

## UN MODELO DE DISEÑO DE PLAN DE USO DEL SUELO

Traducción del artículo "A Land Use Plan Design Model" de *Kenneth J. Schlager*, aparecido en la Revista "Journal of the American Institute of Planners", Mayo de 1965.

Sugiere el autor que el proceso de planificación de conjunto puede ser susceptible de una solución mediante máquina computadora. Describe su punto de vista sobre la naturaleza del problema y luego define detalladamente una solución experimental a través del uso de la programación lineal.

En esta solución, el objetivo es minimizar los costos totales de inversión pública y privada sujetos a un cierto número de restricciones del diseño que el planificador puede manejar libremente. El producto del programa es un plan completo de uso del suelo. Se plantean en forma breve otros métodos más precisos de solución. Aún cuando permanezcan sin respuesta muchas preguntas acerca del proceso de la planificación y acerca de la naturaleza de una "mejor" solución, este artículo representa un verdadero "primer" ataque frontal a un problema importante de teoría y práctica de la planificación. (Britton Harris).

Los avances de postguerra en matemáticas aplicadas y computación electrónica han despertado gran interés por la aplicación de modelos matemáticos y de sistemas de elaboración de antecedentes a la planificación urbana y regional. Se ha hecho notorio progreso en la aplicación de estas técnicas a la planificación del transporte urbano, y más recientemente se han iniciado una cantidad de proyectos de investigación con miras al desarrollo de modelos de uso del suelo. Parece no discutirse que el impacto potencial a largo plazo de estos métodos será revolucionario, pero algunos críticos han puesto en duda la atinencia de los modelos usuales de planificación con los verdaderos problemas de los planificadores.

La pregunta obvia es: ¿qué problemas pueden resolver los modelos actuales?

Aún un vistazo rápido a los modelos actuales de planificación de uso del suelo revelará gran énfasis en explicar y predecir la conducta humana.

Con bastante razón, muchos de estos modelos incluyen la palabra *predicción* (forecasting) en alguna parte de su título. Un enfoque de esta naturaleza concibe el complejo urbano como un fenómeno que debe ser explicado científicamente y como una configuración cambiante, que puede ser predicha de la misma manera como puede predecirse el sistema solar por medio de las teorías de la física. En realidad, tal enfoque puede muy bien denominarse física social aplicada. La filosofía que sustenta este enfoque es el resultado natural de la transferencia directa de la metodología de las ciencias físicas.

## Diseño del Plan: el problema central

Un punto de vista contrario concibe el complejo urbano como tema de diseño. En este enfoque, el plan es una síntesis consciente de forma urbana para solucionar las necesidades humanas. Más bien que servir como una restricción negativa de los aspectos indeseables de la conducta humana, el plan hace las veces de una fuerza positiva para el desarrollo dirigido de la comunidad.

Este punto de vista del diseño no es nuevo. Ha sido la base, durante siglos, de las realizaciones de arquitectura e ingeniería. Lo que es nuevo, o por lo menos no ha sido tomado en cuenta en los años recién pasados, es la posibilidad de usar los avances recientes de las matemáticas aplicadas y de la computación electrónica en el diseño de planes. El diseño y no la explicación ni la predicción, viene a ser el problema básico para la solución.

El tema de este artículo es el diseño de un plan de uso del suelo y un modelo de diseño de plan de uso del suelo, actualmente en desarrollo. Sin embargo el diseño no es sino una dentro de una secuencia de funciones en el proceso de la planificación. Por esta razón, la introducción del modelo de diseño será precedida por una discusión sobre el rol de los modelos matemáticos en una secuencia específica de uso del suelo-planificación del transporte.

La Fig. N<sup>o</sup> 1 muestra un diagrama-sistema que ilustra las relaciones funcionales en el proceso de la planificación. Aún cuando este diagrama representa específicamente la secuencia de la planificación relacionada con la formulación de un plan regional de uso del suelo-transporte, es típico de otras secuencias de planificación.

La primera función en la secuencia de la planificación es la de predecir la población y el mercado ocupacional, como base para determinar futuras necesidades de uso del suelo.

En el actual estudio Uso del Suelo-Transporte, de la Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission, se investigan nuevos métodos de predicción socio-económica, en un intento de proporcionar pronósticos, más precisos y comprehensivos, de ocupación y población. Estas técnicas nuevas, que giran alrededor del Modelo de Simulación Económico Regional, son tema de otro artículo y no las discutiremos en detalle.

Cualquiera que sea el método usado se debe tener pronósticos sobre empleos y población como producto del primer paso de la secuencia de planificación.

En la segunda función se determinan los requerimientos globales de la demanda de uso del suelo por medio de la aplicación de un coeficiente de conversión, designado generalmente como standard de diseño, a cada categoría de ocupación y población. Tal multiplicación y suma dará como resultado un conjunto detallado y clasificado de necesidades globales para usos del suelo con propósitos residenciales, industriales, comerciales u otros. Estas demandas globales aportan una de las entradas (inputs) básicas de la tercera función: el diseño del plan.

El diseño del plan es el corazón del proceso de la planificación. La función del diseño del plan de uso del suelo es principalmente la distribución de una fuente escasa, el suelo, entre otras actividades de uso del suelo competitivas y a menudo conflictivas. Esta distribución debe cumplirse en forma tal que satisfaga las necesidades globales de cada uso del suelo y cumpla con todos los standards de diseño (derivados de los objetivos del plan) a un costo razonable.

El plan seleccionado en la etapa de diseño del proceso de planificación debe ser llevado a cabo en el mundo real. Las decisiones privadas de los urbanizadores, constructores, y de los grupos familiares pueden ser contrarias a la estructura predial prescrita en el plan. Este problema de llevar el plan a la realización (implementation), es la función de la tercera etapa del proceso de planificación ilustrado en la Fig. 1, test de realización de un plan de uso del suelo.

Las realizaciones del plan de uso del suelo están imitadas en el Modelo de Simulación de Uso del Suelo, representando detalladamente los procesos de decisión de los grupos familiares y de las firmas comerciales que influyen en la urbanización del suelo. Las políticas de control del uso del suelo público y los programas de obras públicas son entradas exógenas al modelo. En la práctica, debe llevarse a cabo un cierto número de experimentos con diferentes políticas de control de uso del suelo y con diferentes programas de obras públicas, hasta poder determinar un conjunto de políticas y programas que den como resultado la realización del plan de uso del suelo que se tenía como meta.

La información devuelta (feedback) en el diagrama, entre el desarrollo de uso del suelo y el diseño de plan de uso del suelo, vale por los cambios que, seguramente, serán necesarios en el diseño del plan para hacerlo posible. El producto de la tercera etapa del proceso es un plan de uso del suelo capaz de ser llevado a la práctica.

El resto de las etapas de la secuencia de planificación configuradas en la Fig. 1 se refieren al desarrollo de un plan de transporte.

Las entradas principales en un sistema de transporte son los viajes generados como una función del uso del suelo. Debido a esto, se muestra en el diagrama el plan de uso del suelo como una entrada del diseño del plan de transporte. No se indican modelos de la función del diseño de plan de transporte; ninguno existe, que yo sepa. Pueden usarse modelos de distribución de viajes y de destinación del tráfico, para probar el plan diseñado intuitivamente por el planificador del transporte. Como resultado de la simulación de modelos, se revisa la red del plan de transportes hasta obtener un sistema satisfactorio.

Aun cuando cada función en el proceso de la planificación es importante para la realización final de un plan creativo y práctico, el rol principal es el del diseño del plan, ya que él es el punto focal de toda la actividad planificadora pasada y futura.

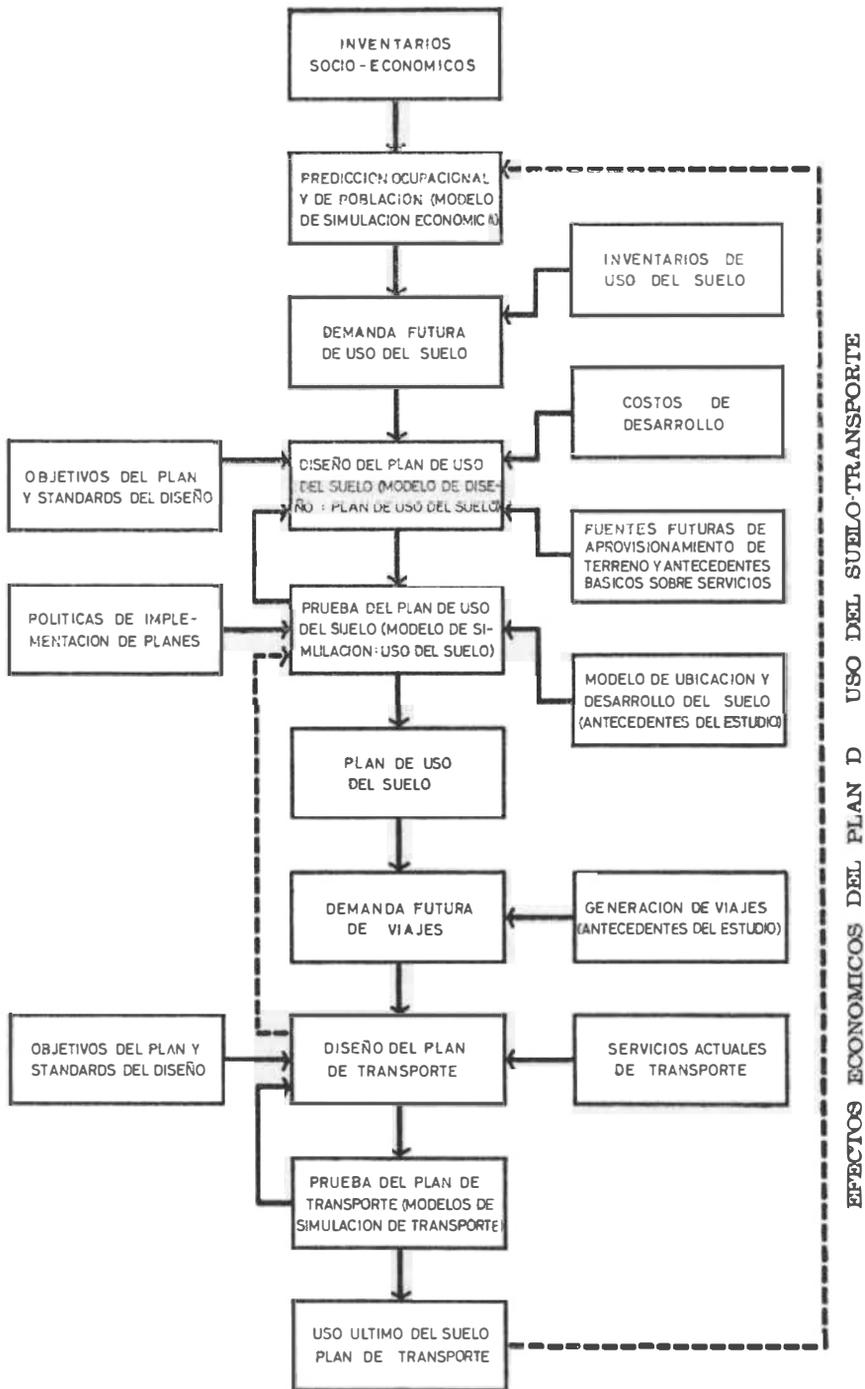


Figura 1

## El proceso de diseño del Plan de uso del suelo

Para poder apreciar la necesidad y requerimiento de un modelo de diseño de plan de uso del suelo, es necesario examinar cuidadosamente el proceso del diseño en general y el proceso del diseño del plan de uso del suelo en particular. La discusión analítica del proceso de diseño es escasa. La mayor parte de la literatura sobre diseño está basada en conceptos intuitivos y artísticos o en estilos que han predominado en ciertos períodos de la historia.

Una excepción a esta escasez general de literatura es un trabajo reciente de Alexander que define el problema del diseño como un "ajuste" entre el planteamiento del problema y su solución:

"Está basado en la idea de que cada problema de diseño comienza con un esfuerzo por lograr el ajuste de dos cosas: la forma en cuestión y su contexto. La forma es la solución del problema; el contexto define el problema. En otras palabras, cuando hablamos de diseño, el objetivo real de la discusión no es solamente la forma, sino el conjunto que abarca la forma y su contexto".

Lograr este acuerdo entre la forma y su contexto no es una tarea simple, ya que los muchos requisitos que forman el contexto del problema de diseño, a menudo actúan entre sí de una manera compleja. Los intentos que se hacen para cumplir con un requisito del diseño llevan a menudo a violar otros. Frente a tal complejidad, el diseñador puede sentirse tentado a ignorar el verdadero problema del diseño y a sustituirlo por un diseño tradicional.

Aun cuando un enfoque de este tipo pudiera ser aceptable desde un punto de vista político, el problema primitivo queda sin resolver.

Las dificultades del proceso de diseño derivan principalmente de la incapacidad del diseñador humano de manipular simultáneamente un gran número de relaciones del diseño que actúan entre sí. Las matemáticas, sobre todo en sus formas más nuevas tal como Álgebra moderna, aportan una herramienta poderosa para el manejo de estas relaciones de modo de dar una solución más efectiva a los problemas del diseño.

Las formulaciones matemáticas deben cumplir con dos condiciones, relacionadas con la definición de Alexander de un "problema de selección", para que sean útiles en síntesis del diseño: *una*, "Debe ser posible generar, simbólicamente, un campo bastante amplio de posibles soluciones alternativas"; *dos*, "Debe ser posible expresar todos los criterios de solución en términos del mismo simbolismo". A pesar de que Alexander no persigue la solución directa de los problemas de selección por medio de técnicas matemáticas, su definición aporta criterios útiles para la formulación sistemática de tales problemas.

El diseño de planes de uso del suelo, a pesar de su ya admitida complejidad, posee ciertas características inherentes que cumplen las exigencias de Alexander de un problema de selección. El primer requisito, que implica la generación de un amplio campo de soluciones al-

ternativas simbólicamente, se logra naturalmente en el diseño de planes de uso del suelo a través de la medida común para todos los planes de uso del suelo: el suelo mismo. Todos los planes de uso del suelo para áreas que van desde la más pequeña subdivisión hasta regiones compuestas de varios estados, pueden expresarse simbólicamente por tres grupos de variables:

- 1.—El tipo de uso del suelo (variables de calidad).
- 2.—La densidad de uso del suelo (variables de cantidad).
- 3.—La ubicación geográfica (variables de ubicación).

Típicamente, el área en estudio será subdividida en una red de "Zonas" de igual área. La variable de ubicación se determina por las coordenadas geográficas de la zona en cuestión. Para cada zona, las densidades y tipos de usos del suelo pueden expresarse como medida de las actividades de esa área zonal. La cantidad de datos proporcionados dependerán de la intensidad de la red. Para áreas pequeñas, una zona puede ser tan pequeña como un predio residencial particular. En regiones extensas, pueden ser condados o aún estados. El punto vital a observarse es que todos los planes de uso del suelo pueden expresarse por medio de estas tres clases de variables.

La naturaleza cuadrículada del sistema coordinado no limita los resultados a planes rectangulares. Todo lo contrario, el plan más complejo e irregular puede expresarse con las variables designadas si se elige un tamaño apropiado de malla.

La segunda condición, concerniente a la relación simbólica entre formas alternativas y requisitos del diseño, también se cumple en el programa de diseño del plan de uso del suelo. Todas las exigencias o "standards" del diseño restringen de un modo u otro el conjunto de planes aceptables de uso del suelo. Para un modelo de diseño, estas exigencias pueden dividirse en dos tipos principales:

1.—Exigencias que restringen el valor numérico mínimo o máximo de un uso de suelo o una relación entre usos del suelo *dentro de una misma zona de la malla* (standard intra-zonal). Como ejemplos tenemos el hecho de que las áreas inundables de una zona dada no podrán ser urbanizadas (standard de valor máximo) o prevención del desarrollo simultáneo de un sector industrial y residencial, en la misma zona (standard de relación).

2.—Requisitos que restringen una relación entre usos del suelo *entre zonas de la malla* (standard inter-zonal); por ejemplo, la necesidad de ubicar una escuela primaria a una distancia o tiempo específica de todas las unidades residenciales.

En cualesquiera de las clases la exigencia del diseño puede expresarse simbólicamente como una igualdad algebraica, o más a menudo aún, como una desigualdad, usando las tres clases de variables mencionadas arriba.

Repito, es posible cumplir con esta condición, tal como con la

primera, porque la planificación del uso del suelo se preocupa de un solo recurso, mensurable: el suelo.

Que estas afirmaciones de que la generación simbólica de alternativas de diseños y la comparación requerimientos-alternativa sean auténticas, serán más claras cuando se explique, más adelante, la metodología del diseño del modelo.

Es útil, a esta altura, presentar una definición específica y sucinta del problema de diseño del plan de uso del suelo, indicando la naturaleza tanto de los requisitos del diseño como de sus alternativas. Para un experimentado planificador urbano, ciertamente el problema no será nuevo, ya que es el mismo problema básico con el que él ha tratado intuitivamente durante sus experiencias pasadas en diseño. El problema, como se plantea más adelante, puede aparecer excesivamente cuantitativo, y el énfasis sobre costos mínimos puede aparecer innecesario, pero fundamentalmente es el mismo problema de diseño de la forma urbana que ha desafiado al hombre desde que se descubrió que las ciudades eran útiles. Para resumir, el problema del diseñador de la forma urbana es:

1) *Dados los requisitos del diseño expresados como:*

- a) Un conjunto de standards del diseño en términos de restricciones de las relaciones de uso del suelo que puedan existir en el plan.
- b) Un conjunto de necesidades o exigencias para cada tipo de uso del suelo basado en el cálculo de la futura actividad urbana.

2) *Sintetizar un diseño de plan de uso del suelo que satisfaga a ambos, a las demandas de uso del suelo y a los standards del diseño, considerando el estado actual de las características naturales y artificiales del terreno, con una mínima combinación de costos públicos y privados.*

La base conceptual para costos mínimos —debe hacerse énfasis en ello— no significa aportar un plan barato, sino evitar el gasto innecesario de recursos valiosos, siempre que se cumpla en el diseño del plan con los standards de diseño y con las demandas del suelo.

Los standards intra-zonales del diseño pueden tomar la forma de limitaciones de la densidad o de restricciones de los tipos de uso del suelo que pueden coexistir dentro de una zona. Un ejemplo de standard intra-zonal del diseño sería colocar un centro comercial regional a cierta distancia en tiempo de cada área residencial. Los requisitos de demanda de uso del suelo restringirían el grupo de planes aceptables a aquéllos que proporcionen el total global de las necesidades de cada uso del suelo sobre toda el área de diseño.

El estado actual del suelo, ya sea que esté urbanizado o en forma natural, es la primera consideración que debe hacerse en una síntesis del plan a causa de la relación del suelo con los standards de diseño y con los costos inherentes a las urbanizaciones nuevas o renovadas.

## El modelo de diseño

Consideraremos ahora la posibilidad de dos técnicas matemáticas relacionadas, como estructuras posibles para construir un modelo de diseño de uso del suelo. La primera técnica, la programación lineal, exhibe un record de realizaciones exitosas en otros campos, y tiene procedimientos de computación muy avanzados y eficientes. La segunda y más nueva, la programación dinámica, a pesar de no ser tan productiva en aplicaciones previas o en procedimientos standarizados de computación, tiene supuestos menos limitados y, por lo menos potencialmente, constituye un marco más flexible para un modelo de plan de diseño de uso del suelo.

Ambas programaciones, la lineal y la dinámica se consideran a veces campos subsidiarios bajo el título general de programación matemática. Una clasificación de este tipo es deseable, sobre todo porque ambos campos tienen como objetivo la solución de problemas que envuelven la optimización (colocar en el máximo o en el mínimo) de algún objetivo, tal como el costo, dentro de las restricciones de ciertas exigencias tales como standards de diseño. Las técnicas involucradas difieren considerablemente, sin embargo, con la programación lineal que impone restricciones más bien severas sobre la naturaleza del objetivo y de las exigencias, mientras que la programación dinámica casi no tiene restricciones en su formulación del objetivo y de las funciones compulsoras.

Los modelos de la programación lineal, por otra parte, pueden resolverse generalmente usando procedimientos computacionales standarizados, mientras que la programación dinámica generalmente aporta por lo menos un reto serio y a menudo obstáculos inabordables para una solución computacional eficiente. Con cualquiera de las técnicas, el solo tamaño de muchos problemas del diseño de planes de uso del suelo trae consigo lo que ha sido llamado "la maldición de la dimensionalidad", que se opone a cualquier enfoque de la solución "a pura fuerza bruta".

La formulación de la programación lineal del problema del modelo de plan de diseño de uso del suelo es directa. La función objetiva está en relación con el costo de urbanizar un terreno para un uso dado del suelo:

$$C_t = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

donde las variables ( $x$ ) pueden representar usos residenciales, industriales u otros usos de terreno en áreas dadas y las constantes ( $c$ ) los costos de urbanización de este suelo. Las características de uso del suelo pueden subdividirse en clases subsidiarias tal como residencial unifamiliar, residencial multifamiliar, y los costos pueden estar relacionados con las características topográficas y del suelo del área. Con cada subdivisión, por supuesto, aumenta el número de variables, y au-

menta el tiempo de computación para una solución perfecta. En la práctica, se debe llegar a un acuerdo entre el deseo de detalle y un tiempo razonable para la solución. Sin embargo, con el rápido desarrollo de la tecnología de la computación, este problema disminuirá en importancia en los años venideros.

Las exigencias de igualdad y desigualdad en la formulación de la programación lineal del diseño del plan de uso del suelo incluye lo siguiente:

1.—*La necesidad total de cada categoría de uso del suelo (exigencia de igualdad).*

$$d_1 x_1 + d_2 x_2 + \dots + d_n x_n = E_k$$

donde:

E = necesidad regional de uso del suelo para cada uso;  
 d = coeficientes de servicio que determinan exigencias de terrenos para servicios infraestructurales tal como calles, que son necesarias para un desarrollo primario del uso del suelo.

2.—*Límites máximos (mínimos) de usos del suelo dentro de una zona.*

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq F_m$$

donde:

F<sub>m</sub> = límite superior de uso del suelo n en la zona m.

3.—*Exigencias de relaciones interzonales o intrazonales de uso del suelo.*

$$x_m \leq G x_n$$

donde:

G = tasa de uso permitido del suelo n en relación al uso del suelo m con usos del suelo m y n en la misma zona o en zonas diferentes. La exigencia de igualdad de demanda de uso del suelo sigue un formato standarizado con una ecuación para cada categoría primaria de uso del suelo.

Ya que algunos usos de suelos, tal como residencial unifamiliar, generalmente están más subdivididos de acuerdo a los tamaños de los lotes, el número de ecuaciones de demanda en un modelo de diseño típico puede sobrepasar 20 relaciones. Es importante hacer destacar que solamente los usos primeros del terreno, tales como usos residenciales, industriales, agrícolas y recreativos, están determinados directamente. Las tasas de servicios incorporadas a los parámetros d, re-

presentan usos secundarios del terreno, tales como calles y parques locales.

La segunda y tercera categorías de exigencias reflejan los standards de diseño y pueden tomar gran variedad de formas. La exigencia máxima generalmente reflejará un standard de densidad, pero también puede significar la exclusión de un área de terreno no recomendable para un uso dado. Las exigencias de las relaciones de uso del suelo resultarán de las restricciones de los standards de diseño sobre usos de terrenos coexistentes dentro de una zona o en zonas adyacentes. Los standards de accesibilidad para las áreas comerciales y de empleos también se reflejarán en este tipo de exigencia.

Las relaciones de restricción ya mencionadas reflejan los tipos encontrados hasta el momento en modelos experimentales de diseño de planes que se llevan adelante en áreas de prueba. Podrían necesitarse otras formas de restricción al programar un diseño de un plan regional completo, pero podrían incluirse fácilmente siempre que sean restricciones lineales continuas. Las exigencias no lineales, discontinuas, no son posibles en una programación lineal y constituyen la principal desventaja del método.

Para una región subdividida en más o menos 30 zonas, el tamaño de un programa lineal típico para un diseño de uso del suelo es más o menos de 60 restricciones de igualdad y desigualdad y 400 variables. El tiempo de computación en un computador IBM 1620 es cerca de 3 horas. En sistemas más perfeccionados, tales como el IBM 7090 demoraría menos de 30 minutos.

### **Aplicación del modelo**

Detallaremos ahora una experiencia inicial con aplicaciones del modelo para dar al lector una idea de la cantidad de datos necesarios y de las características computacionales del modelo:

Se necesitan cuatro conjuntos principales de datos para operar con el modelo:

1.—Los costos del terreno no urbanizado y de su urbanización para cada actividad primaria de uso del suelo y para cada tipo de suelo.

2.—Las demandas globales para cada actividad primaria de uso del suelo.

3.—Standards de diseño que reflejan los objetivos del plan y restringen el conjunto de planes aceptables limitando las relaciones de uso del suelo interzonales e intrazonales.

4.—El inventario actual del terreno, que incluirá actividades de uso del suelo por área y características del suelo.

El costo de desarrollo del terreno se puede obtener ya sea por estimaciones de ingenieros o por análisis estadístico de recientes ur-

banizaciones en el área. La primera fórmula ha sido usada en los tests iniciales del modelo del área piloto de la ciudad de Waukesha. Obtener gran cantidad de datos sobre costos de urbanizaciones es muy caro, y en muchos casos difícil o imposible. Los urbanizadores generalmente se resisten a revelar sus costos, y los datos obtenidos son dispares ya que muchos urbanizadores no mantienen registros completos. Por esta razón generalmente se prefieren los costos estimativos de los ingenieros si se puede lograr obtener alguna experiencia profesional competente.

En el área de Waukesha se hicieron costos estimativos separados de urbanizaciones para cinco tamaños de lotes residenciales, con sus consiguientes usos de terrenos para servicios, tales como calles, comercio de barrio, escuelas y parque. Se hicieron costos estimativos adicionales para usos de terreno en industria, en comercio regional y en parques regionales. Estas no eran estimaciones brutas sino análisis detallados de los costos de cada urbanización, relacionados tanto con el uso del suelo como con el tipo de terreno involucrado. Todas las estimaciones fueron subdivididas en sus partes componentes, cada una con su costo individual.

Se prepararon costos estimativos separados para cada uno de tres clases de suelos. Se obtuvieron antecedentes del suelo de una investigación comprehensiva de él hecha en el Sud-Este de Wisconsin, como parte del Estudio sobre Uso del Suelo-Transporte. Los costos del suelo no urbanizado presentaron un problema especial ya que no pudieron ser obtenidos de estimaciones de ingenieros. Se lograron tasaciones e igualaciones del valor del suelo en cada comunidad y se reajustaron en base a los precios del mercado en el área.

Las primeras pruebas del modelo usaron las demandas globales históricas de uso del suelo para el período 1950-1962 de modo de poder tener puntos de comparación entre la urbanización del terreno existente y la "óptima". Típicamente, sin embargo, una aplicación del diseño del modelo requerirá predicciones acerca de demandas futuras de uso del suelo, que pueden obtenerse aplicando standards de diseño a las predicciones de población y de ocupación en la región que interesa.

Las distintas formas de standards de diseño con que se cuenta generalmente, ya fueron descritas. En pruebas corrientes del modelo los standards de diseño se limitaron a excluir de urbanización las áreas inundables, y a proveer las tasas de servicio de suelo secundario necesario para usos tales como calles y parques, necesarios para mantener los usos primarios del suelo.

Los standards de diseño para el plan de uso del suelo regional están todavía en preparación y serán usados en las pruebas de modelos apenas sea posible.

Un inventario de las actividades actuales de uso del suelo y de las características de los terrenos sería decisivo para la aplicación del modelo. En las pruebas corrientes las áreas ya urbanizadas no fueron

consideradas para futuros desarrollos. Sin embargo, es posible considerar una reurbanización en la forma de una renovación urbana como un conjunto de alternativas dentro del diseño. Serían necesarios ciertos costos de remodelación, ante esta perspectiva. Usando el inventario del suelo fue posible adjudicarle un costo de urbanización a cada sub-área en el área de prueba.

Una apropiada presentación del producto del Modelo de Diseño de Plan de Uso del Suelo es muy importante, para lograr la aceptación de su diseño entre los planificadores y empleados de gobierno. Los resultados de los modelos iniciales tenían forma tabular y solamente tenían algún significado para los que estaban familiarizados con la operatoria del modelo. Más tarde se logró una presentación mejor por medio de una designación tabular de la intensidad de cada actividad de uso del suelo en cada zona. El resultado impreso fue suplementado con mapas policromos de usos del suelo.

### **Modelos matemáticos disponibles**

Aún cuando la programación lineal nos da una estructura razonablemente satisfactoria para un modelo de diseño de plan de uso del suelo, posee ciertas desventajas inherentes que restringen su utilidad en diseño. La primera limitación es la necesidad de valores continuos más bien que discretos para las variables de uso del suelo.

Las posibilidades de elección de diseño de uso del suelo son por naturaleza más bien discretas que continuas.

El elemento básico de uso del suelo residencial es la subdivisión más bien que el predio. Las unidades de uso del suelo industrial tienden a ser conjuntos de lotes industriales (industrial parks) más que predios fabriles individuales de mucho menos superficie. Si bien es posible evitar una solución de programación lineal para satisfacer estos niveles discretos naturales, tal solución no corresponde generalmente con la combinación discreta óptima asociada.

Una segunda limitación de la programación lineal es la necesidad de una función lineal objetiva y de exigencias lineales. La función lineal objetiva no es una severa limitación, ya que las inexactitudes introducidas por una aproximación lineal de costos son generalmente menores que los errores de estimación de costos. En los pocos casos donde ocurren funciones conocidas de costo no lineal, tales como en las capacidades de una planta para proporcionar servicios de agua y de alcantarillado en todo un área, el desglosamiento del valor del costo ("cost break") generalmente puede ser calculado en forma aproximada por una serie multivariable de variables lineales de costo.

Las relaciones de exigencias no lineales presentan un problema más serio. Ciertos standards de diseño son inherentemente no-lineales y una aproximación lineal aporta algunas veces un sustituto insatisfactorio. Cuando un modelo de diseño no es capaz de aportar un standard de diseño satisfactorio, pierde casi toda su utilidad.

La programación dinámica, otro miembro de la familia de la programación matemática, tiene el poder de suprimir las dos restricciones primeras inherentes a la programación lineal. Aún cuando la programación dinámica puede ser usada para resolver el mismo problema de diseño de plan de uso del suelo, está basada en otros tipos de procedimientos matemáticos, que son capaces de manejar funciones objetivas discretas y no lineales y las relaciones de exigencias.

Richard Bellman, de la Rand Corporation, fue el originador de la programación dinámica y ha desarrollado bastante en los últimos diez años la teoría y aplicación de este enfoque en varias etapas de la toma de decisión.

Se han formulado gran cantidad de clases de procesos de programación dinámica para los problemas de programar la producción, de las trayectorias de cohetes y de los sistemas de control de información devuelta (feedback), pero el tipo de proceso de más interés en diseño es el proceso de distribución.

En un modelo de programación dinámica, el costo básico y las relaciones de diseño son similares a aquellas definidas para el modelo de programación lineal, pero el método de computación es distinto permitiendo el uso de relaciones más complejas y discretas.

### **El punto de vista del diseño en el urbanismo**

La contribución última de este artículo dependerá de su éxito, o de la falta de él, al llevar a cabo por lo menos una reorientación parcial del desarrollo de modelos de uso de suelo hacia el diseño.

Aún cuando el rol desempeñado por el Modelo de Simulación de Uso del Suelo brevemente descrito en este artículo y detallado en otro, hizo presente la importancia de predecir el desarrollo del uso del suelo, deberían saltar a la vista los peligros y limitaciones de los modelos no orientados hacia el diseño, que sólo remotamente están relacionados con la síntesis de mejores planes urbanos y regionales.

La necesidad de modelos de diseño en Urbanismo está acompañada, felizmente, de mejores posibilidades de éxito. Las aplicaciones industriales de modelos matemáticos a las funciones normativas, tal como programación de producción y diseño de producto óptimo, han tenido conspicuamente más éxito en el mercado que los intentos de simulación de los modelos de conducta humana. Muy sencillo, es mucho más fácil usar un modelo para explicarles a las personas *lo que deberían hacer*, que explicarles *lo que están haciendo*. Dada la fantástica complejidad de la metrópolis moderna, ¿no estaría bien darle énfasis al desarrollo de modelos en aquellas áreas que prometen una significativa contribución y gran probabilidad de éxito?

La imagen del diseño en la planificación urbana, como remanente de la época de la "ciudad bella" ("city beautiful") debe ser reemplazada por un nuevo concepto del diseño basado en la síntesis creativa de planes complejos usando todas las herramientas que nos proporciona la tecnología moderna.