

Estudios de Economía Aplicada
Nº 5, 1996. Págs.139 a 159.

Modelos de localización para la planificación escolar en el contexto de la LOGSE

DOLORES R. SANTOS PEÑATE
MARÍA DEL CARMEN MARTEL ESCOBAR
Universidad de las Palmas de Gran Canaria

Este trabajo está relacionado con un estudio realizado en virtud de un convenio (C.I. Expte.: 69/92) de colaboración entre la Consejería de Economía y Hacienda del Gobierno de Canarias, la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y la Fundación Universitaria de las Palmas. Agradecemos al profesor Jesús Pastor sus comentarios que constituyeron una valiosa ayuda en la etapa inicial de la elaboración del trabajo así como los comentarios y sugerencias de un evaluador anónimo que lo han enriquecido.

RESUMEN

En este trabajo se aplican los modelos de localización-asignación al ámbito escolar. Se estudian problemas de planificación planteados en el contexto de la reforma educativa definida en la Ley de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE). Se utiliza el modelo de las p-medianas y se propone un modelo para resolver el problema de la conversión de los centros escolares que ya existen en escuelas del nuevo sistema de enseñanza. Con estos modelos se hace un análisis de los centros escolares en la isla de La Palma.

Palabras Clave: Localización, Planificación, Educación.

ABSTRACT

In this work location-allocation models are applied for educational planning according to the educational reform established in the Organic Law of General Ordinance of the Educational System (LOGSE). The p-median model is considered and a conversion model is defined in an attempt to enter into the problem of the conversion of actual schools to schools of the system described in the LOGSE. These models are used to analyse the organization of schools in the island of La Palma.

Key Words: Location, Planning, Education.

Código UNESCO: 1207, 5304.

Artículo recibido en mayo de 1995. Revisado en noviembre de 1995.

1. Introducción

A finales de los años 80, el Gobierno Español presentó el "Proyecto para la Reforma de la Enseñanza". Después de hacer algunas modificaciones en las proposiciones originales, el Gobierno presentó, en 1989, el "Libro Blanco para la Reforma del Sistema Educativo" que contiene la propuesta definitiva de Reforma, un calendario para su aplicación y una estimación del coste económico de su implantación; la propuesta está definida jurídicamente en la Ley de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE) de 1990.

La implantación de la reforma educativa plantea varios problemas relacionados con la cantidad y la ubicación de centros escolares de cada tipo que deben funcionar, con la asignación de la demanda escolar a estos centros, con la situación en la que quedarán en el nuevo sistema los centros escolares que ya existen y con la reestructuración del profesorado, y con la oferta de servicios diversos como el transporte, comedores, residencias escolares y centros de profesores.

En este trabajo se utilizan los modelos de localización-asignación para determinar la ubicación de los centros escolares y la asignación de la demanda a estos centros, y para resolver el problema de la conversión de los centros de enseñanza ya existentes en escuelas de uno de los tipos contemplados en la Ley. No se han diferenciado las ramas de la formación profesional (FP) y sus demandas, se supone que se aprovecharán los medios disponibles en los centros de FP ya construidos y que las características socio-económicas de la zona influyan en las decisiones sobre el establecimiento de especialidades.

Los modelos de localización y asignación son útiles para resolver problemas sobre la organización espacial de centros de servicio; sirven para evaluar la situación actual respecto de la óptima y las actuaciones que llevaron a la ubicación de centros en el pasado, para identificar futuras localizaciones o localizaciones adicionales a las ya disponibles, o diseñar configuraciones espaciales diferentes a las existentes cuando se admite la instalación y cierre de centros.

En líneas generales, los modelos de localización-asignación están dirigidos a resolver el problema de determinar la ubicación de centros de servicio y asignar la demanda de tales servicios a estos centros. Es decir, dado un conjunto de puntos I donde existe demanda de un servicio S , y un conjunto J de puntos donde pueden ubicarse centros que proporcionen dicho servicio, se trata de determinar dónde deben instalarse estos centros para satisfacer una condición C , y de asignar la demanda de cada nodo i de I a uno de los nodos de J con centro de servicio. La condición C estará basada en algún criterio de eficiencia o de equidad; la distancia total recorrida, el coste de transporte, y el número de centros responden a un criterio de eficiencia económica, mientras que la distancia desde un punto de

demanda al centro de servicio más próximo define un criterio de equidad. En general, a diferencia del sector privado donde suelen imponerse los criterios de eficiencia económica, la maximización de los beneficios o la minimización de los costes monetarios, en la localización de centros de servicio del sector público intervienen en una medida importante los criterios de equidad.

Los modelos de localización-asignación que son aplicados en este trabajo se mencionan en la sección 2, se considera el modelo de las p-medianas y se introduce un modelo para la conversión de centros escolares. En la sección 3 se muestran aplicaciones de los modelos señalados a la isla de La Palma. Finalmente, la sección 4 contiene un resumen y varias conclusiones además de algunas observaciones y comentarios. Se añade un apéndice que contiene mapas de la isla de La Palma con los nodos considerados.

2. Modelos de localización y asignación para la planificación escolar: un modelo de conversión de centros escolares para la reforma educativa

Atendiendo al nuevo sistema educativo, en la definición del modelo de la conversión y en las aplicaciones posteriores se han considerado los tres grupos o niveles educativos siguientes: nivel 1: segundo ciclo de educación infantil y enseñanza primaria (EI2-EP); nivel 2: enseñanza secundaria obligatoria (ESO); nivel 3: enseñanza secundaria no obligatoria (ESNO).

La inclusión del segundo ciclo de educación infantil en el mismo grupo que la educación primaria responde al hecho de que en parte de los centros de EGB se imparte también enseñanza preescolar y de que esta tendencia puede mantenerse con la implantación del nuevo sistema de educación.

La distribución por edades para los tres niveles es la siguiente: entre 3 y 11 años para la EI2-EP (nivel 1), entre 12 y 15 años para la ESO (nivel 2), y entre 16 y 19 años para la ESNO (nivel 3).

Los centros procedentes del sistema educativo anterior a la LOGSE se han clasificado en dos grupos: los centros de EGB o de nivel 1 y los centros de BUP y FP o de nivel 2; para los colegios que imparten EGB y BUP se ha considerado un tercer nivel.

Se ha asumido que los centros de EGB pueden convertirse en centros de enseñanza primaria o bien en centros de enseñanza secundaria obligatoria pero nunca en centros de enseñanza secundaria no obligatoria. Los centros de BUP y FP serán centros de enseñanza secundaria y en ellos podrá impartirse enseñanza secundaria obligatoria y enseñanza secundaria no obligatoria. Los centros de EI son escasos, se ha supuesto que se convierten en centros de EI2-EP. En lo sucesivo escribiremos EP o EI2-EP para referirnos al primer nivel.

En este trabajo, se utiliza el modelo de las p-medianas (Hakimi, 1964) y el modelo de las p-medianas con restricción de distancia al punto de servicio más próximo (Khumawala, 1973), y se define un modelo para la conversión de los centros escolares.

El interés implícito en la formulación del modelo de las p-medianas es la minimización de los costes totales de desplazamiento o minimización de las sumas de las distancias o distancia media de los nodos de demanda a los centros de servicio. Las restricciones presupuestarias limitan el número de nodos donde pueden instalarse centros de servicio, tratándose en este caso de establecer un número determinado de ellos y minimizar el desplazamiento total mediante la asignación de la demanda al centro de servicio más próximo; se controlan así el número de nodos con centros y el coste de transporte. El modelo de las p-medianas con restricción de distancia máxima al punto de servicio más próximo incluye además aspectos de equidad territorial.

El problema de la conversión de centros escolares consiste en determinar qué niveles del nuevo sistema educativo establecido en la LOGSE deben impartirse en los colegios ya construidos donde se impartían enseñanzas del sistema anterior, de tal manera que, en algún sentido, su capacidad e instalaciones sean aprovechadas de la mejor manera posible. Se persiguen varios objetivos: maximizar el número de individuos con plaza escolar en los centros que existen, minimizar el número de estos colegios utilizados y minimizar la distancia (coste o tiempo) total de desplazamiento de los escolares desde la localidad donde residen hasta el nodo con colegio que se les asigna. Para abordar esta situación se define un modelo de conversión de centros escolares para la reforma educativa que resuelve el siguiente problema:

"Dado un número p_k de nodos donde se van a instalar centros de nivel k , determinar los nodos donde se ubicarán estos centros y la asignación de la demanda, así como los niveles a los que se destinan las escuelas que ya existen y la población escolar que acogen, para minimizar la distancia (coste o tiempo) total de desplazamiento, maximizar la población escolar con plaza en estos centros ya construidos y minimizar el número de estos colegios que se utilizan, considerando las restricciones de capacidad de los centros".

La formulación del modelo es la siguiente:

$$\min \sum_{i \in I_k} \sum_{j \in J_k} \alpha_{ij} d_{ij} w_{ik} x_{ijk} \quad \forall k \in K \quad (1)$$

$$\max \sum_{k \in K} \sum_{i \in I_k} \sum_{l \in L} w_{ik} u_{ilk} - \sum_{l \in L} t_l \quad (2)$$

sujeto a:

$$\sum_{j \in J_k} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in I_k, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{l \in L_j} u_{ilk} \leq x_{ijk} \quad \forall i \in I_k, \forall j \in J_k, \forall k \in K \quad (4)$$

$$0 \leq u_{ilk} \leq v_{lk} \quad \forall l \in L, \forall i \in I_k, \forall k \in K \quad (5)$$

$$0 \leq x_{ijk} \leq y_{jk} \quad \forall i \in I_k, \forall j \in J_k, \forall k \in K \quad (6)$$

$$v_{lk} \leq y_{jk} \quad \forall l \in L_j, \forall j \in J_k, \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J_k} y_{jk} = p_k \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$v_{13} = 0 \quad \forall l \in M_1 \quad (9)$$

$$v_{11} = 0 \quad \forall l \in M_2 \quad (10)$$

$$t_1 \geq \sum_{k \in K} v_{1k} \quad \forall l \in M_1 \quad (11)$$

$$2t_1 \geq \sum_{k \in K} v_{1k} \quad \forall l \in M_2 \quad (12)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I_k} w_{ik} u_{ilk} \leq c_l \quad \forall l \in L \quad (13)$$

$$Y_{jk}, v_{lk}, t_i \in \{0, 1\} \quad \forall l \in L, \quad \forall j \in J_k, \quad \forall k \in K \quad (14)$$

donde:

K : conjunto de niveles.

I_k : conjunto de nodos de demanda para el nivel k .

J_k : conjunto de nodos de servicio para el nivel k .

L : conjunto de colegios.

L_j : conjunto de colegios en el nodo j .

x_{ijk} : proporción de la demanda en i del nivel k que va al nodo j .

$y_{jk} = 1$ si en el nodo j se instala un centro de servicio para el nivel k , 0 en otro caso.

u_{ik} : proporción de la demanda de nivel k en el nodo i que va al colegio l .

$v_{lk} = 1$ si el colegio l se utiliza para el nivel k , 0 en otro caso.

p_k = número de nodos de servicio donde se instalan centros del nivel k .

d_{ij} = distancia del nodo i al j .

α_{ij} = peso i, j .

w_{ik} = demanda (población) del nivel k en el nodo i .

c_l = capacidad del centro (escuela) l .

M_1 : conjunto de centros de EGB (tipo 1).

M_2 : conjunto de centros de BUP y FP (tipo 2).

$t_l = 1$, si el colegio l es utilizado y 0 en otro caso.

Las funciones objetivo y las restricciones se interpretan de la forma siguiente:

(1) y (2): El primer grupo de funciones objetivo (1) representa la distancia (coste o tiempo) total de desplazamiento de los individuos desde el nodo donde residen hasta el nodo con centro escolar al que son asignados. La función objetivo (2) es la diferencia entre la población con plaza en uno de los colegios ya existentes y el número de estos colegios que se utilizan, con esta función se persigue maximizar el número de individuos con plaza escolar en los colegios disponibles a la vez que se minimiza el número de estos centros que se utilizan.

(3): La demanda debe satisfacerse en su totalidad. La población en el nodo i que demanda el nivel k debe ser asignada a un nodo j para este nivel.

(4): La demanda en el nodo i para el nivel k se asigna a colegios del nodo j sólo si esta demanda es asignada al nodo j para este nivel.

(5): La demanda en el nodo i para el nivel k es asignada al colegio l sólo si este colegio es elegido para este nivel.

- (6): La demanda en el nodo i para el nivel k es asignada al nodo j sólo si en este nodo se ubica un centro de servicio (escuela) de este nivel.
- (7): El colegio l del nodo j se selecciona para el nivel k sólo si en este nodo se decide poner en funcionamiento un centro de servicio para este nivel.
- (8): El número de nodos donde se ubican centros de nivel k es p_k .
- (9), (10), (11) y (12): En un centro de EGB se impartirá un sólo nivel distinto de la ESNO. En un centro de BUP o FP podrán impartirse dos niveles simultáneamente y no se imparte EP.
- (13): La demanda asignada al colegio l no puede superar su capacidad c_l .
- (14): Las variables y_{jk} , v_{jk} , t_j son 0-1, $j \in J$, $k \in K$, $l \in L$; las restricciones (5), (6) y (14) implican que los valores de x_{ijk} , u_{ijk} están comprendidos entre 0 y 1 para $i \in I$, $j \in J$, $k \in K$, $l \in L$.

En las aplicaciones de este modelo que se muestran en la sección 3, el problema multiobjetivo se resuelve estableciendo prioridades, considerando como objetivo prioritario la minimización de la distancia total de desplazamiento. Se aplica primero el modelo de las p_k -medianas para cada nivel k y posteriormente se optimiza la función de (2).

3. Un análisis de localización-asignación sobre los centros escolares de la isla de la Palma

La Palma es una isla del archipiélago canario con una superficie de 706.2 km² y una población de 78867 habitantes (censo de 1991) que se reparte en 14 municipios, la densidad de población es de 111.6 habitantes por km². Durante este siglo, su población ha aumentado, aunque muy lentamente, y no se espera un crecimiento significativo en el futuro.

La producción económica actual proviene fundamentalmente de la explotación del plátano, de la industria del tabaco y, en menor medida, de la producción de quesos. Esta isla tiene muchos recursos hidráulicos y la mayor parte del suelo cultivado está dedicado a la platanera. El desarrollo del turismo ha sido mucho más débil que en otras islas del archipiélago, observándose en la actualidad un ligero aumento traducido en algunas urbanizaciones turísticas.

En el análisis que se ha realizado de la estructura escolar en la isla de La Palma, los nodos de demanda son 130 núcleos de población incluidos en el "Censo de Población y Viviendas de Canarias" elaborado por el Instituto Canario de Estadística (ISTAC) (estos nodos están representados en los mapas del apéndice), a algunos nodos se les ha asociado la demanda de localidades próximas que figuran en el Censo y que fueron eliminadas y unidas a éstos. La demanda escolar en la zona de

estudio se ha determinado considerando los grupos de edad correspondientes a los tres niveles educativos definidos a partir de las enseñanzas recogidas en la LOGSE.

Para la EI2-EP, los nodos de servicio son las 130 localidades mencionadas anteriormente; para la ESO son los núcleos poblacionales con más de 15 habitantes en este nivel y para la ESNO aquellos con más de 30 individuos en el grupo de edad correspondiente.

La oferta escolar actual se ha definido en términos de los centros públicos y privados concertados en el área estudiada, y de su capacidad de alumnado, dicha capacidad viene dada por el producto del número de aulas por 30. La oferta educativa actual queda determinada por los centros existentes caracterizados por el nodo donde están ubicados, el nivel y su capacidad.

Para las aplicaciones de los modelos, se han considerado varios escenarios referidos a distancias y tiempos; las distancias están medidas en kilómetros (km) y el tiempo en minutos (mt). Para la determinación del tiempo de desplazamiento se hizo una clasificación de las carreteras en tres tipos a las que se asignó una velocidad media de 50 km/h, 20 km/h y 10 km/h, respectivamente; de esta forma se intentó incorporar las características geográficas de la zona. La menor velocidad media corresponde a caminos de tierra o senderos del municipio de Garafía. En general, las condiciones geográficas que afectan a la distancia o al tiempo de desplazamiento pueden incorporarse al modelo mediante la ponderación de la función objetivo (1) y las restricciones (3).

Enseñanza Primaria.

Para la EI2-EP, el modelo de las p -medianas se ha aplicado bajo supuestos distintos con los valores $p=65$ y desde $p=70$ a $p=75$; se tomaron estos valores por ser 70 el número de nodos dotados con centro de EGB (curso 92-93). Las aplicaciones se hicieron para distancias y tiempos, sin y con restricciones sobre la distancia máxima y tiempo máximo de desplazamiento al punto de servicio más próximo en el espacio o en el tiempo respectivamente. Para distancias, el modelo se aplicó tomando un umbral de 3 km y umbrales de 5 mt y 10 mt para tiempos. Los valores óptimos obtenidos se muestran en la tabla 3.1., los valores de la última columna corresponden a la ubicación de los centros de EGB. Los nodos seleccionados para $p=70$ están señalados en la tabla 3.2. donde se indican también los nodos donde hay centro de EGB.

Tabla 3.1. Valores óptimos en el modelo de las p-medianas.

*	p=65	p=70	p=71	p=72	p=73	p=74	p=75	92/93
a	2116.9	1719.1	1645.1	1571.6	1501.1	1435.1	1375.1	4265.9
b	2837.4	2059.9	1942.9	1844.4	1750.4	1666.4	1587.6	
t	4165.3	3343.3	3184.3	3028.3	2879.8	2735.8	2601.4	9335.2
x	6549.1	4855.9	4578.7	4333.3	4093.3	3882.1	3675.7	
y	4704.7	3739.3	3571.3	3405.7	3241.3	3079.3	2917.3	

*a: distancias sin restricciones; b: distancias con umbral de 3 km; t: tiempos sin restricciones; x: tiempos con umbral de 5 mt; y: tiempos con umbral de 10 mt.

La selección de un nodo en todos los casos para los distintos valores de p justifica la ubicación en dicho nodo de un centro de enseñanza primaria y por tanto la permanencia de un colegio de EGB ya construido; es el caso, por ejemplo, de los nodos 1, 2, 3, 4 y 13. Mientras que en los cuatro primeros hay centro de EGB no ocurre lo mismo en el nodo 13. Podemos comparar los resultados para $p=70$ con el conjunto de los los 70 núcleos de población con centros de EGB (curso 92-93), los resultados mencionados aparecen expresados de otra forma en la tabla 3.3. donde se muestran los nodos agrupados según el conjunto de casos en los que fueron seleccionados para $p=70$, aparecen subrayados los que carecen de colegio de EGB. Podemos decir que los centros de EGB situados en los nodos del grupo abtxy están ubicados acertadamente; algunos de estos nodos sin colegio en la actualidad están muy próximos a otras localizaciones con centro de este nivel y a un tiempo de desplazamiento inferior a los 6 mt, esto ocurre con las localidades 13, 46, 47, 60 y 97. La demanda en los nodos 41, 49, 90, 101 y 104 parece más perjudicada ya que, aun en los casos donde existe un colegio en un nodo próximo, el tiempo de desplazamiento supera los 10 mt siendo a veces mayor que 20 mt. La ubicación de centros de primaria en las localizaciones 34, 37 y 44 está justificada sólo si se consideran criterios de equidad, estos nodos son localidades del municipio de Garafía que disponen de centro escolar aunque tienen pocos habitantes, son núcleos de población aislados con unas vías de comunicación muy deficientes y grandes dificultades de acceso. El resto de los nodos seleccionados sin colegio de EGB tienen acceso a uno de estos centros a una distancia no superior a 5 km y a un tiempo de desplazamiento menor que 15 mt; los nodos 14, 19, 61, 81, 82, 85, 111, 116, 119 y 123, están cubiertos por un nodo con colegio a una distancia no superior a 3 km y con un tiempo de desplazamiento menor que 5 mt; los nodos 9, 40, 91 y 93 tienen un centro a menos de 3 km y 9 mt, los nodos 6, 112, 92 y 29 están cubiertos por un colegio situado a una distancia menor que 5 km, el peor

caso para el tiempo de desplazamiento corresponde al nodo 6 con un valor de 15 mt y el mejor al nodo 29 con un tiempo asociado de 6 mt.

Suponiendo la situación actual (curso 92/93) descrita en la última columna y considerando el criterio de la minimización del tiempo total de recorrido, un nodo adicional a los que ya tienen colegio de EGB debería seleccionarse en el municipio de Tzacorte o en una localidad próxima del municipio vecino de Los Llanos de Aridane. Se llega a esta conclusión seleccionando un nodo adicional y repitiendo esta operación imponiendo la condición de que en los nodos seleccionados anteriormente no puede ubicarse un colegio, los nodos elegidos, por orden de preferencia, son 49, 104, 101, 100 y 47. Haciendo un ejercicio similar para la eliminación de nodos con colegio resultan excluidos, por orden de preferencia en la eliminación, los nodos 57, 48, 33, 110 y 126.

Tabla 3.2. Modelo 70-medianas para EP.

N	S	E	N	S	E	N	S	E	N	S	E	N	S	E
1	abtxy	e	28	abtxy	e	50	abtxy	e	72	abt	e	106	abtxy	e
2	abtxy	e	29	bx		51	abtxy	e	76	a	e	110		e
3	abtxy	e	31	abtxy	e	52	abty	e	81	bx		111	b	
4	abtxy	e	32	abtxy	e	53	abtxy	e	82	aty		112	x	
5	txy		33	x	e	54	abtxy	e	84	aty	e	113	abtxy	e
6	bxy		34	bxy	e	55	abtxy	e	85	btxy		114	abtxy	e
9	x		35	abtxy	e	56		e	87	abtxy	e	116	abty	
10	abty	e	36	abtxy	e	57		e	89	a	e	117	a	e
11	ty	e	37	bxy	e	58	abtxy	e	90	abtxy		118	x	
12	ax	e	38	xy	e	59	abtxy	e	91	x		119	abty	
13	abtxy		39	abtxy	e	60	abtxy		92	tx		121	abtxy	e
14	abty		40	x		61	abt		93	tx		122	abty	e
17	abtxy	e	41	abtxy		62	abtxy	e	94	abtxy	e	123	abty	
18	abtxy	e	42	abtxy	e	63	abt	e	95		e	125	x	e
19	txy		43	abtxy	e	64	abty	e	96	abtxy	e	127	abty	e
20	ab	e	44	bxy	e	65	abtxy	e	97	abtxy		129	abtxy	e
21		e	45	abty	e	66	x	e	99		e	130		e
23	a	e	46	abtxy		68	abtxy	e	101	abtxy				
24	abtxy	e	47	abtxy		69	abtxy	e	102	atxy				
25	abtxy	e	48		e	70	abty	e	103	abtxy	e			
27	abtxy	e	49	abtxy		71	x	e	104	abtxy				

*a: distancias si restricciones; b: distancias con umbral de 3 km; t: tiempos si restricciones; x: tiempos con umbral de 5 mt; y: tiempos con umbral de 10 mt; e: escuela.

N: nodo; S: nodo seleccionado; E: nodo con colegio de EGB.

Tabla 3.3. Nodos seleccionados en cada conjunto de casos.

CASOS*	NODOS
a	23,76,89,117
ab	20
abt	61,63,72
abtxy	1,2,3,4,13,17,18,24,25,27,28,31,32,35,36,3 94,42,43,46,47,49,50,51,53,54,55,58,59,6 0,62,65,68,69,87,90,94,96, 97, 101,103, 104,106,113,114,121,129
abty	10,14,45,52,64,70,116,119,122,123,127
atxy	102
aty	82,84
ax	12
b	111
btxy	85
bx	29,81
bxy	6,34,37,44
tx	92, 93
txy	5,19
ty	11
x	9,33,40,66,71,91,112,118,125
xy	38
no seleccionados y con colegio	21,48,56,57,95,99,110,130

*a: distancias; b: distancias con umbral de 3 km; t: tiempos; x: tiempos con umbral de 5 mt; y: tiempos con umbral de 10 mt.

Enseñanza Secundaria.

Los resultados del modelo de las p-medianas para la enseñanza secundaria y varios valores de p se muestran en la tabla 3.4. para distancias (a) y tiempos (x).

Para la *Enseñanza Secundaria Obligatoria*, el modelo de las p-medianas se ha aplicado para los valores de p, 6, 7, 8, 9 y 10, imponiéndose la ubicación de colegios en las localidades donde hay centros de BUP o FP, es decir, en los nodos 50, 66, 87, 96 y 125. En los dos casos, un nodo adicional a los ya supuestos se sitúa en el nodo 106. Para p=10 las soluciones para distancias y tiempos difieren en un nodo, los centros adicionales a los fijados se ubican en los puntos 24, 28, 59, 106, y 1 para distancias y 94 para tiempos.

Para la *Enseñanza Secundaria No Obligatoria* se ha impuesto la selección de los nodos 50, 87 y 96 donde existe un instituto de bachillerato; las aplicaciones con p=6 y p=7 se hicieron en primer lugar sin imponer ninguna otra restricción y posteriormente exigiendo la selección de los nodos 66 y 125 además de los ya señalados porque en estas localidades existe un centro de FP. Para p=7 y 5 nodos fijados los centros adicionales aparecen ubicados en los nodos 106 y 129, si se compara este resultado con el obtenido para distancias en la ESO se observa que el nodo 106 es elegido en los dos casos, mientras que el 129 es sustituido por el 122; los nodos 122 y 129 son localidades próximas del mismo municipio y, salvo otras consideraciones, podría seleccionarse uno cualquiera de ellos para instalar un centro de ES.

Tabla 3.4.
Modelo p-mediano para ESO, ESNO y ES (ESO y ESNO) con distancias (a) y tiempos (x).

N	ESO					ESNO					ES				
	6	7	8	9	10	5 3f	6 3f	7 3f	6 5f	7 5t	6	7	8	9	10
1					a										a
23						ax	ax	ax							
24			a	a	ax									a	a
28			a	a	ax										
36															x
50*	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax
59		x	x	ax	ax							x	ax	ax	ax
65						a	a	a							
66**	ax	ax	ax	ax	ax	x	x	x	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax
87*	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax
94			x	x	x									x	x
96*	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax
106	ax	ax	ax	ax	ax		x	ax	x	ax	ax	ax	ax	ax	ax
122		a		x										a	a
125**	ax	ax	ax	ax	ax				ax	ax	ax	ax	ax	ax	ax
129							a	ax	a	ax		a	ax	x	x

*Nodos fijados en todas las aplicaciones.

**Nodos fijados en todas las aplicaciones para ESO y ES, y fijados (f) en las aplicaciones de las dos últimas columnas para ESNO.

Los resultados obtenidos para la enseñanza secundaria no se alejan demasiado del proyecto expuesto en el Mapa Escolar de 1990 para este nivel, los centros de secundaria donde se impartirá la ESO y la ESNO aparecen ubicados en los nodos 24, 50, 59, 66, 87, 96 y 125. Téngase en cuenta que los nodos 23 y 24 están muy próximos (les separa una distancia de 1 km y un tiempo de desplazamiento de 1.2 mt), la situación es parecida para los nodos 65 y 66 (para este caso la distancia es 2 km y el tiempo vale 6 mt).

A partir de los resultados obtenidos con el modelo de las p-medianas, tal y como se especificará más tarde, se aplica el *modelo de la conversión* para analizar una zona que contiene los municipios de Los Llanos de Aridane y Tazacorte. Para la enseñanza primaria (EI2-EP) se consideran las ubicaciones de los colegios de EGB (curso 92/93) y la asignación de la demanda que minimiza el tiempo de desplazamiento. Se asume que los colegios de EGB situados en localidades que sólo disponen de un centro escolar se convierten en escuelas de enseñanza primaria y pueden eliminarse del conjunto de centros que se analizan, puesto que los colegios situados en localidades con un sólo centro escolar son escuelas de EGB se limita el estudio a los centros localizados en nodos con varias escuelas.

La zona analizada está formada por los nodos 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54 y 55 correspondientes a localidades del municipio de Los Llanos de Aridane, los nodos 100, 101, 102, 103, 104, 105 y 106 situados en Tazacorte, y las localidades 108, 109, 110 y 113 del municipio de Tijarafe. Sólo el nodo 50 tiene más de un centro, algunos de enseñanza primaria y otros de enseñanza secundaria, uno de estos centros es un colegio privado concertado donde se imparte EGB y BUP y se ha clasificado en el tipo 3, en este nodo están ubicados también 3 centros de enseñanza primaria (los colegios 2, 3 y 6) y 2 centros de enseñanza secundaria (los centros 4 y 5). En el resto de los nodos con colegio existe un único centro que es un colegio de EGB.

Para la ES se considera en primer lugar las localizaciones y asignaciones resultantes del modelo de las 7-medianas para tiempos y se aplica el modelo de la conversión imponiendo la condición de que en el primer centro se imparte EP y ES (ESO y ESNO). El valor óptimo para este caso es 3973 con 6 colegios utilizados, en el nodo 50 se ocupan 3979 plazas de las 4410 disponibles lo que indica que toda la demanda asignada a este nodo tiene plaza escolar en uno de los centros ya construidos. Una solución es utilizar el colegio 1 para los tres niveles, los colegios 2, 3 y 6 para la EI2-EP, el centro 4 para ESNO y el colegio 5 para ESO; una solución diferente se obtiene de la anterior haciendo que en los centros 4 y 5 se imparta ES (ESO y ESNO). La demanda de ES en Tazacorte acudiría a un centro en este municipio que según los datos utilizados debería disponer de al menos 874 plazas.

Si se supone que no se instala un centro de secundaria en Tazacorte y que la demanda para este nivel se asigna a centros de Los Llanos de Aridane, una solución obtenida con el modelo de la conversión es utilizar el colegio 1 para los tres niveles, el centro 2 y 5 para ESO, los colegios 3 y 6 para EI2-EP y el 4 para ES (ESO y ESNO), otra solución consiste en destinar los centros 1, 2, 3, 4 y 6 a los mismos niveles que en la solución anterior y utilizar el colegio 5 para ES. La demanda escolar asignada al nodo 50 no se satisface totalmente ya que de los 4853 individuos que requieren una plaza escolar sólo 4373 disponen de ella. Los alumnos de EP de Tazacorte son asignados a colegios de este municipio donde hay dos centros de EGB en localidades distintas que se convierten en colegios de EI2-EP.

En la tabla 3.5. se muestra una solución del problema de la conversión suponiendo que en Tazacorte no se ubican centros de secundaria, para cada caso se indica la demanda escolar que existe y las plazas escolares disponibles, en el nodo 50 se satisface la demanda de EP y ESO y quedan si plaza escolar 480 alumnos de ESNO.

Tabla 3.5.

Demanda y plazas escolares para una solución del problema de la conversión.

NODO	DEMANDA		PLAZAS		DIFERENCIA	
	EI2-EP	ES	EI2-EP	ES	DEMADA-PLAZAS	
48	19	-	90	-	-71	-
50	1493	3360	1530	2880	-37	480
51	84	-	60	-	24	-
52	66	-	30	-	36	-
53	78	-	120	-	42	-
54	122	-	90	-	32	-
55	196	-	30	-	166	-
103	203	-	360	-	-157	-
106	690	-	600	-	90	-
110	41	-	30	-	11	-
113	60	-	30	-	30	-

4. Resumen y conclusiones

En este trabajo se han utilizado los modelos de localización-asignación para realizar un análisis en el ámbito escolar. Se ha aplicado el modelo de las p-medianas y un modelo de conversión de centros escolares, este último ha sido definido aquí para dar soluciones al problema de decidir sobre los niveles del nuevo sistema de enseñanza que deben impartirse en los colegios construidos para impartir niveles del sistema educativo anterior a la LOGSE. Con los modelos mencionados se ha analizado la organización de los centros escolares en la isla de La Palma. De los resultados de aplicar el modelo de las p-medianas se deduce que, según los criterios de la distancia y tiempo mínimos de desplazamiento, la ubicación de los centros de EGB (curso 92/93) no es óptima para el primer nivel (EI2-EP) del nuevo sistema. Para este nivel destacan unas localidades seleccionadas en todos los casos (41, 49, 90, 101 y 104) que son las más perjudicadas ya que, aun para las que están próximas a un nodo con colegio, el tiempo de desplazamiento a dicho nodo es superior a 10 mt siendo a veces mayor que 20 mt. En ciertos nodos (el nodo 6, sin colegio, y los nodos 34, 37 y 44, con colegio), la ubicación de un centro responde únicamente a criterios de equidad, son seleccionados sólo cuando se exige el acceso a un centro situado dentro de un radio de 3 km para distancias, y 5 mt y 10 mt para tiempos; en general, éstas son localidades aisladas con un número muy pequeño de habitantes.

Si se mantiene la situación actual en EGB para la enseñanza primaria del nuevo sistema educativo y se decide construir un centro de este nivel en otro nodo minimizando el tiempo total de desplazamiento, el nuevo centro debería ubicarse en una localidad de Tazacorte o en el municipio vecino de Los Llanos de Aridane que son dos de las zonas más pobladas de la isla (los nodos más adecuados por orden de preferencia son 49, 104, 101, 100 y 47), los nodos candidatos para ser eliminados del conjunto de localidades con colegio también son determinados (por orden de preferencia en la eliminación, los nodos 57, 48, 33, 110 y 126).

Fijando los nodos donde ya hay centros de FP y Bachillerato (50, 66, 87, 96 y 125), se obtiene un conjunto de nodos adecuados para instalar en ellos un centro de enseñanza secundaria (en primer lugar los nodos 59 y 106, otros nodos candidatos para este fin son el 23 o 24, que están muy próximos, 129 y 94).

El modelo de la conversión de escuelas se ha aplicado a una zona de la isla que contiene un nodo con varios centros obteniéndose varias soluciones. El problema de la conversión puede tener varias soluciones porque la demanda puede distribuirse en los centros escolares que existen de distintas formas proporcionando el mismo valor de la función objetivo. Tal y como se indica en la tabla 3.5. donde se supone que sólo un nodo de la zona, el nodo 50, tiene centros de ES, en la

mayor parte de los nodos con colegios de EGB se requieren más plazas de EP, en el nodo 50 se cubre toda demanda para este nivel y es necesario un aumento del número de plazas de ES (480 plazas para ESNO).

En las aplicaciones realizadas en este trabajo, la demanda para los distintos niveles viene medida por el número de habitantes en el grupo de edad correspondiente en un momento determinado (censo de 1991), no se ha considerado la tendencia demográfica en el tiempo asumiéndose que no van a producirse variaciones notables y que la población se concentrará en el futuro de forma similar a como lo está actualmente, siendo las localidades más pobladas las que hoy tienen el mayor número de habitantes.

La capacidad de los colegios se ha medido siguiendo las directrices de la LOGSE estableciéndose un máximo de 30 alumnos por aula, no se ha tenido en cuenta la superficie de las aulas. Otros aspectos como la existencia de comedores y centros de recursos, así como el carácter de escuelas unitarias y la reestructuración del profesorado no se han considerado en este trabajo dejando su tratamiento para un estudio futuro. Por último, el problema puede modificarse para incluir criterios de localización diferentes a la minimización de la distancia (o tiempo) de desplazamiento, por ejemplo, la minimización de la distancia (o tiempo) máxima entre los nodos de demanda y los nodos de servicio a los que se asignan.

Apéndice

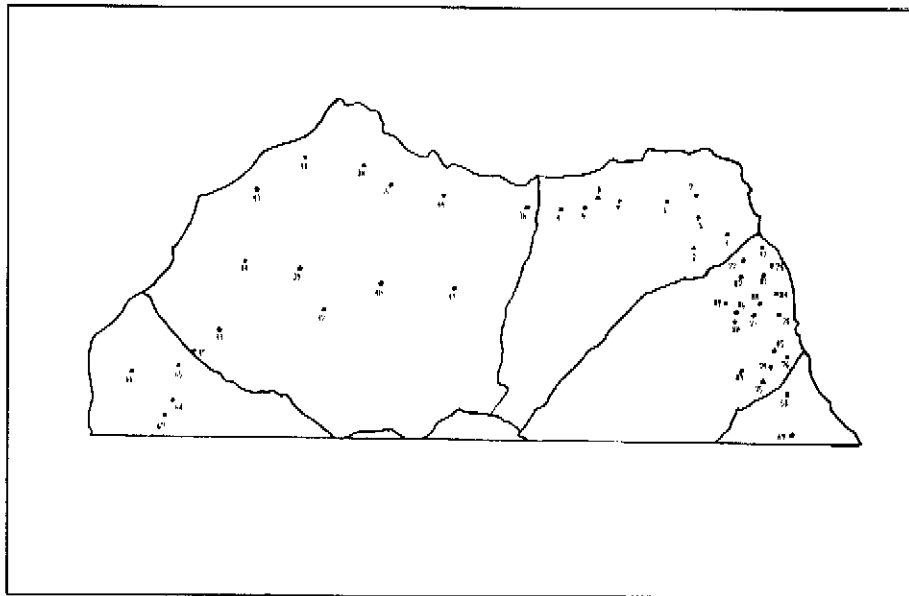


Figura 1. La Palma, zona norte.

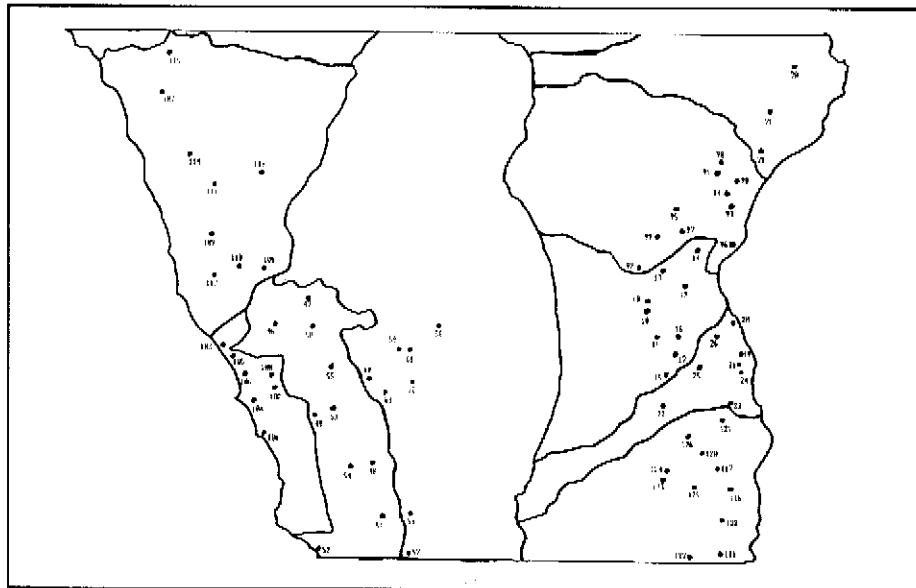


Figura 2. La Palma, zona centro.

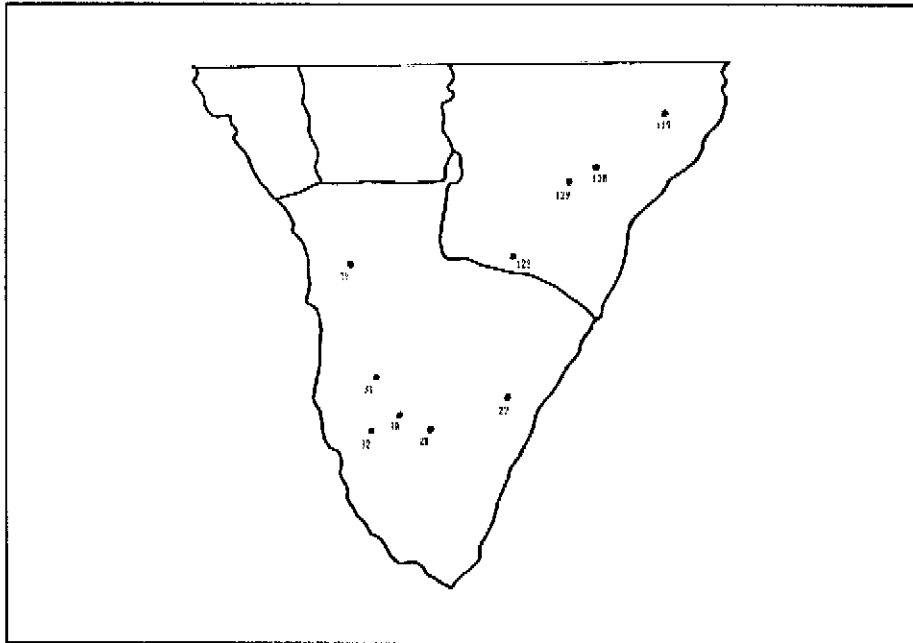


Figura 3. La Palma, zona sur.

BIBLIOGRAFÍA.

Bessent, A., Bessent, W., Kennington, J., Reagan, B. (1982): *An application of mathematical programming to assess productivity in the Houston Independent School District*. Management Science, vol. 28, nº 12, págs. 1355-1367.

Bovet, J. (1982): *Simple heuristics for the school assignment problem*. J. Opl. Res. Soc., vol. 33, págs. 695-703.

Brandeu, M.L., Chiu S.S. (1989): *An overview of representative problems in location research*. Management Science, vol. 35, nº 6, págs. 645-674..

Congdon, P., McCallum, I. (1992): *A demo-educational model for forecasting school rolls for localities*. The Statistician 41, págs. 573-590.

Ferland, J.A., Guenete, G. (1990): *Decision support system for the school districting problem*. Operations Research, vol. 38, nº 1, págs. 15-21.

Francis, R.L., McGinnis, L.F., White, J.A. (1983): *Locational Analysis*. European Journal of Operational Research, 12, págs. 220-252.

GOBIERNO DE CANARIAS. CONSEJERIA DE ECONOMIA Y HACIENDA. INSTITUTO CANARIO DE ESTADISTICA (1991): *Censos de población y viviendas*. Canarias.

GOBIERNO DE CANARIAS. CONSEJERIA DE EDUCACION, CULTURA Y DEPORTES. DIRECCION GENERAL DE ORDENACION EDUCATIVA (1990): *Mapa escolar de Canarias para la implantación de la Reforma Educativa*.

Hakimi, S. (1964): *Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph*. Operations Research 12, págs. 450-459.

Khumawala, B. (1973): *An efficient algorithm for the p-median problem with maximum distance constraints*. Geographical Analysis 5, págs. 309-321.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA (1990): *Proyecto de Ley Orgánica de Ordenación General del Sistema Educativo*. Cuadernos de Pedagogía, nº 184, págs. I-XVI.

Moore, G.C., Reville, C. (1982): *The hierarchical service location problem*. Management Science, vol. 28, nº 7, págs. 775-780.

Moreno A., López, M.A. (1989): *Organización espacial del sistema de centros públicos de enseñanza general básica en el sureste de Madrid. Un análisis comparativo de modelos de localización-asignación*. Revista de Educación, nº 290, págs. 407-442.

Pastor, J., Almiñana, M. (1993): *Una panorámica de las conexiones y aplicaciones del problema de localización con cubrimiento maximal*. Investigación Operativa, vol. 3, nº 1, págs. 25-39.

Skiena, S. (1990): *Implementing discrete mathematics. Combinatorics and graph theory with MATHEMATICA*. Addison Wesley.

Thomas, R.W., Robson, B.T. (1984): *The impact of falling school-rolls on the assignment of primary schoolchildren to secondary schools in Manchester, 1980-1985*. Envir. and Plann. A, vol. 16, págs. 339-356.