuestos razonables, por experiencias previas y teniendo en cuenta que puedan proporcionar una representación correcta de la realidad y simular las políticas que quieren probarse. Las funciones de la figura 1 corresponden a estas expresiones simples iniciales, que pueden ser modificadas a medida que avance el proceso de calibración.

### **5. ESTIMACION DE PARQUIMETROS EN EL MODELO DE EDMONTON**

La estimación de valores incluye tanto los inputs como los parámetros del modelo.

#### **5.1 INPUTS FIJOS**

Los inputs fijos son valores exógenos incorporados al modelo, e incluyen:

- el número de hogares desempleados y retirados en cada tipo de hogar y para cada corte temporal;
- la proporción de la demanda que se exporte para cada factor de empleo (análogo a la componente básica de Lowry para cada factor); y
- los cambios en la superficie construida total, para cada tipo de construcción y para cada escenario temporal.

Los valores de estos inputs deben determinarse para cada corte temporal antes de que se ejecute el modelo. Para la mayoría de los inputs se usan valores totales, para todo el área de estudio, que son distribuidos entre las zonas endógenamente, según modelos incrementales de localización, desarrollados como parte del modelo. La excepción la constituyen los factores cuyos cambios se especifican individualmente para cada zona, como son los empleos en industria pesada, gobierno y educación, el suelo agrícola y varios tipos de espacio para organismos oficiales.



## 5.2 PARAMETROS 'ON-TIME' Y 'HEURISTICOS'

En el modelo hay parámetros On-time y heurísticos, de acuerdo a la manera en que son estimados.

Los parámetros On-time son estimados de una vez, usando datos externos al modelo, y no necesitan ser re-estimados. En el modelo de Edmonton se dan los siguientes parámetros on-time:

- coeficientes técnicos fijos,  $a_i^{mn}$
- parámetros de sensibilidad en las funciones de utilidad usadas para la distribución modal
- estructura anidada en el proceso de distribución modal
- coeficientes para la generación de viajes a partir de los intercambios económicos
- funciones de cotos monetarios de transporte
- viajes de vehículos con al menos uno de sus extremos externos al modelo
- características físicas y topología de la red de transporte, incluyendo velocidades en flujo libre, capacidades y funciones de restricción de capacidad
- características de los servicios de oferta de transporte, expresados como atributos de las redes, incluyendo rutas de transporte público y sus frecuencias.

La mayoría de los parámetros en MEPLAN son 'heurísticos' en su estimación, en el sentido de que se determinan usando datos sintetizados por el modelo y deben ser re-estimados cada vez que se ajusta el modelo. Nótese que los datos sintetizados por el modelo se usan como inputs para otros submodelos y no como proxies de los datos observados.

Para empezar la calibración se sigue un proceso de trial-retrial para 'romper' el bucle iterativo que existe entre los submodelos de Usos del Suelo y de Transporte. El proceso se inicia con una "buena aproximación" para los valores de los parámetros heurísticos, al tiempo que se restringe el modelo para reproducir los valores zonales conocidos y las interacciones de hogares, empleos y tipos de viajes. (estos valores se denominan 'objetivos'). A continuación se pone en marcha el proceso de iteraciones circulares y se van retirando restricciones, una a una, al tiempo que se hacen ajustes en los parámetros para reproducir los valores objetivo, con desviaciones tan pequeñas como sea posible. Este proceso puede verse como una estimación multietapa, que consiste en la búsqueda del vector de parámetros, para todas las componentes del modelo, que proporcionan el mejor ajuste global. La utilización de este proceso trial-rettrial supone un compromiso respecto al método teóricamente ideal, en el que todos los parámetros son estimados de forma simultánea.

La iteración entre submodelos se hace inicialmente para un instante concreto del tiempo, que se corresponde con uno de los escenarios temporales simulados. A este escenario se le denomina 'Año



Base'. La figura 2 proporciona una representación de este proceso, incluyendo los parámetros que son considerados dentro del mismo.

El año Base para el modelo de Edmonton es 1991. La razón es que los mayores requerimientos de datos se dan para el Año Base, y en 1991 se dispone de un Censo Federal de Canadá (Statistics Canada, 1991), lo que supone que muchos de los datos necesarios están disponibles para ese año. Se han utilizado también datos fiscales de 1992 como indicativos de las condiciones de precios del suelo y superficie construida en 1991, siendo este uno de los requerimientos de información más difíciles de satisfacer. Debe señalarse que la secuencia de 5 años entre censos, es un factor decisivo en la elección de incrementos de 5 años entre escenarios temporales simulados.

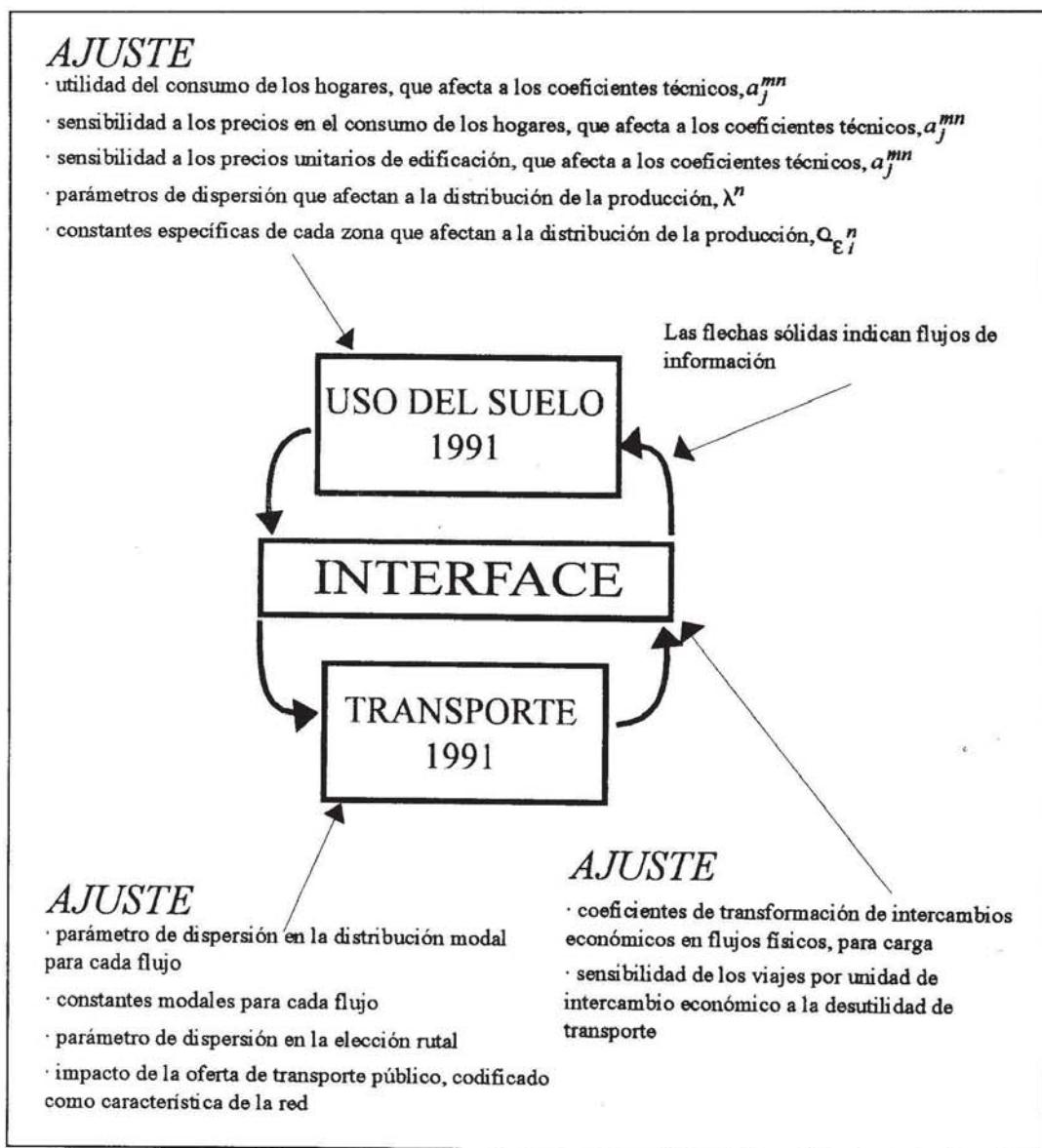


Figura 2: Sistema de parámetros en el bucle de 1991

Una vez que el ciclo del Año Base opera establemente y se han identificado un conjunto consistente de parámetros, se procede al desarrollo de los modelos incrementales de localización, usando datos de los períodos 1986-1991 y posiblemente 1981-1991. Los parámetros de estos modelos se estiman por mínimos cuadrados generalizados en versiones linealizadas de las expresiones del modelo. Estos parámetros son reajustados en respuesta a los cambios en la estructura del modelo y en los parámetros, una vez que el modelo se ejecuta en su forma dinámica completa.

Para poner en marcha el modelo en su forma dinámica, el bucle de 1991 debe abrirse hacia un funcionamiento continuo desde el año 1976 al 1991, como muestra la figura 3. Son necesarios nuevos ajustes trial-retrial en los parámetros de los submodelos de usos del suelo y transporte de acuerdo a las situaciones conocidas para 1981, 1986 y 1991 y de los parámetros del modelo incremental de localización en respuesta a los valores sintetizados de 1981 y 1986. La figura 3 muestra los parámetros considerados en este proceso. Cuando se sigue un proceso relativamente formal para la estimación de los parámetros se dispone de indicadores de la bondad del ajuste. Para los parámetros en los que se sigue un proceso trial-retrial y la observación es una distribución, en vez de un valor único, se puede utilizar un medición tipo  $\chi^2$ , que considere la suma de los cuadrados de los errores relativos y proporcione una medición de la bondad de ajuste.

Las decisiones más difíciles se deben tomar en el caso de que se alcance un punto en el que se den lagunas persistentes en el ajuste del modelo. En este momento debe cuestionarse la consistencia de los datos, dado el amplio rango de fuentes utilizadas. También cabe cuestionarse y revisar la forma del modelo y el sistema mismo.

## 6. CONCLUSIONES

El sistema MEPLAN es altamente flexible. La gran variedad de modelos a los que se puede aplicar implica que puede resultar difícil fijar el punto de inicio para el desarrollo de un modelo específico. Este artículo describe un proceso que puede usarse en el desarrollo de un modelo MEPLAN concreto y presenta su aplicación práctica en el modelo de Edmonton. De este modelo se presenta su estructura general pero no su forma final ni sus resultados. De hecho en el momento de escribir este artículo el proceso de calibración no se ha completado y por tanto no se dispone de simulaciones definitivas.

La calibración es el proceso de aplicación más general y por tanto también de interés más general. Este proceso es el resultado de la experiencia acumulada en desarrollo de numerosos modelos MEPLAN, y se ha mostrado repetidamente como un proceso práctico que puede seguirse para obtener un modelo ajustado y útil para la prueba de políticas. En este contexto la presentación de los resultados de la simulación supondría únicamente la confirmación de este punto. El objetivo del artículo se centra en el proceso mismo, mostrando su forma y algunas de las consideraciones relacionadas con su aplicación a un caso concreto. Consistentemente con este objetivo, se ofrecen algunas conclusiones en relación al proceso y a su aplicación a un caso real.



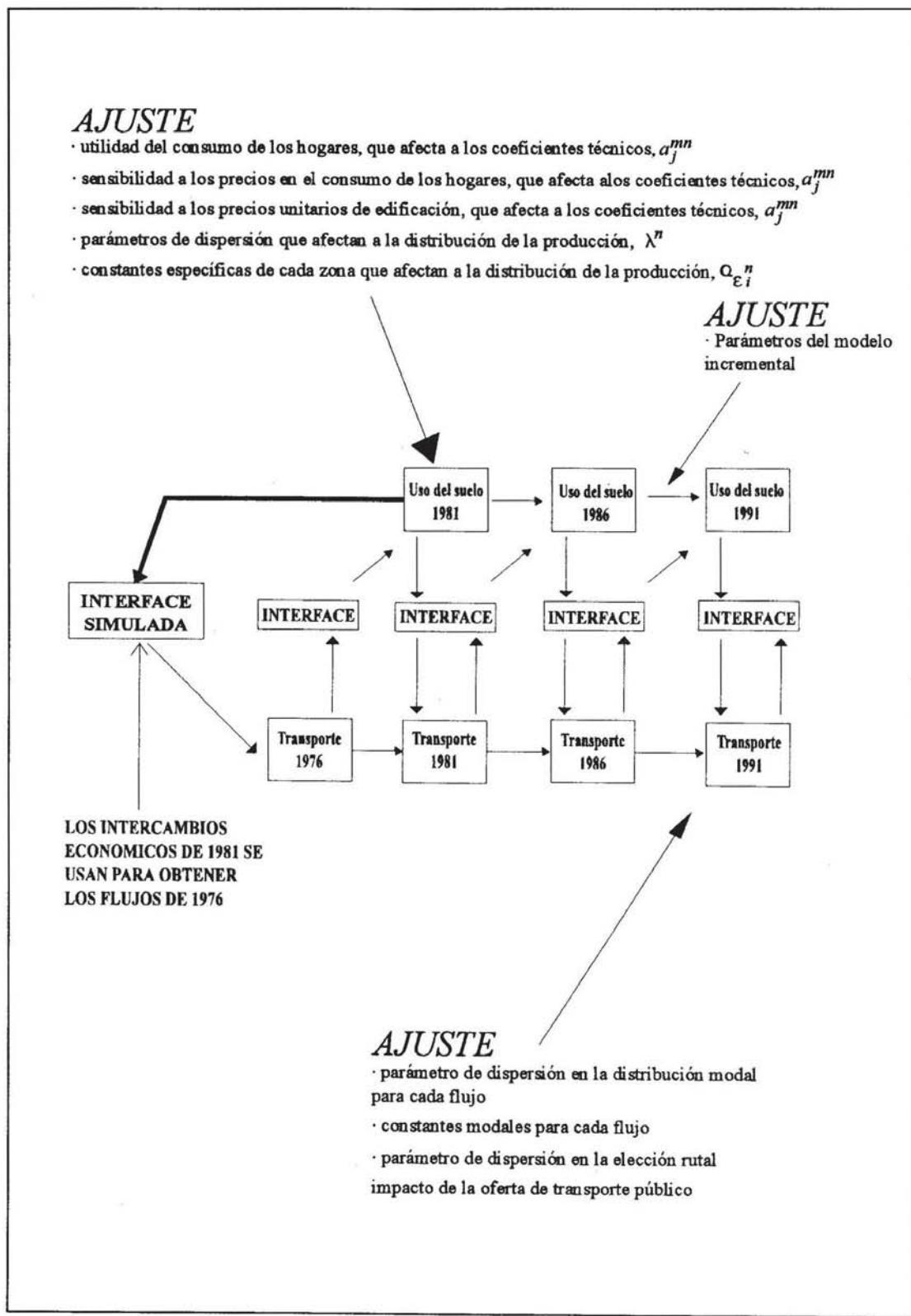


Figura 3: Sistema de ajuste de parámetros heurísticos, cuando se considera el modelo dinámico entre 1976 y 1991

El proceso de desarrollo del modelo resulta comparativamente complejo, lento y caro. Esto es una consecuencia de la naturaleza altamente interactiva y sintética del sistema y de su capacidad para incorporar un gran número de componentes. El alto grado de interrelación entre estos componentes hace compleja la decisión sobre cuales y cómo deben incluirse en el modelo y a continuación poner el sistema en marcha, proporcionando buenos resultados. El uso de una metodología como la que aquí se presenta resulta de gran ayuda en este proceso al proporcionar una estructura para las tareas que deben hacerse.

El proceso descrito proporciona una estructura para sistemáticas más automáticas que podrían desarrollarse. En una buena parte de las tareas del proceso se usan formas trial-retrial. El proceso "converge" hacia un modelo capaz de simular políticas y proporcionar una reproducción de los aspectos relevantes de la realidad conocida, pero esta convergencia puede ser lenta. La automatización de tareas supondría una gran ventaja en este sentido. Una de las ventajas del proceso descrito es que proporciona una estructura a la que se le podría incorporar esta automatización de forma progresiva. Es claro que los sistemas de manejo y procesamiento de la información tienen un importante papel que desempeñar en este proceso. Los SIG pueden ser de gran utilidad y deberán ser considerados en aplicaciones futuras.

Por último, se ha destacado la magnitud del tiempo y recursos consumidos en el desarrollo de un modelo MEPLAN. En este sentido es muy importante que también sean tenidos en cuenta los beneficios de un planeamiento más sólido. Los requerimientos de tiempo y recursos podrían parecer elevados, en especial si se comparan con los de otros sistemas más limitados en su alcance. Pero un modelo que aproveche en su desarrollo la potencialidad de MEPLAN tiene mucho más que ofrecer a los planificadores, en términos de soporte para la toma de decisiones consistentes en un amplio rango de políticas. Estos beneficios implican un costo adicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha contado con la colaboración del "Edmonton Land Use and Transport Task Force", y de Alan Brownlee y Lorne McMaster, de la ciudad de Edmonton, en particular. La Ciudad de Edmonton y el Natural Science and Engineering Research Council de Canadá han financiado los trabajos. Una versión previa de este artículo ha sido presentada en la Cuarta Conferencia Internacional sobre Computadores en el Planeamiento y Gestión Urbana (Hunt y McMillan, 1995).

## **REFERENCIAS**

Ang AHS y Tang WH (1975) **Probability Concepts in Engineering Planning and Design -Volume 1: Basic Principles**. John Wiley, New York, USA.

Batty M (1976) **Urban Modelling: Algorithms, Calibrations, Predictions**. Cambridge University Press, Cambridge, England.

Echenique MH (1994) Urban and regional studies at the Martin Centre: its origins, its present, its future. **Environment and Planning B** 21, 517-533.



Hunt JD y DC Simmonds (1993) Theory and application of an integrated land-use and transport modelling framework. **Environment and Planning B** **20**, 221-244.

Hunt JD, AT Brownlee, LP Doblanko y DW Ploof (1993) Using variable demand auto assignment to implement mode split models in Edmonton and Calgary, presented at the **8th Annual International EMME/2 Users Conference**, Seattle, November 1993.

Hunt JD (1994) Calibrating the Naples land-use and transport model. **Environment and Planning B** **21**, 569-590.

Hunt JD y JDP McMillan (1995) The Edmonton MEPLAN model: Calibration and data considerations. **Proceedings of the Fourth International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management**, Melbourne, Australia, July 1995, Volume 2, 13-25.

Hyman GM (1969) The calibration of trip distribution models. **Environment and Planning** **1**, 105-112.

Leontief W (1941) **The Structure of the American Economy 1919-1939**. Oxford University Press, New York, USA.

Lowry IS (1964) **A Model of Metropolis**. Rand Corporation, Santa Monica, USA.

Statistics Canada (1981) **Standard Occupational Classification 1980**. Statistics Canada Standards Division, Minister of Supply and Service Canada, Ottawa, Canada.

Statistics Canada (1986) **Standard Industrial Classification for Companies and Enterprises 1980**. Standards Division, Ottawa, Canada.

Statistics Canada (1992) **1991 Census of Canada**. Supply and Services Canada, Ottawa, Canada.

Theil H (1980) **The System-wide Approach to Microeconomics**. University of Chicago Press, Chicago, USA.

Williams HCWL (1977) On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. **Environment and Planning A** **9**, 285-344.

