ANALISIS DE PROBLEMAS DE ESTACIONAMIENTO EN GRANDES INSTITUCIONES: APLICACION AL CASO DE UN CAMPOS UNIVERSITARIO

Patricio Donoso Ibáñez
Departamento de Ingeniería de Transporte
Pontificia Universidad Católica de Chile

RESUMEN

El rápido crecimiento del parque automotríz y de las dimensiones de grandes instituciones ha producido problemas importantes en las políticas de construcción y asignación de estacionamientos.

Este trabajo presenta un análisis y una metodología de solución a dichos problemas, basada en la distribución de permisos de estacionamiento de acuerdo a un modelo de programación lineal.

Se incluye también una aplicación práctica al caso del Campus San Joaquín de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

1.- Introducción

Las grandes instituciones son organizaciones que proveen diversos servicios culturales, profesionales, educacionales, de salud, etc., y que al mismo tiempo son importantes generadores o atractores de tráfico. Esta última característica hace necesario contar con espacios o parques de estacionamiento adecuados para acomodar a los vehículos que llegan a estas instituciones.

Durante los últimos años, los problemas de estacionamiento han ido creciendo, especialmente en nuestro país, en el cual la tasa de motorización ha experimentado un notable aumento. Es así como grandes industrias, oficinas, centros comerciales o Universidades se ven enfrentadas al problema de proveer suficientes lugares de estacionamiento. El hecho de ofrecer un número excesivo de ellos significa un costo en el cual sería preferible no incurrir, por otra parte, cuando los estacionamientos son insuficientes, se producen molestias para los empleados, clientes, profesores o estudiantes, además de costos extras por tener que buscar un lugar en otro sitio. Por lo mismo, se hace necesario tratar de implementar un sistema en el cual se ocupen los recursos existentes en la mejor forma posible. Esto último se puede abordar con diversas medidas, por ejemplo, se pueden establecer restricciones de ingreso a las distintas zonas de estacionamiento (permisos, tarifas, etc.) y desarrollar algún modelo que permita optimizar el uso de dichos estacionamientos.

El problema que interesa analizar en este trabajo es el de los parques de estacionamiento en las Universidades. Numerosos estudios sobre el tema se han elaborado en los últimos años como respuesta a los conflictos que surgen por el crecimiento del número de funcionarios, profesores y alumnos, por el ya mencionado aumento de la tasa de motorización y por la restringida capacidad existente para estacionarse (ver por ejemplo: Bennet [1], Pendakur [2], Smith et al. [3], Monteiro [4]. Para realizar el análisis se ocupa un modelo de programación matemática, que se basa en el uso de permisos para estacionarse en distintas áreas señalizadas para ello, entregando como resultado la distribución óptima de dichos permisos entre los distintos usuarios.

El trabajo incluye una aplicación práctica al caso del Campus San Joaquín (Universidad Católica de Chile).

2.- Descripción de la metodología aplicada

La solución a los problemas de estacionamiento en un Campus Universitario debe considerar principalmente cuatro aspectos: el número y capacidad de los distintos parques de estacionamientos existentes, el número y tipo de usuarios, distribuídos durante los diferentes días de la semana y durante distintas horas en un mismo día, la asignación de esos parques a los usuarios y, por último, los sistemas de control que se deben implementar para que el sistema sea realmente eficiente.

Diversos modelos se han desarrollado para resolver el problema de asignar espacios de estacionamiento (S.K. Goyal [5] y Monteiro [4], por ejemplo). Estos ocupan información sobre las capacidades existentes y sobre los usuarios, y desarrollan una cierta función objetivo que en general tiende a minimizar las distancias recorridas por las distintas personas, desde los parques de estacionamiento a los diferentes lugares de trabajo.

Los modelos consideran las siguientes hipótesis básicas:

a) Existen al menos dos parques de estacionamiento en el Campus.

b) Los usuarios se dirigen a lo menos a dos destinos distintos dentro del Campus.

c) Se puede calcular la distancia más corta entre un parque de estacionamiento y los distintos lugares de destino.

d) Cada usuario va directo al trabajo o lugar de estudio después de estacionarse y vuelve al final del día por la ruta más corta; y

e) El criterio de optimización utilizado es el de minimización de la distancia total recorrida por todos los usuarios.

Cabe mencionar que en el caso de un modelo propuesto por S.K. Goyal [5] no se hace diferenciación alguna entre los diversos tipos de permisos otorgados a los distintos estamentos que utilizan los estacionamientos. Esta idea ha sido considerada entre otros por Monteiro [4], quien introduce en toda la estimación diferentes tipos de personas (según el estamento al que correspondan). En el caso del presente estudio se utilizan los conceptos originales de S.K. Goyal, pero las probabilidades de ocupación de un estacionamiento se calculan incorporando información sobre la composición de sus usuarios (por ejemplo, un estacionamiento sólo para profesores tendrá una probabilidad de ocupación mayor que uno en que se permite el acceso a algunos alumnos).

Las variables que se consideran en el modelo son las siguientes:

A_i = capacidad del parque de estacionamiento i.

B_j = número de personas con destino j.

D_{ij} = distancia media entre el parque i y el destino j.

X_{ij} = número de espacio asignados a los usuarios que estacionan en el parque i, que tienen destino j.

m = número de parques de estacionamiento.

n = número de destinos dentro del parque.

r = número de estacionamientos diferentes (profesor, alumno, visita, etc.)

z = distancia total de caminata en un sentido.

En este caso, al utilizar el modelo se toma como premisa que el número de espacios requeridos es mayor que el disponible, lo que es equivalente a considerar la fórmula (1):

$$\sum_{i=1}^{m} A_i \leq \sum_{j=1}^{n} B_j \qquad (1)$$

Debido a la consideración anterior, no se puede asignar un lugar para cada uno de los usuarios. Esta restricción se puede cambiar fácilmente si se desea analizar el caso en que hayan más espacios disponibles que requeridos, con lo que se simplifica notoriamente el resto del modelo [5].

Cabe señalar que en la situación actual, por ejemplo del Campus San Joaquín, aquellas personas que no logran conseguir un estacionamiento adecuado se ubican en lugares periféricos, prohibidos o fuera del Campus. El modelo pretende optimizar el uso de las capacidades actualmente disponibles y/o determinar las necesidades de ampliaciones futuras.

Otro dato que es necesario para la aplicación del modelo, es la probabilidad de utilización de un estacionamiento. Si suponemos p la probabilidad de que una persona traiga su auto en un día cualquiera, y (1-p) la probabilidad de que no lo traiga, se tiene:

Número de personas esperadas en un día cualquiera $= N_i \cdot p$

Desviación standard $= N_i\ p\ (1-p)$

donde N_i = N° de permisos asignados al parque i.

Dada esta última definición, se deberá cumplir que:

$$N_i \geq A_i \qquad \forall_i \tag{2}$$

es decir, el número de permisos otorgados para un determinado parque de estacionamientos deberá ser mayor o igual a la capacidad de estacionamientos del parque.

Un aspecto importante en la aplicación de este modelo es la asignación de probabilidades (p) de llevar el auto al Campus un día cualquiera, que son mayores en el caso de profesores y administrativos que en el caso de los alumnos. Esto último se basa en la suposición de que los profesores y administrativos, que utilizan auto, tienen un comportamiento mucho más regular de asistencia que los alumnos, y que seguramente su probabilidad p será cercana a 1.0 (si desagregamos aún más, podríamos considerar probabilidades levemente mayores para los administrativos que para los profesores). El comportamiento de los alumnos es menos regular debido a muchas razones, entre las que se pueden mencionar: promedio normal de asistencia a los ramos, economías de combustible que fomentan el "car-pool", vehículos que se comparten entre varios hermanos, etc.

La probabilidad de que un usuario potencial de un lote encuentre espacio para estacionarse debe ser igual para todos estos usuarios, por lo que se debe satisfacer la siguiente condición:

$$\frac{A_1 - N_1\, p}{N_1\ p(1-p)} = \ldots. = \frac{A_i - N_i\ p}{N_i\ p(1-p)} = \ldots. = \frac{A_m - N_m p}{N_m\ p(1-p)} = \phi \tag{3}$$

A partir de esta expresión y luego de elevar el cuadrado y resolver una ecuación de 2° grado en N_i, se obtiene el siguiente valor de N_i para el lote:

b) Distancia entre los distintos parques de estacionamientos y los destinos finales.

c) Destino dentro del Campus de las distintas personas (número de personas que van a un mismo lugar de trabajo o estudio).

d) Estamento al que pertenece la persona (estudiante, administrativo o profesor).

e) Lugar donde se estaciona.

f) Probabilidad de llegar (p) un día cualquiera,de los distintos tipos de usuarios.

3.- Recolección y análisis de la información

La posible solución a los problemas de estacionamientos en una determinada institución parte por el conocimiento de la infraestructura con que se cuenta y de los usuarios que la utilizan.

En el caso de la aplicación del presente estudio al Campus San Joaquín se efectuaron dos tipos de mediciones:

i) directas en terreno o en planos a escala, que permitieron determinar la capacidad actual de los distintos estacionamientos y las distancias entre éstos y los distintos destinos finales de los usuarios en el Campus.

ii) encuesta directa a los usuarios, con la que se pudo obtener toda la información referente al lugar donde se estaciona cada uno, el lugar donde le gustaría estacionarse, el estamento al que pertenece e información adicional que podría ser de interés en estudios futuros, como zona de origen de su viaje en Santiago, puerta de acceso al Campus, etc.

Las capacidades de los distintos estacionamientos (Tabla 1) se midieron en un día similar al de la toma de la encuesta, de acuerdo al siguiente criterio:

- en el caso que el parque de estacionamientos estuviera lleno, se contabilizó el número de vehículos directamente en terreno.

- en el caso que estuviera semi-lleno o vacío se consideró un vehículo-tipo 1/ y se calculó el número de dichos vehículos que cabrían en el área destinada a estacionamientos.

Un detalle de todo el proceso de recolección y del análisis de la información se puede consultar en [6].

1/ El vehículo-tipo se consideró de 5 mts. de largo y 2 de ancho.

$$N_i = (A_i + \emptyset^2 (1-p)\ (1/2) - \emptyset\ \ A_i(1-p)\ )\frac{1}{p} \tag{4}$$

Como el número total de permisos otorgados debe ser igual a:

$\sum_{j=1}^{N} B_j$, se tiene que:

$$\sum_{j=1}^{N} B_j = \sum_{1=1}^{m} N_i = \sum_{i=1}^{m} \{A_i + \emptyset^2 (1-p)(1/2) - \emptyset\ \ A_i(1-p)\} \frac{1}{p} \tag{5}$$

En esta ecuación (5) es cuadrática en $\emptyset$ y su valor puede obtenerse fácilmente. Luego si se reemplaza el valor $\emptyset$ obtenido de (5) en la ecuación (4), se obtiene el número de permisos que deben ser asignados al parque i.

Conociendo el número de permisos que deben asignarse a cada parque, queda por resolver el problema de determinar el valor óptimo de los X_{ji}, que es la asignación de los permisos a los diferentes destinos.

Como se había mencionado anteriormente, esta tarea se hará minimizando la distancia total recorrida, es decir, corresponde solucionar el siguiente problema de programación lineal:

<u>Minimizar</u>:

$$Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} X_{ji} \cdot D_{ij}$$

Sujeto a las restricciones:

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ji} = N_i \qquad i = 1, 2, \ldots\ldots, m$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ji} = B_j \qquad j = 1, 2, \ldots\ldots, n$$

$$X_{ji} \geq 0$$

En resumen, la aplicación del modelo requiere obtener diversa información, que se puede sintetizar en lo siguiente:

a) Capacidad de los estacionamientos.

4.- Aplicación del modelo y análisis de resultados

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, la aplicación del modelo requiere de cierta información, que se obtiene ya sea de mediciones directas o a través de una encuesta. Sin embargo, dicha información debe ser reducida o agregada de forma de hacerla manejable por el modelo.

En este caso, el número de destinos posibles (48) era sumamente elevado, por lo que se procedió a agregar destinos cercanos en zonas de destino. Cabe hacer notar que en estudios anteriores de este tipo el número máximo de destinos era bastante menor [4].

En la Figura 1 se puede apreciar las nuevas zonas de destino con los correspondientes edificios que se incluyen en cada zona.

Como parte del estudio se obtuvo también un resumen de los estacionamientos disponibles por zona de destino, los lugares de estacionamiento ocupados por los usuarios de acuerdo a sus distintos lugares de trabajo y el número de profesores y personal administrativo por zona de destino.

Con toda la información anterior se puede calcular el número de permisos asignados por parque de estacionamiento (N_i), de acuerdo a la fórmula (4) presentada en el punto 2.

Sin embargo, fue necesario determinar previamente el valor de la probabilidad (p) de llegar al Campus un día cualquiera. Como se mencionó anteriormente, en algunos estudios se ha considerado un determinado valor constante para p, mientras que en otros se han asumido tantos valores de p como distintos tipos de estamentos tenga la entidad. En el caso del presente estudio se consideraron diferentes probabilidades de acuerdo al porcentaje del estacionamiento que ocupa cada estamento, manteniendo en 0,8 la probabilidad de llegada al Campus de los alumnos[2].

De acuerdo a esto, las probabilidades p son las siguientes:

% de Profesores y Administrativos	Probabilidad p
91 - 100	1,00
61 - 90	0,95
35 - 60	0,90
15 - 34	0,85
0 - 14	0,80

2/ El valor p = 0,8 resulta de distintas observaciones en cuanto a asistencia a clases y utilización de automóvil por parte de los alumnos en la Universidad Católica de Chile. En estudios como el de Monteiro, se ha asumido esta misma probabilidad en 0,7 [4].

Con estos valores se procedió a calcular los N_i (número de permisos por estacionamiento), obteniéndose los resultados que se presentan en la Tabla 1.

De la encuesta se obtuvo además el número de personas que utilizan estacionamiento por destino j, B_j (Tabla 2), que constituye la segunda variable considerada en las restricciones del problema de programación lineal a resolver:

$$\text{Min} \quad Z = D_{0101} X_{0101} + D_{0102} X_{0102} + D_{0103} X_{0103} + \ldots + D_{1416} X_{1416}$$

sujeto a diversas restricciones, como por ejemplo:

$$X_{0101} + X_{0301} + X_{0501} + X_{0701} = 52$$

$$X_{0102} + X_{0202} + X_{0302} + X_{0502} + X_{0702} = 22$$

$$X_{0101} \geq 2$$

$$X_{0301} \geq 20 \qquad \text{etc.}$$

donde los X_{ji} son el número de espacios asignados a los usuarios que se estacionan en el parque i y que tienen destino j.

Para determinar las distancias entre los parques de estacionamiento y las zonas de destino (D_{ji}), se asignó un centroide 3/ en ambos, y luego se calcularon todas las distancias medias entre centroides factibles 4/. En el caso de aquellos pares de centroides que no parecían factibles de acuerdo a la encuesta o la situación física real, se les asignó una distancia equivalente a la mayor distancia posible observada en el Campus [6].

Para la resolución del problema de minimización antes planteado, se ocupó el programa de optimización LINDA 5/ que después de 97 iteraciones entregó la solución óptima que se entrega en la Tabla 3.

Cabe señalar que el problema analizado incluyó 219 variables y 75 restricciones. La solución que se obtiene se ajusta en general a lo presupuestado a priori y permite considerar la asignación óptima de acuerdo al criterio de minimización de las distancias entre estacionamientos y destinos.

3/ El centroide se asignó de acuerdo a la densidad y ubicación de edificios en las zonas de destino y de acuerdo a la distribución de estacionamientos en los parques asignados para tal efecto.

4/ Se consideraron las distancias reales entre cada par de centroides (es decir, las que un usuario efectivamente camina.

5/ LINDA, paquete de programas para Programación Lineal. SECICO, Servicio de Ciencias de la Computación, Pontificia Universidad Católica de Chile.

5.- Conclusiones generales y alcances

Los problemas creados por la falta de espacios de estacionamiento en las grandes instituciones pueden ser abordados de acuerdo a dos grandes criterios:

i) se pueden aumentar la capacidad existente de acuerdo a las prioridades que se asignen a la demanda.

ii) se puede realizar una gestión o administración racional de los recursos existentes.

La metodología que se analiza en el presente estudio corresponde al segundo de estos criterios. La asignación de permisos de estacionamiento puede permitir un ordenamiento de los espacios más solicitados y una solución a los múltiples problemas que se producen, especialmente en las horas punta. Sin embargo, la aplicación de esta metodología no será eficiente sino se implementan al mismo tiempo diversas medidas de información y de control. El sistema de permisos debe ser publicitado entre los usuarios y los distintos parques o lotes de estacionamiento deben estar debidamente identificados. Aquellos usuarios que no respeten las restricciones de acceso a los diferentes lotes deberán ser sancionados en forma adecuada.

Con respecto a la metodología utilizada, cabe mencionar que se pueden estudiar diversas alternativas de aplicación. Se puede considerar más a fondo las probabilidades características de cada uno de los estamentos y también se pueden realizar agregaciones diferentes de las zonas de destino.

Todo lo anterior permitirá mejorar la distribución de los permisos, y por consiguiente el funcionamiento general del sistema de estacionamiento.

6.- Bibliografía

[1] BENNET, W. (1956) University Campus Parking. Traffic Quarterly, Volumen 10, Nº 1, pp. 89-105.

[2] PENDAKUR, V.S. (1968) Access, Parking and Cost Criteria for Urban Universities. Traffic Quarterly, Volumen 22, Nº 3, pp. 359-387.

[3] SMITH, D., MORASH, E. and HILLE, S.J. (1975) University Growth and the Parking Problem. Traffic Quarterly, Volumen 29, Nº3, pp. 427-439.

[4] MONTEIRO, G.L. y SILVA, G.A. (1980) Modelos Normativos para o Planejamento de Estacionamento en Campi Universitarios. Divisas de Intercambio e Edicoes, Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro.

[5] DONOSO, P.C.F. (1984) Metodología de análisis de problemas de estacionamiento. Revista Apuntes de Ingeniería Nº 15, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Lote Nº	Capacidad	Ni
1	52	52
2	20	22
3	108	133
4	60	74
5	60	70
6	140	173
7	42	44
8	46	53
9	42	49
10	108	119
11	216	252
12	110	121
13	23	24
14	20	21

Tabla 1.- Capacidad de los parques o lotes de estacionamiento en el Campus San Joaquín y número de permisos calculados por lote.

Destino	Edificios	Bj
1	1, 2, 3, 4, 5	19
2	6	11
3	7, 10, 11	75
4	8, 12,	107
5	9, 13, 16	94
6	15	5
7	14, 17, 18, 19, 21, 22	220
8	46, 47, 48	14
9	20	33
10	33, 34, 35, 36, 37, 38	61
11	26, 29, 30, 31, 32	45
12	25, 27, 28	48
13	24	19
14	39	285
15	42, 43, 44	148
16	40, 41	23

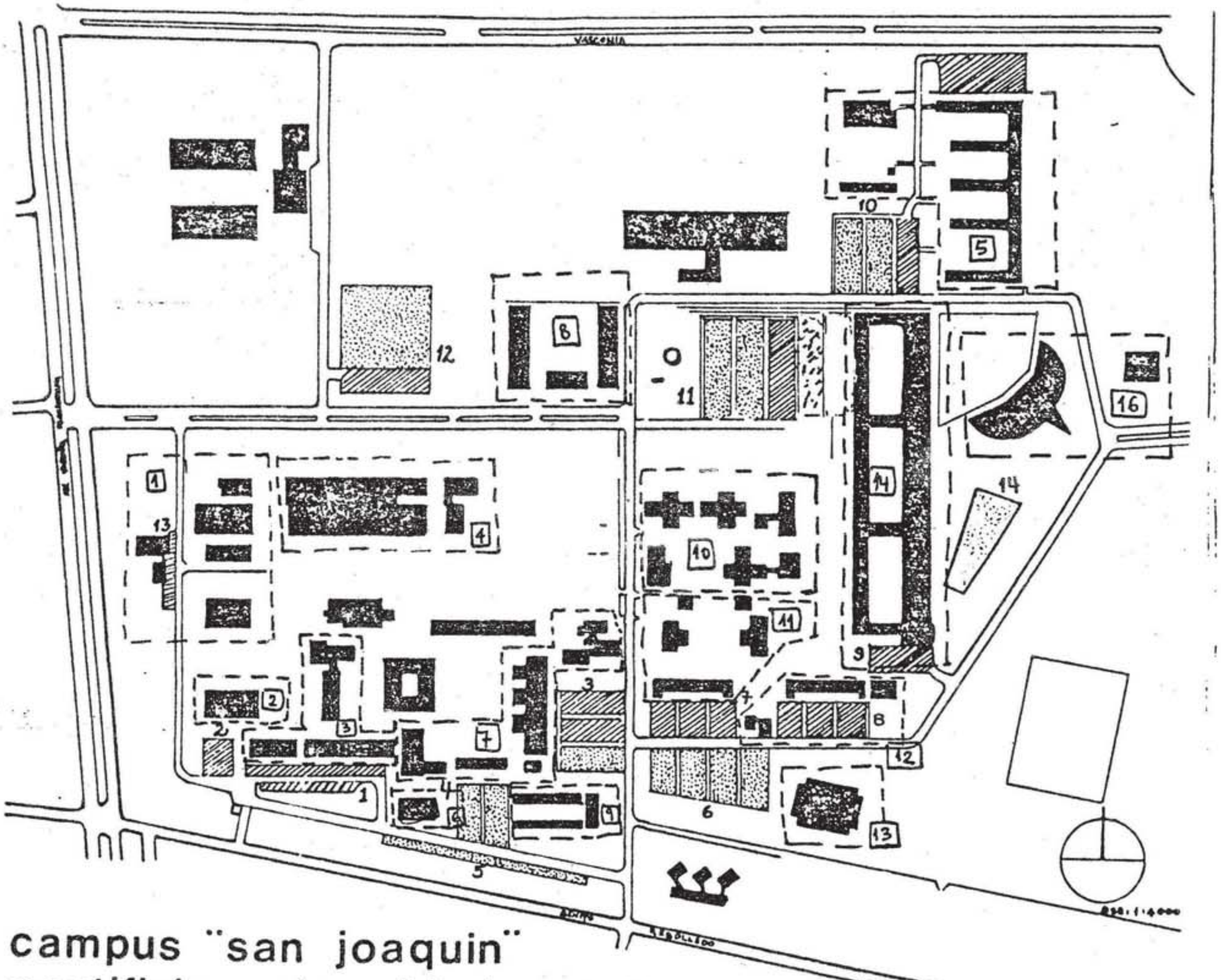
Tabla 2.- Número de personas que utilizan estacionamiento por destino en el Campus San Joaquín.

Variable	Valor	Variable	Valor
X0101	2	X0703	126
X0102	2	X0704	3
X0113	15	X0705	7
X0202	11	X0706	81
X0301	20	X0712	1
X0302	6	X0811	7
X0304	42	X0812	7
X0305	4	X0904	28
X0310	2	X0906	5
X0313	3	X1066	33
X0403	2	X1007	1
X0405	1	X1011	27
X0408	4	X1106	22
X0411	3	X1107	23
X0412	99	X1207	2
X0413	2	X1208	46
X0501	27	X1306	19
X0502	3	X1406	13
X0503	5	X1407	18
X0504	1	X1408	7
X0505	53	X1409	49
X0511	1	X1410	12
X0513	4	X1411	153
X0605	5	X1412	15
X0701	3	X1414	18

Variable	Valor
X1510	107
X1511	39
X1514	2
X1611	22
X1614	1

Nota: Cada variable indica el lote de estacionamiento y el edificio de destino.

Tabla 3.- Solución final al problema de asignación de permisos de estacionamientos.



campus "san joaquin"
pontificia universidad catolica

Figura 1. Zonas de estacionamiento y destino en el Campus San Joaquín.

10 5 ZONAS DE ESTACIONAMIENTO

ZONAS DE DESTINO