

Racionalidad en la programación de la oferta educativa pública en Tenerife¹

Montserrat Hernández López
José Juan Cáceres Hernández
Universidad de La Laguna

Recibido, Abril de 2005; Versión final aceptada, Enero de 2006.

PALABRAS CLAVE: Educación pública, Programación genética, Municipios.

KEYWORDS: Public education, Genetic programming, Towns.

Clasificación JEL: C63, H52

RESUMEN

El crecimiento demográfico en Tenerife en los últimos años ha generado mayor demanda de servicios educativos. Dado que este incremento no ha sido homogéneo en todo el territorio insular, los desequilibrios oferta-demanda son diferentes según municipios. Y estos desajustes deberían ser considerados a la hora de decidir la instalación de nuevos centros. En este trabajo se diseña un algoritmo, basado en programación genética, que permite planificar la evolución en la dotación pública de plazas de educación primaria y secundaria obligatoria en los municipios de la Isla, bajo el supuesto de que estas decisiones están inspiradas en criterios de racionalidad económica.

ABSTRACT

The growth of the Tenerife population during the last few years has created an increase in the demand for educational facilities. The supply-demand disequilibrium is different among towns in the island since this demographic increase has not been uniform throughout the island. These imbalances should be taken into account when decisions are made to open new educational centres. In this paper these decisions are assumed to be based on economic rationality criteria. Based on genetic programming an algorithm is designed which considers these criteria in order to plan the building of primary and secondary public schools centres in Tenerife towns.

1. INTRODUCCIÓN

El artículo 27 de la Constitución Española reconoce el derecho a la educación de los ciudadanos. De ahí la obligación de dedicar fondos públicos a la financiación

1 Los autores de este trabajo desean manifestar su agradecimiento al personal de la Dirección General de Centros de la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias y, en especial, a José Luis Oñate, sin cuya desinteresada colaboración no se podría haber llevado a cabo esta investigación; se consideran también en deuda con el Dr. Miguel Ángel Fajardo por sus útiles comentarios sobre modelos jerárquicos de asignación de servicios públicos; y, asimismo, desean mostrar su gratitud a un evaluador anónimo cuyas sugerencias han contribuido a mejorar la versión final.

de un sistema educativo que, en la actualidad, establece la enseñanza obligatoria y gratuita en los niveles de educación primaria y educación secundaria obligatoria, complementada con niveles más avanzados de educación no obligatoria². En Canarias, existe un claro predominio de la enseñanza pública respecto a la privada (Cabrera y Afonso, 2002:103), aunque, en este sentido, es preciso aclarar que el gasto público dirigido a garantizar la enseñanza obligatoria se destina no sólo a centros públicos, sino también a centros privados que cumplan ciertos requisitos legales, denominados centros concertados. El hecho es que el esfuerzo realizado durante los últimos años por parte de la Administración Pública ha permitido una mejora educativa del Archipiélago que ha significado una clara tendencia a la convergencia con el resto de España en términos de tasas de analfabetismo o de escolarización. Ahora bien, a pesar del importante volumen de recursos dedicado en cada una de las Islas Canarias a garantizar, al menos, la oferta educativa obligatoria, la eficiencia del gasto realizado depende también de la dinámica socioeconómica y, en particular, del crecimiento demográfico y de la movilidad espacial de la población en cada uno de los espacios insulares.

La isla de Tenerife, ámbito geográfico al que se circunscribe este trabajo, posee centros educativos públicos y privados concertados que ofrecen un número de plazas suficiente para cubrir las demandas de estos servicios educativos en las edades correspondientes a educación primaria y educación secundaria obligatoria. Sin embargo, la dinámica demográfica en los últimos años ha generado un incremento notable de la población residente en el sur de la Isla y, en general, cambios significativos en la distribución de la población por la geografía insular. De este modo, las dotaciones de plazas correspondientes a cierto servicio educativo en algunos municipios no se ajustan a la demanda potencial del servicio considerado

- 2 Al margen de la obligación legal, la inversión pública en enseñanza obligatoria queda justificada, en primer lugar, en términos de beneficios individuales. El efecto positivo de la educación sobre los niveles de ingreso ha sido ampliamente reconocido desde el trabajo de Mincer (1974). Alba y San Segundo (1995) encontraron, para el caso español, que un año adicional de educación significaba un incremento del 8.4% de los salarios. Más recientemente, Brunello y Comi (2004) han estudiado la respuesta salarial al nivel educativo en once países europeos y han encontrado que la educación no sólo proporciona una ventaja inicial en el mercado de trabajo, sino que tal ventaja se incrementa cuando aumenta el tiempo que se permanece en el mercado laboral. Pero la educación aporta también al individuo un aprendizaje social y oportunidades de acceso a niveles educativos superiores. Además, el gasto en educación se traduce en beneficios sociales como la integración social o la mejora en la distribución de la renta. Incluso, como señala Montes (2002), la financiación pública de la educación se puede entender como una inversión en el capital humano de las generaciones jóvenes, cuya rentabilidad se obtiene a través de las pensiones. Y, en general, dada la contrastada relación entre educación y crecimiento económico (Barro y Sala-i-Martin, 1995; Oroval y Escardíbul, 1998; Freire-Serén, 2001; Arrazola y De Hevia, 2003), puede asumirse que el gasto público en educación supone un beneficio social neto.

por parte de la población residente en ellos. Por tanto, una parte no despreciable de los alumnos residentes en tales municipios se ven obligados a desplazarse a otro más o menos cercano, lo que trae aparejados unos costes de transporte cuya dimensión, tanto en términos de gasto monetario explícito como, sobre todo, en términos del valor del tiempo que se pierde en los trayectos, puede hacer aconsejable la instalación de nuevos centros en los municipios peor dotados. En concreto, si la reducción del coste de transporte aparejada a la instalación de un nuevo centro es superior al coste derivado de su construcción, mantenimiento y funcionamiento, entonces la realización del proyecto parece una decisión correcta desde el punto de vista del bienestar social.

La equidad en la asignación espacial de recursos educativos ha sido objeto de atención en la literatura especializada (Iatarola y Steifel, 2003); pero en este trabajo la conveniencia de instalar un nuevo centro no se está evaluando en términos de equidad, sino de eficiencia, es decir, en términos de costes y beneficios sociales. Podría argumentarse que los municipios de renta más baja deberían resultar beneficiados en la dotación educativa como mecanismo redistributivo indirecto. Pero si el coste de un nuevo centro supera a la reducción de costes de transporte que éste implica, sería más barato que la administración pública financiara estos últimos costes a los perjudicados y, en cualquier caso, existiría margen para lograr un efecto directo en términos de equidad a través de transferencias directas de renta. La dificultad radica, más bien, en que el sector público evalúe no sólo el coste de transporte en un medio público, sino también el coste de oportunidad del tiempo de viaje.

Si se define el incremento de calidad asociado a la creación de un nuevo centro como la diferencia entre la reducción de costes de transporte y el coste derivado de la instalación, mantenimiento y funcionamiento del centro, parece lógico considerar que la probabilidad de mejora en la dotación educativa de un municipio determinado es directamente proporcional a dicho incremento de calidad. En este trabajo, se diseña un algoritmo, basado en la programación genética, capaz de predecir tales transformaciones en las dotaciones educativas de cada municipio. En la siguiente sección, se definen las características de la población original sobre la que actúa el algoritmo. A continuación, se evalúa la reducción en los costes de transporte así como el coste de instalación de los nuevos centros necesarios para que en cada municipio se produzca una mejora en su oferta educativa en las etapas consideradas en el estudio. Una vez que se dispone de los elementos informativos en los que, desde un punto de vista teórico, debería fundamentarse la decisión política de instalar nuevos centros, se diseña un algoritmo cuyo funcionamiento sea compatible con la supuesta racionalidad que guía las decisiones de los gestores públicos. En la sección siguiente se muestran los resultados obtenidos mediante la aplicación del algoritmo. Finalmente, se exponen las conclusiones del trabajo.

2. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN ORIGINAL

Para identificar las características de cada municipio en términos de su oferta educativa pública, incluyendo los centros privados concertados, es preciso conocer la población en la edad correspondiente a cada etapa educativa así como la dotación de plazas tanto en educación primaria como en secundaria obligatoria. La población residente en cada municipio se ha calculado a partir de los resultados de los censos de población y viviendas 2001³, mientras que la oferta educativa se ha estimado a partir de la información proporcionada por la Dirección General de Centros de la Consejería de Educación, Cultura y Deportes para el curso 2001/2002.

En cuanto a la evaluación de los potenciales demandantes, el INE ofrece datos de la población municipal agrupada en segmentos de edad de 5 años que no coinciden con los segmentos de edad propios de cada etapa educativa⁴. Se ha optado, entonces, por asumir que, en cada segmento de edad considerado por el INE, la población se distribuye de un modo uniforme. A partir de este supuesto, la población municipal en edad de acceder a la educación primaria (6-11 años), se ha calculado del siguiente modo:

$$\text{Pob. primaria} \cong \frac{4}{5} [\text{Pob. 5 - 9 años (censo)}] + \frac{2}{5} [\text{Pob. 10 - 14 años (censo)}]$$

Análogamente, la población municipal en edad de acceder a la educación secundaria obligatoria (12-15 años), se estima como

$$\text{Pob. ESO} \cong \frac{3}{5} [\text{Pob. 10 - 14 años (censo)}] + \frac{1}{5} [\text{Pob. 15 - 19 años (censo)}]$$

Dado que el Estado debe garantizar una plaza a cualquier alumno que la solicite, parece lógico que la oferta pública se planifique de acuerdo con la demanda de educación pública esperada y no tanto con la demanda potencial de educación. Desde este punto de vista, la demanda esperada puede estimarse sustrayendo a la población en edad escolar, aquélla que se espera que acuda a centros privados⁵.

El porcentaje de alumnos en la edad escolar correspondiente a cada etapa educativa que se estima que acudirá a centros privados no concertados se ha

3 Instituto Nacional de Estadística (INE). Resultados de los Censos de Población y Viviendas 2001. Avance de resultados.

4 En el intervalo de edad que afecta a este estudio, los tramos considerados por el INE son los siguientes: 0 a 4 años, 5 a 9 años, 10 a 14 años y 15 a 19 años.

5 Los motivos por los que un determinado porcentaje de la población demanda educación privada se analizan, entre otros, en Epple y Romano (1996) y Nechyba (1999). Véase también Epple y otros (2004).

evaluado a partir del porcentaje de plazas en este tipo de centros en relación con el total de plazas educativas en cada distrito⁶. Se ha asumido además que este porcentaje es fijo para todos los municipios del distrito⁷, dado que en la elección de centros privados el municipio de residencia no es tan determinante.

CUADRO 1
MUNICIPIOS DE LOS DISTRITOS DE TENERIFE

Distrito	% Primaria ^(a)	% ESO ^(b)	Distancia ^(c)
71: Buenavista, Los Silos, El Tanque, Garachico, Icod, San Juan de la Rambla y La Guancha.	5.11	4.73	10.38
72: Los Realejos, Puerto de la Cruz y La Orotava.	23.57	20.30	5.33
73: Santa Úrsula, La Victoria, La Matanza, El Sauzal, Tacoronte y algunos centros de La Laguna.	5.17	4.59	9.53
74: Tegueste, La Laguna, El Rosario y algunos centros de Santa Cruz.	36.33	35.38	12.33
75: Santa Cruz y algunos centros de La Laguna y El Rosario.	30.36	28.28	12.67
76: Candelaria, Arafo, Güímar, Fasnía y Arico.	12.40	11.95	13.60
77: Granadilla, San Miguel, Vilaflor, Arona, Adeje, Guía de Isora y Santiago del Teide.	16.30	15.60	18.67

^(a) Porcentaje de plazas de educación primaria en centros privados no concertados.

^(b) Porcentaje de plazas de educación secundaria obligatoria en centros privados no concertados.

^(c) Distancia media entre los municipios del distrito en km.

Una vez estimada la demanda de educación pública en cada etapa educativa por parte de la población residente en el municipio, el nivel de oferta educativa del municipio en cuestión en centros públicos y privados concertados puede calcularse como el cociente entre el número de plazas y el número estimado de alumnos. Estos *ratios* plazas/alumno se presentan en el Cuadro 2.

Se ha optado por distinguir dos niveles de oferta en cada etapa educativa, en función de que el *ratio* plazas/alumnos supere o no la unidad, puesto que la transformación relevante es aquélla que implica que un municipio infradotado deje de estarlo. En consecuencia, la situación de un municipio queda definida por un

6 Los centros de la Isla están adscritos a determinados distritos definidos atendiendo a criterios de proximidad geográfica (Cuadro 1).

7 A efectos del cálculo de este porcentaje se ha considerado que el distrito 73 está integrado sólo por los municipios de Santa Úrsula, La Victoria, La Matanza, El Sauzal y Tacoronte. En el distrito 74 se ha incluido Tegueste, La Laguna y el Rosario, mientras que el distrito 75 se considera integrado sólo por el municipio de Santa Cruz.

par de caracteres, que informan del estado del municipio en educación primaria y secundaria obligatoria, respectivamente. El conjunto E de estados posibles en los que puede encontrarse un municipio es el siguiente:

$$E: \{(r^P, r^{ESO}) / r^P : <1, \geq 1; r^{ESO} : <1, \geq 1\}, \quad [1]$$

donde r^P y r^{ESO} son los ratios plazas/alumno en primaria y secundaria obligatoria, respectivamente. Y, a efectos formales, pueden expresarse en términos de pares de números reales de acuerdo con la aplicación $(X, Y) : \Omega \rightarrow \mathfrak{R}^2$ tal que:

$$\begin{aligned} e \in E / r^P < 1, r^{ESO} < 1 &\rightarrow (0, 0) \\ e \in E / r^P \geq 1, r^{ESO} < 1 &\rightarrow (1, 0) \\ e \in E / r^P < 1, r^{ESO} \geq 1 &\rightarrow (0, 1) \\ e \in E / r^P \geq 1, r^{ESO} \geq 1 &\rightarrow (1, 1) \end{aligned} \quad [2]$$

La situación de cada municipio atendiendo a estos ratios se presenta en el Cuadro 2.

3. EVALUACIÓN DE COSTES Y BENEFICIOS DERIVADOS DE LA INSTALACIÓN DE UN NUEVO CENTRO

De acuerdo con la definición de los niveles educativos, se producirá un cambio en la oferta educativa municipal si, como consecuencia de la instalación de un nuevo centro, se produce un aumento en el número de plazas por alumno que signifique elevar el *ratio* plazas/alumno por encima de la unidad en una etapa educativa en la que dicho *ratio* era inferior a 1. Actualmente, la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias construye centros de primaria de 6 unidades (línea 1: un grupo por curso), de 12 unidades (línea 2: 2 grupos por curso) o de 18 unidades (línea 3: 3 grupos por curso). En cuanto a la educación secundaria obligatoria, se están construyendo, preferentemente, centros de 12 unidades (línea 3: 3 grupos por curso) o de 16 unidades (línea 4: 4 grupos por curso). En este sentido, puede considerarse que un municipio incrementa su oferta educativa cuando, en una etapa educativa determinada, se instala un centro de la dimensión mínima suficiente para que el *ratio* correspondiente supere la unidad. Tal dimensión puede determinarse teniendo en cuenta que una unidad de primaria permite atender a 25 alumnos y una unidad de secundaria obligatoria cubre la demanda de 30 alumnos.

CUADRO 2
DOTACIÓN DE PLAZAS EDUCATIVAS EN PRIMARIA Y
SECUNDARIA OBLIGATORIA

Municipio	ALUMNOS ^(a)		NÚMERO DE PLAZAS ^(b)		RATIO PLAZAS/ALUMNO		ESTADO	
	Primaria	ESO	Primaria	ESO	Primaria	ESO	Primaria	ESO
Adeje	954,55	685,64	1158	751	1,213	1,095	1	1
Arafo	250,55	202,87	229	197	0,914	0,971	0	0
Arico	327,99	231,75	347	242	1,058	1,044	1	1
Arona	2462,54	1709,20	3824	2584	1,553	1,512	1	1
Buenavista	260,01	210,35	253	236	0,973	1,122	0	1
Candelaria	853,96	580,26	820	652	0,960	1,124	0	1
El Rosario	579,17	411,35	706	424	1,219	1,031	1	1
El Sauzal	498,80	370,94	456	405	0,914	1,092	0	1
El Tanque	182,96	152,05	191	197	1,044	1,296	1	1
Fasnia	87,25	62,87	84	28	0,963	0,445	0	0
Garachico	255,46	227,69	191	122	0,748	0,536	0	0
Granadilla	1190,59	915,03	1778	1419	1,493	1,551	1	1
Guía de Isora	892,27	660,83	1251	945	1,402	1,430	1	1
Güímar	796,84	620,76	1050	819	1,318	1,319	1	1
Icod de los Vinos	1407,48	1113,86	1630	1300	1,158	1,167	1	1
La Guancha	291,90	247,50	329	352	1,127	1,422	1	1
La Laguna	5286,36	4127,82	10636	8278	2,012	2,005	1	1
La Matanza	444,18	346,71	355	367	0,799	1,059	0	1
La Orotava	1988,18	1508,63	2847	2206	1,432	1,462	1	1
La Victoria	512,84	383,73	512	397	0,998	1,035	0	1
Los Realejos	1795,57	1370,92	2744	2195	1,528	1,601	1	1
Los Silos	240,65	195,68	313	245	1,301	1,252	1	1
Puerto de la Cruz	1079,85	909,48	1048	1039	0,971	1,142	0	1
San Juan Rambla	290,76	220,83	290	205	0,997	0,928	0	0
San Miguel	523,98	362,57	873	186	1,666	0,513	1	0
Santa Cruz Tenerife	7609,85	6145,72	10503	8274	1,380	1,346	1	1
Santa Úrsula	716,15	511,00	669	514	0,934	1,006	0	1
Santiago del Teide	387,04	275,30	395	312	1,021	1,133	1	1
Tacoronte	1278,68	931,75	1254	976	0,981	1,047	0	1
Tegueste	373,12	289,87	603	416	1,616	1,435	1	1
Vilaflor	103,12	73,09	84	34	0,815	0,465	0	0

^(a) Estimación de la población en la edad escolar correspondiente que se espera que acuda a centros públicos o privados no concertados.

^(b) Número de plazas ofertadas en centros públicos o privados concertados.

La instalación de un nuevo centro en un municipio supone un coste determinado en inversión inicial, funcionamiento y mantenimiento. Además, significa una reducción del coste de transporte para aquellos alumnos que disfrutaban de dicho servicio fuera de este municipio y que, después de su instalación, deciden acudir al nuevo centro. Estas dos magnitudes serán consideradas los elementos fundamentales para decidir la conveniencia o no de incrementar la infraestructura educativa instalada en un municipio⁸.

La evaluación del coste anual de un nuevo centro exige estimar el coste de la inversión inicial, así como los costes de mantenimiento y funcionamiento. En cuanto a la inversión inicial, la amortización anual de las instalaciones puede obtenerse dividiendo el presupuesto de la obra por el número de años de vida útil. En este sentido se utilizaron las estimaciones del coste de construcción utilizadas por la Dirección General de Infraestructuras de la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias y se aplicó un sistema de amortización lineal en un periodo de 30 años. La evaluación de los costes en centros de distinta dimensión permite tener en cuenta los efectos de escala que pueden aconsejar la instalación de un único centro de mayor dimensión frente a la alternativa de varios centros de menor tamaño⁹.

Con respecto a los costes de funcionamiento, se ha considerado, por una parte, el volumen total de subvenciones otorgadas por la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias para este fin en todos los centros del Archipiélago. A partir de esta información, proporcionada también por la Dirección General de Centros, se obtuvo una estimación del coste medio por alumno, así como del coste correspondiente a cada centro en función de su dimensión. Finalmente, en los costes de funcionamiento se ha añadido otra partida, no incorporada en el dato anterior, referida a costes salariales.

La imputación de costes salariales a un nuevo centro es bastante delicada. De hecho, si la necesidad deriva de un incremento de la demanda, la obligación del Estado es dotar del personal necesario para cubrirla, ya sea en un centro existente o en otro nuevo. Si simplemente se produce un trasvase de alumnos de un centro a otro, puede admitirse que el personal tiene la movilidad suficiente para desplazarse a otro centro en función de las necesidades, sin que ello produzca un coste adicional más allá del derivado de la existencia de discontinuidades en la oferta del bien *profesor*. En cualquier caso, hay restricciones de escala que pueden obligar,

8 Tanto los costes asociados a un nuevo centro como los costes de transporte se han evaluado a precios constantes de 2002.

9 Aunque éste será el criterio adoptado en el trabajo, existen argumentos que pueden sugerir la conveniencia de reducir el tamaño de los centros con objeto de mejorar los resultados educativos (Driscoll y otros, 2003).

por ejemplo, a incrementar en algún grado el personal de administración. Aunque es difícil establecer una regla precisa, se ha asumido que, en términos medios, la creación de un nuevo centro supone un incremento salarial aproximado equivalente al sueldo base de un nuevo profesor, que se ha estimado en 12000 euros anuales¹⁰.

Finalmente, se ha incluido un capítulo de gastos de mantenimiento y conservación del edificio, que se ha estimado en un 0,2% anual del valor total de la inversión inicial. Las estimaciones de costes de inversión inicial, funcionamiento y mantenimiento se recogen en el Cuadro 3 y, de estar sesgadas en algún sentido, habría que considerar que pueden significar una infravaloración de los costes reales.

CUADRO 3
**COSTE ANUAL DE INSTALACIÓN, FUNCIONAMIENTO Y
MANTENIMIENTO DE UN CENTRO (EUROS)**

		Amortización	Funcionamiento	Mantenimiento	Total
	Línea 1 (6 u.)	45290,5153	15029,7886	2717,4309	63037,7348
Primaria	Línea 2 (12 u.)	51760,5889	18059,5772	3105,6353	72925,8014
	Línea 3 (18 u.)	59309,0081	21089,3658	3558,5405	83956,9144
ESO	Línea 3 (12 u.)	92198,5490	32875,4721	5531,9129	130605,9340
	Línea 4 (16 u.)	100286,1410	39833,9628	6017,1685	146137,2723

La evaluación de la reducción del coste de transporte anual como consecuencia de la instalación de un nuevo centro exige, en primer lugar, conocer el número de individuos que experimenta tal reducción de costes. Dicha reducción estará asociada a la disminución en la distancia entre su residencia y el centro al que acude. El problema radica, pues, en estimar cuánto se reduce la distancia y cuál es la magnitud del coste de transporte por unidad de distancia.

Si un nuevo centro S se instala en un determinado municipio i , se puede producir una reducción de la distancia para los alumnos residentes en el municipio i que antes acudían a un centro fuera del municipio y , también, para alumnos residentes en otros municipios que acudían a un centro más distante que el de nueva creación. Por tanto, si se admite que el coste de transporte por km y persona es una constante c_1 , y se conoce la población del municipio j que acudiría anualmente al servicio cuya instalación se plantea, pob_j , la reducción anual del coste de transporte derivada de la instalación de un nuevo centro en el municipio i , ∇CT_i , vendrá

10 El sueldo base mensual para un profesor de educación primaria pública en Canarias en el año 2000 era de 136803 ptas, y de 161186 ptas en el caso de la educación secundaria. Véase Cabrera y Afonso (2002: 67-68).

dada por la expresión $\nabla CT_i = \sum (\nabla d_{i,j}) c_t \text{pob}_j$, donde $\nabla d_{i,j}$ es la reducción de la distancia para los individuos del municipio j que se desplazarían al nuevo centro del municipio i . La magnitud c_t evalúa el coste que para una persona supone recorrer cada kilómetro en que se reduce la distancia entre su residencia y el centro al que acude a lo largo de un año, lo que exige tener en cuenta el tiempo empleado en recorrer cada kilómetro, así como la frecuencia con que se realizan los viajes.

Este coste es muy difícil de evaluar, sobre todo porque, además del pago monetario que puede realizarse, por ejemplo, por utilizar un transporte público, es preciso estimar el tiempo invertido en el viaje y el valor asignado a dicho tiempo por parte del alumno. Si se tratara de valorar el coste que supone realizar la actividad de transporte por parte del transportista, el problema no sería tan complicado (De Rus, 1986). Sin embargo, se intenta determinar el valor asignado al tiempo de transporte evaluado en términos del coste de oportunidad en que se incurre por el tiempo que el usuario no puede dedicar a otras actividades que podrían suponerle, por ejemplo, un rendimiento salarial o, en general, un incremento de la satisfacción o utilidad del individuo.

La consideración del valor subjetivo del tiempo como elemento relevante en la evaluación de la demanda de transporte y, en suma, de los proyectos de infraestructura de transporte es una característica común de los modelos teóricos (De Rus y Nash, 1998)¹¹. Muchos trabajos han evaluado el valor del tiempo a partir de las preferencias que revelan los individuos en la elección de medios de transporte alternativos. Y en el ámbito geográfico de Canarias, González y otros (1995) llevaron a cabo dicha valoración para el transporte interinsular Tenerife-Gran Canaria. Pero no se conoce ningún trabajo en el que se haya evaluado específicamente el valor del tiempo de transporte al que se hace referencia en este trabajo. Finalmente, se ha optado por evaluar el coste de transporte por alumno y km desglosándolo en tres partidas: valor del tiempo, conservación del vehículo y gasto en combustible.

El valor del tiempo de *no trabajo* es, en términos económicos, un ratio entre la utilidad marginal del tiempo y la utilidad marginal del dinero y, por tanto, depende, entre otros factores de los niveles de ingreso que reporta el trabajo. Si el salario del trabajador coincide con su productividad marginal, en el caso de un viaje por motivo laboral, el tiempo invertido puede valorarse como la remuneración salarial íntegra correspondiente a ese periodo. Cuando el viaje es por otro motivo, la valoración es más subjetiva y depende del valor que cada individuo asigna al tiempo. En estos casos, suele evaluarse el tiempo de transporte como un porcentaje de los ingresos del usuario; pero habría que dilucidar si dicho coste debe imputarse al usuario directo del transporte. Tal vez deberían también imputarse al transportista en el caso

11 Un examen de los determinantes del valor del tiempo de transporte puede consultarse también en Small (1992: 36-46) y González (1997). Véase, además, Matas (1991).

frecuente de que éste sea uno de los familiares del alumno. En este sentido, se ha asignado un valor del tiempo por hora definido como el 50% del salario medio por hora en Canarias¹², que según el INE se situó en el año 2002 en una media de 8,40 euros. Para transformar este dato en un coste por km es necesario evaluar la velocidad media. Dado que buena parte de los recorridos del transporte escolar tienen lugar en centros urbanos, se ha considerado que los vehículos ligeros (menos de 6 metros) circulan en los horarios de transporte escolar a 30 km/hora, mientras que los vehículos pesados (más de 6 metros) lo hacen a 20 km/hora. De acuerdo con los datos de intensidad de circulación de vehículos por diferentes puntos kilométricos de las carreteras de Tenerife publicados por el ISTAC para 1998, se ha estimado que el porcentaje de vehículos pesados es del 6,94%, mientras que el porcentaje de vehículos ligeros es del 93,06%. De este modo, resulta una velocidad media de 29,306 km/hora y el coste del tiempo por km resultante es de 0,1433 euros.

En cuanto a los costes de conservación del vehículo y consumo de combustible, se han seguido los criterios adoptados por Barrios (1998: 166). Por un lado, se ha asumido que los costes de conservación de vehículos pesados son de 0,1933 euros/km, mientras que para vehículos ligeros el coste anterior desciende a 0,0455 euros/km. Considerando las intensidades de tráfico ya comentadas, se obtiene un coste medio de conservación por km de 0,0557 euros. En cuanto al consumo de combustible, se estima que los vehículos pesados consumen 0,25 litros de gasoil por km y los vehículos ligeros consumen 0,1 litros de gasolina por km. El precio medio de la gasolina sin plomo en las gasolineras de la provincia de Santa Cruz de Tenerife en 2002 se situó alrededor de 0,59 euros/litro y el precio medio del gasóleo A fue de 0,46 euros/litro, aproximadamente¹³. De todo lo anterior resulta un gasto medio en combustible por km de 0,0627 euros.

Agregando los tres componentes de coste, resulta un coste medio de transporte por kilómetro recorrido de 0,2618 euros. Podría asumirse que un alumno realiza dos desplazamientos diarios (ida y vuelta), durante 5 días a la semana, en un periodo aproximado de 35 semanas, lo que significa 350 desplazamientos anuales. Entonces, el coste de transporte por km debería evaluar lo que cuesta al alumno recorrer uno de los km de su trayecto 350 veces. Dicho coste asciende finalmente a 91,6228 euros¹⁴ (Cuadro 4).

12 En algunas investigaciones se asigna un valor del tiempo del usuario de hasta un 43% del salario medio cuando el viaje es por estudios. Véase Barrios (1998: 163).

13 Estos precios de los combustibles se han estimado a partir de los datos proporcionados por el Ministerio de Economía y Hacienda.

14 En general, el precio del transporte por km decrece con la distancia. Ahora bien, el componente más relevante del coste de transporte para el usuario es el coste de oportunidad y no queda tan claro que el coste marginal por cada nuevo km sea decreciente. Por ello, en aras de la simplicidad, se ha asumido que el coste de transporte por km es constante.

CUADRO 4
COSTE DE TRANSPORTE POR KM (EUROS)

Valor del tiempo	Conservación vehículo	Combustible	Total
0,143315362	0,055733885	0,062730113	0,26177936
Coste de transporte anual por km de distancia entre residencia y centro			91,62277611

Evaluar la reducción de la distancia es también una tarea complicada y obliga a introducir algunas hipótesis. En primer lugar, se asume que los alumnos acuden a un centro de su propio municipio, o bien, se desplazan al municipio más cercano a éste dotado del servicio que se va a instalar, sin salir, en ningún caso, del distrito al que corresponde su municipio de residencia¹⁵. Para los alumnos que disfrutan del servicio que ofrece el nuevo centro fuera de su municipio, la reducción en la distancia puede evaluarse como la distancia entre su municipio de residencia y ese otro municipio dotado del servicio¹⁶. Además, dado que no se dispone de información individualizada por alumno, tampoco es posible identificar ese municipio distinto al de residencia. Por tanto, es preciso incorporar otro supuesto simplificador de acuerdo con el cual la reducción en la distancia para uno de estos alumnos coincide con la distancia media entre los municipios del distrito. Por otro lado, es difícil tomar en consideración los reajustes que la instalación de un nuevo centro en el municipio *i* produce en los residentes en otros municipios. Si se ignoran estos reajustes, la reducción en el coste de transporte derivada de la instalación de un nuevo centro en el municipio *i* podría evaluarse como $\nabla CT_i = \bar{d}_i c_i \text{pop}_i$, donde \bar{d}_i es la distancia media entre los municipios del distrito al que pertenece el municipio *i*¹⁷ y pop_i es la población que acudiría al nuevo servicio instalado en el municipio *i*.

- 15 Existen argumentos que pueden justificar la preferencia por un centro más alejado. Por ejemplo, muchos padres buscan que su hijo esté rodeado de compañeros de renta alta. Ahora bien, este argumento pierde validez cuando en el abanico de opciones no se encuentran los centros privados, como ocurre en el caso bajo estudio. Otros elementos como las diferencias de calidad, la mayor conflictividad, o la posibilidad de cursar varias etapas educativas en el mismo centro, pueden también jugar algún papel en este sentido, pero no parecen tan relevantes en términos generales.
- 16 Nótese que este supuesto se introduce para evitar mayor complejidad en el análisis, pero no tiene por qué ajustarse a la realidad en todos los casos.
- 17 Estas distancias, recogidas en el Cuadro 1, se han calculado como medias aritméticas simples entre las distancias de los municipios adscritos a cada distrito. Las distancias entre municipios han sido calculadas a partir de las proporcionadas por el Mapa de Carreteras elaborado por SINPROMI.

4. METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

En esta sección se diseña un algoritmo útil para programar las transformaciones en la dotación educativa de los municipios tinerfeños. El algoritmo está construido sobre principios similares a los propios de los algoritmos genéticos, que constituyen una herramienta apropiada para describir el proceso dinámico de transformación de las características de los individuos que componen una población. Originalmente, los algoritmos genéticos se construyeron como herramienta que describía cambios en poblaciones generadas aleatoriamente cuyos individuos, identificados por cadenas binarias, experimentan alteraciones de acuerdo con la acción de determinados operadores¹⁸. En el algoritmo genético simple propuesto por Goldberg (1989), una población original se transforma en una población final, sobre todo como resultado del operador selección, de modo que en la población final se reproduce cada individuo de la población original con una probabilidad proporcional al grado en que ese individuo se ha ajustado o adaptado a su entorno. Dicho grado de ajuste se expresa en términos del valor de una función de calidad. Posteriormente, mediante los denominados operadores de cruce y mutación, que actúan de acuerdo con probabilidades prefijadas, se introduce la posibilidad de transformaciones que no respondan al argumento anterior y, por tanto, significan mayor riqueza de posibilidades en la transformación de la población original¹⁹.

Con objeto de predecir las transformaciones operadas en los municipios tinerfeños en términos de su oferta educativa, el algoritmo diseñado en este trabajo se ha elaborado de forma que sea posible que su funcionamiento sea acorde con la racionalidad económica que subyace en tales transformaciones.

El algoritmo toma como punto de partida una población original y la transforma en una población final. Los individuos que componen tales poblaciones son los 31 municipios de la Isla. La población inicial es un conjunto que puede denotarse por $\Omega_i: \{M_1^i, \dots, M_{31}^i\}$ y la población final es otro conjunto $\Omega_f: \{M_1^f, \dots, M_{31}^f\}$, de modo que M_i^i y M_i^f representan la situación del municipio i -ésimo en la población inicial y final, respectivamente, en términos de la representación binaria indicada en [2].

Cada uno de estos individuos está identificado por un punto del plano cuya abscisa y ordenada pueden tomar los valores 0 o 1 en función de que en la etapa educativa de primaria y secundaria obligatoria, respectivamente, su *ratio* plazas/alumno no alcance o esté por encima de la unidad.

18 Véase Holland (1975), Goldberg (1989) y Mitchell (2001), entre otros.

19 Hernández-López (2002) y Hernández-López (2004) realiza una aplicación del algoritmo genético simple de Goldberg para explicar los cambios en la población de turistas que visitan la isla de Tenerife. Álvarez y González (2003) recurren también a los algoritmos genéticos para predecir la disposición a pagar por la conservación de un espacio natural.

La transformación efectuada por el algoritmo puede describirse formalmente como una aplicación $A: \Omega_i \rightarrow \Omega_e$, de modo que cada municipio M_i^I se transforma en otro M_i^E de acuerdo con las probabilidades establecidas en una matriz de transición²⁰. Nótese que la transformación es de tipo jerárquico en el sentido de que, sólo si aumenta el nivel de oferta en alguna de las etapas educativas consideradas en el municipio i , M_i^E poseerá alguna característica diferente a M_i^I . Si el municipio en cuestión está identificado por el par $(1, 1)$, no habrá transformación alguna.

Formalmente, si se denotan las probabilidades de transformación del individuo M_i^I en el individuo $M_i^E(j)$ por $p_{i,j}$, $j=1,2,3,4$, donde $M_i^E(1)=(0, 0)$, $M_i^E(2)=(1, 0)$, $M_i^E(3)=(0, 1)$ y $M_i^E(4)=(1, 1)$, la matriz de transición, T , puede escribirse como

$$T = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & p_{1,3} & p_{1,4} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & p_{2,3} & p_{2,4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{31,1} & p_{31,2} & p_{31,3} & p_{31,4} \end{pmatrix}, \quad [3]$$

Si $M_i^I=(0, 0)$, la fila i -ésima de la matriz de transición determinará las probabilidades de las posibles transformaciones, sin que ninguno de los parámetros $p_{i,j}$, $j=1,2,3,4$, sea obligatoriamente nulo. Además, y sólo en este caso, podría asumirse que incrementar el nivel de oferta educativa en primaria y en secundaria obligatoria son dos sucesos independientes, de modo que $p_{i,4} = p_{i,2} p_{i,3}$. Sin embargo, si $M_i^I=(1, 0)$, entonces $p_{i,1} = 0$ y $p_{i,3} = 0$. Si $M_i^I=(0, 1)$, $p_{i,1} = 0$ y $p_{i,2} = 0$. Finalmente, si $M_i^I=(1, 1)$, entonces $p_{i,j} = 0$, $j=1,2,3$ y $p_{i,4} = 1$. Nótese que, en cualquier caso, la suma de las probabilidades recogidas en cualquier fila de la matriz de transición es igual a la unidad.

Las probabilidades de transición de la matriz T podrían definirse de distintas maneras. La probabilidad de que un municipio mejore su nivel de oferta educativa dependerá, como se ha señalado, de su situación de partida. La diferencia entre el número de alumnos que definen la demanda educativa estimada en el municipio y el número de plazas en primaria y secundaria obligatoria, que puede obtenerse a partir de los datos recogidos en el Cuadro 2, es un primer indicador absoluto del grado de infradotación o sobredotación del municipio en cuestión. Con objeto de relati-

20 En términos comparativos con el algoritmo genético simple de Goldberg, puede decirse que no existe fase de selección, mientras que los operadores de cruce y mutación han sido sustituidos por la actuación de la matriz de transición, que permite introducir información sobre el contexto al que pertenece la población bajo estudio.

zar esta diferencia en función de la magnitud de la población del municipio, podría tomarse como indicador apropiado el *ratio* plazas/alumno del municipio. Entonces, las probabilidades de transición aplicables al municipio i podrían definirse en términos del *ratio* anterior como funciones de los incrementos ΔP_i^P o ΔP_i^{ESO} , definidos como $\Delta P_i^P = 1 - r_i^P$ y $\Delta P_i^{ESO} = 1 - r_i^{ESO}$, donde r_i^P y r_i^{ESO} son los *ratios* plazas/alumno del municipio i en primaria y secundaria obligatoria, respectivamente.

Sin embargo, el planteamiento anterior no tiene en cuenta consideraciones económicas propias del análisis coste-beneficio previo a la toma de una decisión. En este sentido, y asumiendo que el paso de un nivel de oferta educativa a otro se produce por la instalación de un centro de dimensión mínima para que el *ratio* plazas/alumno supere la unidad, parece más apropiado asumir también que la probabilidad de que se produzca el paso del nivel 0 al nivel 1 en al menos una de las etapas educativas, sea directamente proporcional al *incremento de calidad* asociado a tal transformación, definido como la diferencia entre la reducción del coste de transporte derivada de la instalación del nuevo centro y el coste de primera inversión, funcionamiento y mantenimiento de dicho centro, evaluados como se explicó en la sección anterior.

Un criterio acorde con este planteamiento consiste en definir la probabilidad de que se produzca una transformación de la manera siguiente. Si el individuo M_i^1 se transforma en el individuo $M_i^f(j)$, de modo que se incrementa el nivel de oferta en una sola de las etapas educativas, entonces

$$p_{i,j} = N_z \left(\Delta C_i^P \right) - \frac{1}{2} \quad [4]$$

$$p_{i,j} = N_z \left(\Delta C_i^{ESO} \right) - \frac{1}{2} \quad [5]$$

donde $N_z(t)$ representa la función de distribución de la normal estándar evaluada en el valor t de la recta real, ΔC_i^P es el incremento de calidad derivado del aumento del nivel de oferta educativa en educación primaria en el municipio i , mientras que ΔC_i^{ESO} tiene una definición análoga para el caso en que aumenta el nivel de oferta educativa en educación secundaria obligatoria. Y si el individuo M_i^1 se transforma en el individuo $M_i^f(j)$, de modo que se incrementa el nivel de oferta en las dos etapas educativas, entonces

$$p_{i,4} = \left(N_z \left(\Delta C_i^P \right) - \frac{1}{2} \right) \left(N_z \left(\Delta C_i^{ESO} \right) - \frac{1}{2} \right). \quad [6]$$

De este modo, si el incremento de calidad es nulo, la probabilidad de que se produzca una transformación es también nula. Además, las probabilidades de trans-

formación están definidas asumiendo que es imposible que un centro pase a una situación peor en términos de su dotación de plazas. Pero el rango de los incrementos de calidad para los municipios que experimentan una mejora de su nivel de oferta educativa en primaria, así como el de aquéllos que la experimentan en secundaria obligatoria, genera probabilidades de transición muy sensibles al valor absoluto de estas magnitudes, y, en el caso de que exista una oferta educativa insuficiente en las dos etapas, se pueden generar probabilidades inconsistentes. Cabría pensar en utilizar los valores estandarizados de las cantidades ΔC_i^P y ΔC_i^{ESO} como argumentos de la función de distribución de la normal estándar. Si μ y σ son la media y la desviación típica de las magnitudes ΔC_i^P y ΔC_i^{ESO} para todos los casos en los que el municipio experimenta un incremento neto de calidad como consecuencia de la instalación de nuevos centros de primaria o secundaria obligatoria, los valores estandarizados de los incrementos de calidad se definen como

$$\overline{\Delta C_i^P} = \frac{\Delta C_i^P - \mu}{\sigma} \tag{7}$$

y

$$\overline{\Delta C_i^{ESO}} = \frac{\Delta C_i^{ESO} - \mu}{\sigma} . \tag{8}$$

Ahora bien, las probabilidades de transición deben satisfacer los axiomas de una función de probabilidad, lo que exige que no sean negativas y que la suma de las probabilidades de cada fila sea igual a la unidad. Para garantizar el cumplimiento de estas propiedades, es necesario reescalar los valores estandarizados $\overline{\Delta C_i^P}$ y $\overline{\Delta C_i^{ESO}}$ y utilizar los valores reescalados como argumento de la función de distribución de la normal estándar. Dichos valores reescalados pueden escribirse como:

$$\overline{\Delta C_i^P}_r = a \frac{\overline{\Delta C_i^P}}{\max \{ \overline{\Delta C_i^P}, \overline{\Delta C_i^{ESO}} \}} + b \tag{9}$$

y

$$\overline{\Delta C_i^{ESO}}_r = a \frac{\overline{\Delta C_i^{ESO}}}{\max \{ \overline{\Delta C_i^P}, \overline{\Delta C_i^{ESO}} \}} + b . \tag{10}$$

Teniendo en cuenta que el valor máximo de una probabilidad de transición será un valor $p_{m\acute{a}x}$ tal que $2p_{m\acute{a}x} + p_{m\acute{a}x}^2 = 1$, se tiene que $p_{m\acute{a}x} = \sqrt{2} - 1$ ²¹. De este modo, los

21 Nótese que en el caso de que $M_i^1 = (0, 0)$, si $P_{i,2} = P_{m\acute{a}x}$ y $P_{i,3} = P_{m\acute{a}x}$, resultará que $P_{i,4} = P_{m\acute{a}x}^2$, mientras que $p_{i,1} = 0$.

valores a y b pueden obtenerse a partir de las dos ecuaciones siguientes:

$$a \frac{\min \left\{ \overline{\Delta C}_i^P, \overline{\Delta C}_i^{ESO} \right\}}{\max \left\{ \overline{\Delta C}_i^P, \overline{\Delta C}_i^{ESO} \right\}} + b = 0 \quad [11]$$

$$a + b = z \frac{1}{\sqrt{2} - \frac{1}{2}}, \quad [12]$$

donde $z \frac{1}{\sqrt{2} - \frac{1}{2}}$ es el cuantil $\sqrt{2} - \frac{1}{2}$ de la normal estándar. Entonces, las probabilidades de la matriz de transición quedan definidas como se indica en el Cuadro 5.

Una vez definido el criterio de asignación de probabilidades de transición de un estado a otro, para que la transformación experimentada por un municipio cualquiera se produzca con las probabilidades señaladas en la matriz de transición se puede realizar un experimento como el siguiente. Para el municipio i -ésimo se genera aleatoriamente una observación x_i de una distribución uniforme en el intervalo $(0,1)$ tal que:

$$0 \leq x_i \leq p_{i,1} \Rightarrow M_i^I \rightarrow M_i^F(1) = (0, 0) \quad [13]$$

$$p_{i,1} < x_i \leq p_{i,1} + p_{i,2} \Rightarrow M_i^I \rightarrow M_i^F(2) = (1, 0) \quad [14]$$

$$p_{i,1} + p_{i,2} < x_i \leq p_{i,1} + p_{i,2} + p_{i,3} \Rightarrow M_i^I \rightarrow M_i^F(3) = (0, 1) \quad [15]$$

$$p_{i,1} + p_{i,2} + p_{i,3} < x_i \leq 1 \Rightarrow M_i^I \rightarrow M_i^F(4) = (1, 1) \quad [16]$$

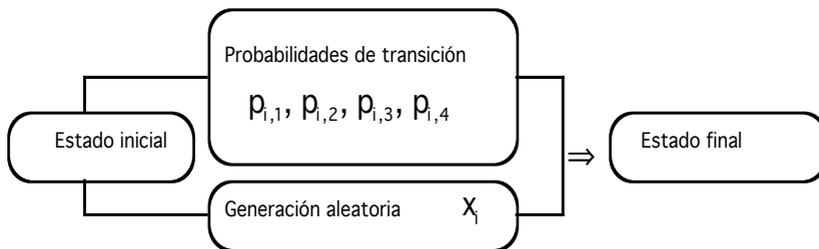
CUADRO 5
PROBABILIDADES PROPORCIONALES AL INCREMENTO DE CALIDAD

$$\left(\overline{\Delta C}_{i,r}^P, \overline{\Delta C}_{i,r}^{ESO} \right) \text{ (a)}$$

	$p_{i,1}$	$p_{i,2}$	$p_{i,3}$	$p_{i,4}$
$M_i^I = (0, 0)$	$1 - \sum_{j=2}^4 p_{i,j}$	$N_z \left(\overline{\Delta C}_{i,r}^P \right) - \frac{1}{2}$	$N_z \left(\overline{\Delta C}_{i,r}^{ESO} \right) - \frac{1}{2}$	$p_{i,2} p_{i,3}$
$M_i^I = (1, 0)$	0	$1 - p_{i,4}$	0	$N_z \left(\overline{\Delta C}_{i,r}^{ESO} \right) - \frac{1}{2}$
$M_i^I = (0, 1)$	0	0	$1 - p_{i,4}$	$N_z \left(\overline{\Delta C}_{i,r}^P \right) - \frac{1}{2}$
$M_i^I = (1, 1)$	0	0	0	1

(a) $N_z(t)$ denota el valor de la función de distribución de la normal estándar en t .

El siguiente diagrama ilustra el modo en que el algoritmo predice la transformación operada en el municipio i -ésimo desde un estado inicial a otro final.



En función de la posición de partida del municipio, el proceso de transformación puede esquematizarse como se indica a continuación.

$$M_i^I = (0, 0) \Rightarrow \begin{cases} 0 \leq x_i \leq p_{i,1} & \Rightarrow M_i^F = (0, 0) \\ p_{i,1} < x_i \leq p_{i,1} + p_{i,2} & \Rightarrow M_i^F = (1, 0) \\ p_{i,1} + p_{i,2} < x_i \leq p_{i,1} + p_{i,2} + p_{i,3} & \Rightarrow M_i^F = (0, 1) \\ p_{i,1} + p_{i,2} + p_{i,3} < x_i \leq 1 & \Rightarrow M_i^F = (1, 1) \end{cases}$$

$$M_i^I = (1, 0) \Rightarrow \begin{cases} 0 \leq x_i \leq p_{i,2} & \Rightarrow M_i^F = (1, 0) \\ p_{i,2} < x_i \leq 1 & \Rightarrow M_i^F = (1, 1) \end{cases}$$

$$M_i^I = (0, 1) \Rightarrow \begin{cases} 0 \leq x_i \leq p_{i,3} & \Rightarrow M_i^F = (0, 1) \\ p_{i,3} < x_i \leq 1 & \Rightarrow M_i^F = (1, 1) \end{cases}$$

$$M_i^I = (1, 1) \Rightarrow M_i^F = (1, 1)$$

Cuando las probabilidades de la matriz de transición actúan sobre cada uno de los 31 municipios de la isla de acuerdo con los resultados de los experimentos correspondientes, se obtendrá una población final en la que quizás sólo algunos de los municipios sufrirán transformaciones en su nivel de oferta educativa. Una vez que, atendiendo a estas probabilidades, se produzcan las transformaciones, las restricciones presupuestarias determinarán las transformaciones que pueden llevarse a la práctica²².

5. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ALGORITMO

De acuerdo con los *ratios* plazas/alumno que aparecen en el Cuadro 2, los municipios que están en situación más desfavorable en primaria son, por este orden, La Matanza, Garachico y Vilaflor; mientras que, en educación secundaria obligatoria, Vilaflor y Fasnia, seguidos de San Miguel y Garachico, son los municipios peor dotados. De ahí que, si la matriz de transición se definiera en términos de defecto de plazas, estos municipios presentarían las mayores probabilidades de incrementar su nivel de oferta educativa en primaria o en secundaria obligatoria.

Pero, dado que se considera que las transformaciones operadas en la población inicial se producen de acuerdo con las probabilidades de transición calculadas a partir del *incremento de calidad* asociado a la implantación de nuevos centros, $(\overline{\Delta C}_{i,r}^P, \overline{\Delta C}_{i,r}^{ESO})$, es preciso evaluar la reducción en el coste de transporte aparejada a la instalación de dichos centros, así como el coste de instalación, mantenimiento y funcionamiento de éste. Además, teniendo en cuenta que sólo se construyen centros de determinadas dimensiones, se han evaluado los costes de un centro considerando en cada caso el centro de dimensión mínima para que la demanda potencial de alumnos residentes en el municipio pudiera ser cubierta con la oferta

22 Podría admitirse, por ejemplo, que las peticiones se ordenen en función del incremento de calidad. Teniendo en cuenta los nuevos niveles de servicio ofrecidos como resultado de la aplicación del algoritmo, también cabría considerar una segunda fase en la que los municipios que han decidido instalar un nuevo nivel del servicio pueden reconsiderar su decisión, si ha disminuido la distancia al centro más próximo que ofrece el nivel que no tenían. Esta posibilidad también podría tenerse en cuenta en la definición de la matriz de transición de la primera fase.

del municipio. De esta forma, se ha determinado el número de centros de cada tipo que, en cada municipio, sería necesario crear para que el propio municipio cubriera su demanda (Cuadro 6), y con la ayuda de los datos del Cuadro 3, se han evaluado los costes asociados a estos nuevos centros (Cuadro 7).

CUADRO 6
DEFECTO DE PLAZAS Y CENTROS NECESARIOS PARA INCREMENTAR EL NIVEL DE OFERTA

MUNICIPIO	Incremento de plazas para que el municipio posea 1 plaza por persona		Centros necesarios para cubrir defecto				
	PRIMARIA	ESO	PRIMARIA			ESO	
			L1	L2	L3	L3	L4
Adeje	-203,4527803	-65,3621292	0	0	0	0	0
Arafo	21,54709141	5,86924125	1	0	0	1	0
Arico	-19,01108033	-10,2500682	0	0	0	0	0
Arona	-1361,462364	-874,800325	0	0	0	0	0
Buenavista	7,011279311	-25,6501972	1	0	0	0	0
Candelaria	33,96260388	-71,7446615	1	0	0	0	0
El Rosario	-126,833049	-12,6529091	0	0	0	0	0
El Sauzal	42,80105171	-34,05662	1	0	0	0	0
El Tanque	-8,043158207	-44,9536752	0	0	0	0	0
Fasnia	3,253462604	34,8683326	1	0	0	1	0
Garachico	64,45633719	105,688419	1	0	0	1	0
Granadilla	-587,4107635	-503,972206	0	0	0	0	0
Guía de Isora	-358,7276953	-284,174726	0	0	0	0	0
Gúímar	-253,1551247	-198,241254	0	0	0	0	0
Icod de los Vinos	-222,5228851	-186,136823	0	0	0	0	0
La Guancha	-37,10412585	-104,49602	0	0	0	0	0
La Laguna	-5349,6371	-4150,18428	0	0	0	0	0
La Matanza	89,17949167	-20,290061	1	0	0	0	0
La Orotava	-858,8159337	-697,368298	0	0	0	0	0
La Victoria	0,835758107	-13,2720488	1	0	0	0	0
Los Realejos	-948,427953	-824,081746	0	0	0	0	0
Los Silos	-72,3472247	-49,3213338	0	0	0	0	0
Puerto de la Cruz	31,85024177	-129,517433	1	0	0	0	0
San Juan Rambla	0,757138617	15,8291861	1	0	0	1	0
San Miguel	-349,0202038	176,567737	0	0	0	1	0
Santa Cruz Tenerife	-2893,147842	-2128,27619	0	0	0	0	0
Santa Úrsula	47,14934268	-2,99878005	1	0	0	0	0
Santiago del Teide	-7,958054711	-36,698334	0	0	0	0	0
Tacoronte	24,67554777	-44,2528166	1	0	0	0	0
Tegueste	-229,8779318	-126,131472	0	0	0	0	0
Vilaflor	19,12190238	39,0874441	1	0	0	1	0

Por otro lado, la reducción del coste de transporte se ha obtenido como se indica en la sección tercera. Con la información sobre los costes de instalación de nuevos centros y la reducción de costes de transporte aparejada, se ha evaluado el incremento de calidad en los municipios en los que tal incremento se produce. En primaria, la creación de nuevos centros sólo produce incremento neto de calidad en La Matanza, mientras que en secundaria obligatoria el incremento tiene lugar sólo en San Miguel (Cuadro 7). Estos incrementos se han reescalado como se indica en la sección metodológica y a partir de los incrementos reescalados se han obtenido las probabilidades que se indican en la matriz de transición recogida en el Cuadro 8.

Sin embargo, de acuerdo con las predicciones del algoritmo, ninguno de estos dos municipios experimentaría transformación alguna de su oferta educativa. Cabe esperar, sin embargo, que a medida que se acentúen los desequilibrios motivados por el desigual crecimiento demográfico, quede justificada la creación de nuevos centros en los municipios del sur de Tenerife.

CUADRO 7
INCREMENTO DE CALIDAD DERIVADO DE LA INSTALACIÓN DE NUEVOS CENTROS

Municipio	Costes de centros necesarios para cubrir defecto		Distancia media ^(a)	Incremento de calidad en los municipios en los que hay incremento		Incremento de calidad reescalado en los municipios en los que hay incremento	
	Primaria	ESO		Primaria	ESO	Primaria	ESO
Adeje	0	0	18.666667	0	0	0	0
Arafo	63037,735	130605,93	13.6	0	0	0	0
Arico	0	0	13.6	0	0	0	0
Arona	0	0	18.666667	0	0	0	0
Buenavista	63037,735	0	10.380952	0	0	0	0
Candelaria	63037,735	0	13.6	0	0	0	0
El Rosario	0	0	12.333333	0	0	0	0
El Sauzal	63037,735	0	9.533333	0	0	0	0
El Tanque	0	0	10.380952	0	0	0	0
Fasnia	63037,735	130605,93	13.6	0	0	0	0
Garachico	63037,735	130605,93	10.380952	0	0	0	0
Granadilla	0	0	18.666667	0	0	0	0
Guía de Isora	0	0	18.666667	0	0	0	0
Güímar	0	0	13.6	0	0	0	0
Icod de Los Vinos	0	0	10.380952	0	0	0	0
La Guancha	0	0	10.380952	0	0	0	0
La Laguna	0	0	12.333333	0	0	0	0
La Matanza	63037,735	0	9.533333	14857,917	0	0	0
La Orotava	0	0	5.333333	0	0	0	0
La Victoria	63037,735	0	9.533333	0	0	0	0
Los Realejos	0	0	5.333333	0	0	0	0
Los Silos	0	0	10.380952	0	0	0	0
Puerto de La Cruz	63037,735	0	5.333333	0	0	0	0
San Juan Rambla	63037,735	130605,93	10.380952	0	0	0	0
San Miguel	0	130605,93	18.666667	0	171376,42	0	1,3671677
Santa Cruz Tenerife	0	0	12.666667	0	0	0	0
Santa Úrsula	63037,735	0	9.533333	0	0	0	0
Santiago del Teide	0	0	18.666667	0	0	0	0
Tacoronte	63037,734	0	9.533333	0	0	0	0
Tegueste	0	0	12.333333	0	0	0	0
Vilaflor	63037,735	130605,93	18.666667	0	0	0	0

^(a) Distancia media entre los municipios del distrito

CUADRO 8
PREDICCIÓN CON MATRIZ DE TRANSICIÓN 2

$$\left(\overline{\Delta C_{i,r}^P}, \overline{\Delta C_{i,r}^{ESO}} \right)$$

Municipio	Inicial	Cero-Cero	Uno-Cero	Cero-Uno	Uno-Uno	Prob ^(a)	Final		
Adeje	1	1	0	0	0	1	0,1877392	1	1
Arafo	0	0	1	0	0	0	0,6250867	0	0
Arico	1	1	0	0	0	1	0,8942484	1	1
Arona	1	1	0	0	0	1	0,8164833	1	1
Buenavista Norte	0	1	0	0	1	0	0,1897572	0	1
Candelaria	0	1	0	0	1	0	0,9021463	0	1
El Rosario	1	1	0	0	0	1	0,7226037	1	1
El Sauzal	0	1	0	0	1	0	0,4491917	0	1
El Tanque	1	1	0	0	0	1	0,4366396	1	1
Fasnia	0	0	1	0	0	0	0,4446823	0	0
Garachico	0	0	1	0	0	0	0,4572073	0	0
Granadilla	1	1	0	0	0	1	0,3050856	1	1
Guía de Isora	1	1	0	0	0	1	0,9609097	1	1
Güímar	1	1	0	0	0	1	0,3177629	1	1
Icod de los Vinos	1	1	0	0	0	1	0,6719383	1	1
La Guancha	1	1	0	0	0	1	0,7592364	1	1
La Laguna	1	1	0	0	0	1	0,1301851	1	1
La Matanza	0	1	0	0	1	0	0,9332979	0	1
La Orotava	1	1	0	0	0	1	0,9704431	1	1
La Victoria	0	1	0	0	1	0	0,1284756	0	1
Los Realejos	1	1	0	0	0	1	0,608486	1	1
Los Silos	1	1	0	0	0	1	0,0839423	1	1
Puerto de La Cruz	0	1	0	0	1	0	0,0484546	0	1
San Juan Rambla	0	0	1	0	0	0	0,0129149	0	0
San Miguel	1	0	0	0,5857864	0	0,4142136	0,4118523	1	0
Santa Cruz Tenerife	1	1	0	0	0	1	0,5410040	1	1
Santa Úrsula	0	1	0	0	1	0	0,7461898	0	1
Santiago del Teide	1	1	0	0	0	1	0,0234737	1	1
Tacoronte	0	1	0	0	1	0	0,0613799	0	1
Tegueste	1	1	0	0	0	1	0,0438703	1	1
Vilaflor	0	0	1	0	0	0	0,7673182	0	0

^(a) Cada uno de los valores que aparece en esta columna es una observación generada aleatoriamente de una distribución uniforme en el intervalo [0,1].

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado un algoritmo, basado en programación genética, que permite planificar la dotación de servicios educativos públicos en los municipios de la isla de Tenerife. Por supuesto, el algoritmo ofrece una predicción inspirada en criterios de racionalidad económica recogidos en la matriz de transición de manera explícita y sencilla. Es evidente que estas predicciones pueden cambiar con cada ejecución del algoritmo. De hecho, se espera que una determinada transformación se produzca en un porcentaje de ejecuciones igual a la probabilidad que la matriz de transición asigna a tal transformación. En otras palabras, la predicción realizada incorpora un elemento de aleatoriedad que, en realidad, recoge todos aquellos elementos que el gestor toma en consideración para decantar finalmente la balanza de uno u otro lado. Desde este punto de vista, quizás la propia matriz sea la herramienta más útil para el decisor público, puesto que ofrece un diagnóstico de la situación de cada municipio a través de cifras cuya interpretación permite comparaciones intermunicipales. Las probabilidades de transición son para el gestor público un índice de prioridad en la asignación presupuestaria dirigida a cada zona.

Desde luego, el administrador público posee la información suficiente para construir la matriz de transición en términos de los *ratios plazas/alumno*. Y, por tanto, se trata de un instrumento fácilmente aplicable que justifica los cambios en la oferta educativa en términos de equidad intermunicipal de oportunidades. Más difícil es, sin embargo, obtener la información necesaria para evaluar los *incrementos de calidad* asociados a la instalación de nuevos centros; pero la matriz de transición construida en estos términos parece más apropiada si se desea que las transformaciones operadas en la oferta educativa pública de los municipios respondan a criterios de eficiencia económica.

Evidentemente, los resultados obtenidos deben ser tomados con la necesaria cautela, puesto que están basados en numerosas hipótesis simplificadoras. De un lado, los datos demográficos utilizados posiblemente estén infravalorando la población residente en el sur de la Isla, lo que, sin duda, tiene importantes consecuencias en la definición de los *ratios plazas/alumno* en los municipios sureños. Por otra parte, la evaluación de los costes es susceptible de ser modificada. Y también es necesario reconocer que las limitaciones en la información sobre el municipio de residencia y el de ubicación del centro al que acude un alumno concreto, impiden una evaluación precisa de la reducción de costes de transporte. Además, en la decisión final de instalar un centro, intervienen múltiples variables que escapan al análisis efectuado. Por todo ello, la predicción obtenida es más una orientación para el político que una predicción contrastada con la realidad. Si bien, la comparación de los resultados obtenidos con las decisiones realmente adoptadas permitiría analizar, hasta cierto

punto, el grado en que estas últimas se han basado en los criterios de racionalidad económica señalados.

En cualquier caso, superadas las dificultades estadísticas, el algoritmo diseñado es susceptible de ser aplicado en este mismo contexto considerando más etapas educativas; aunque para ello sería preciso introducir adaptaciones específicas a las nuevas realidades consideradas. Y constituye una herramienta especialmente útil para programar la oferta en regiones con demanda creciente de educación.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBA, A. y M.J. SAN SEGUNDO (1995), "The returns of education in Spain", *Economics of Education Review* 14(2), pp. 155-166.
- ÁLVAREZ, M. y M. GONZÁLEZ (2003), "Modelización semiparamétrica y validación teórica del método de valoración contingente. Aplicación de un algoritmo genético", *Hacienda Pública Española* 164(1), pp. 29-47.
- ARRAZOLA, M. y J. DE HEVIA (2003), "Evaluación económica de políticas educativas: una ilustración con la Ley General de Educación de 1970", *Hacienda Pública Española* 164(1), pp. 111-127.
- BARRIOS, M.C. (1998), *El Tercer Acceso a Cádiz. Rentabilidad Social de las Inversiones en Infraestructuras*, Servicio de Publicaciones, Universidad de Cádiz.
- BARRO, R.J. y X. SALA-I-MARTÍN (1995), *Economic Growth*, McGraw-Hill.
- BRUNELLO, G. y S. COMI (2004), "Education and earnings growth: evidence from 11 European countries", *Economics of Education Review* 23(1), pp. 75-83.
- CABRERA, J.M. y J.M. AFONSO (2002), *El sistema educativo en Canarias. Una perspectiva socioeconómica*, Consejo Económico y Social de Canarias.
- DRISCOLL, D., D. HALCOUSSIS y S. SVORNY (2003), "School district size and student performance", *Economics of Education Review* 22(2), pp. 193-201.
- EPPLE, D. y R. ROMANO (1996), "Ends against the middle: determining public service provision when there are private alternatives", *Journal of Public Economics* 62, pp. 297-325.
- EPPLE, D., D. FIGLIO y R. ROMANO (2004), "Competition between private and public schools: testing stratification and pricing predictions", *Journal of Public Economics* 88, pp. 1215-1245.
- FREIRE-SERÉN, M.J. (2001), "Human capital accumulation and economic growth", *Investigaciones Económicas* 25(3), pp. 585-602.
- GOLDBERG, D.E. (1989), *Genetic algorithms in search optimization, and machine learning*, Addison Wesley.
- GONZÁLEZ, R. (1997), "The value of time: a theoretical review", *Transport Reviews* 17(3), pp. 245-266.
- GONZÁLEZ, R.M., G. GUIRAO y N.R. PÉREZ (1995), "Modelos logit y probit binomiales. La estimación del valor del tiempo en la línea Gran Canaria-Tenerife", en *Economía del transporte*, V Congreso Nacional de Economía, Ilustre Colegio de Economistas de Las Palmas. CIES, pp. 13-27.
- HERNÁNDEZ-LÓPEZ, M. (2002), *Algoritmos genéticos y predicción de la composición de la demanda turística*, Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna.
- HERNÁNDEZ-LÓPEZ, M. (2004), "Future tourists' characteristics and decisions: The use of genetic algorithms as a forecasting method", *Tourism Economics* 10(3), pp. 245-262.

- HOLLAND, J.H. (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ann Arbor. The University of Michigan Press.
- IATAROLA, P. y L. STEIFEL (2003), "Intradistrict equity of public education resources and performance", *Economics of Education Review* 22(1), pp. 69-78.
- MATAS, A. (2002), "La demanda de transporte urbano: un análisis de las elasticidades y valoraciones del tiempo", *Investigaciones Económicas* 15(2), pp. 249-267.
- MINCER, J. (1974), *Schooling, Experience, and Earnings*, Columbia University Press, NBER.
- MITCHELL, M. (2001), *An Introduction to Genetic Algorithms*, MIT Press.
- MONTES, A. (2002), "Educación para los jóvenes y pensiones para los mayores: ¿existe alguna relación? Evidencia para España", *Investigaciones Económicas* 26(1), pp. 145-185.
- NECHYBA, T.J. (1999), "School finance induced migration patterns: the case of private school vouchers", *Journal of Public Economic Theory* 1, pp. 5-50.
- OROVAL, E. y J.O. ESCARDÍBUL (1998), "Aproximación a la relación entre educación y crecimiento económico. Revisión y estado actual de la cuestión", *Hacienda Pública Española*, Monográfico sobre *Educación y Economía*, pp. 49-60.
- DE RUS, G. (1986), *El transporte terrestre de viajeros en la isla de Gran Canaria*, Cabildo Insular de Gran Canaria.
- DE RUS, G. y C. NASH (1998), *Desarrollos Recientes en Economía del Transporte*, Civitas.
- SMALL, K.A. (1992), *Urban Transportation Economics*, Harwood Academic Publishers.

