Saldivar-Patiño TR, Recalde-Ramírez JL, López MM. Reorganización de establecimientos escolares en el departamento de Caazapá mediante un modelo programación matemática. Rev. Soc. cient. Parag. 2021:26(2):24-40.

ARTÍCULO ORIGINAL ORIGINAL ARTICLE

https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.2.24 Recibido: 13/03/2021. Aceptado: 15/07/2021.

# Reorganización de establecimientos escolares en el departamento de Caazapá mediante un modelo programación matemática

# Reorganization of schools in the department of Caazapá applying a mathematical programming model

Tadeo R. Saldivar-Patiño<sup>1</sup> D. Jorge L. Recalde-Ramírez<sup>1</sup> D. María M. López<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica, Grupo de Investigación de Operaciones e Inteligencia Artificial. San Lorenzo, Paraguay.

Autor correspondiente: tadeosaldivar2@gmail.com

**Resumen:** La actual localización y el nivel de utilización de establecimientos escolares en el departamento de Caazapá, como en otras regiones del Paraguay, propician un incremento sostenido de costos de mantenimiento e inversión en infraestructura, destinándos e a nivel nacional en los últimos 8 años 537 millones de USD a infraestructura. Hoy día, existen 469 establecimientos escolares localizados en este departamento, con un promedio de 83 alumnos por escuela. Si también se considera que el 66% de los establecimientos tiene menos de 25 alumnos se puede inferir que existe una subutilización de la infraestructura y sobrecostos de funcionamiento. En contraste, apenas el 1% de los establecimientos tiene más de 49 alumnos por aula. Esta distribución espacial de establecimientos escolares, y sus niveles de ocupación generan en el tiempo elevados costos de inversión para la mejora y mantenimiento, y ocasiona a su vez problemas de gestión de los recursos, que son escasos. Es imperativa, entonces, la aplicación de estrategias orientadas a la optimización de los recursos disponibles. Con este trabajo, se generó una distribución de escuelas, con la búsqueda de la mejor selección de establecimientos escolares, en el sentido de la minimización de los costos operativos, de inversión en infraestructura y de transporte de estudiantes. Para ello, se identificó previamente un modelo de programación matemática, existente en la literatura, y compatible con el caso de Caazapá en términos de variables, parámetros, restricciones y función objetivo. Las implicancias de este nuevo

conjunto reorganizado de establecimientos abarcan el cierre de algunas escuelas, el cambio de la capacidad de otras, o bien, la continuidad sin cambio alguno. El modelo fue modificado, adaptado al caso paraguayo, y combinado con el uso de sistemas de información geográficas (SIG) para el análisis del problema y la presentación de los resultados.

**Palabras clave:** dimensiones de la escuela, capacidad, localización de escuelas, programación matemática, optimización.

Abstract: The current location and the level of use of schools in the department of Caazapá, as in other regions of Paraguay, propitiate a sustained increase in maintenance costs and investment in infrastructure, destining at national level in the last eight years USD 537 million in infrastructure. Today, there are 469 schools located in this department, with an average of 83 students per school. If it is also considered that 66% of the establishments have fewer than 25 students, it can be inferred that there is an underutilization of the infrastructure and operating costs. In contrast, only 1% of the establishments have more than 49 students per classroom. This spatial distribution of schools, and their occupancy levels generate high investment costs for improvement and maintenance over time, and in turn causes resource management problems, which are scarce. It is imperative, then, the application of strategies aimed at optimizing the available resources. With this work, we generate a distribution of schools, with the search for the best selection of schools, in the sense of minimizing operating costs, investment in infrastructure and student transportation. For this, a mathematical programming model, existing in the literature, and compatible with the case of Caazapá in terms of variables, parameters, constraints, and objective function was previously identified. The implications of this new reorganizated set of establishments include closing some schools, changing the capacity of others, or continuing without any change. The model was modified, adapted to the Paraguayan case, and combined with the use of geographic information systems (GIS) for the analysis of the problem and the presentation of the results.

**Keywords:** school dimensions, capacity, school localizations, mathematical programming, optimization.

# 1. INTRODUCCIÓN

En Paraguay, hasta el año 2016, se asignaba el 3,44% del PIB al gasto público en educación, del cual, el 92% se empleó para el pago de salarios. Aunque las inversiones en infraestructura escolar se han incrementado en los últimos años $^{(1)}$ , existen dificultades relativas a los límites

presupuestarios, la planificación estratégica del dimensionamiento de la infraestructura escolar, y la orientación de las inversiones.

El Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) del Paraguay ha elaborado la metodología de *Micro planificación de la Oferta Educativa* a fin de planificar de forma efectiva y eficiente las políticas educativas, apuntando, por ejemplo, a mejorar las condiciones de enseñanza-aprendizaje de las instituciones. Lo anterior se lograría a través de la mejora de la infraestructura edilicia y la dotación de medios educativos para los estudiantes y los docentes<sup>(2)</sup>.

La toma de decisiones para la localización de establecimientos escolares puede realizarse con criterios cuantitativos, tomando en cuenta las restricciones logísticas y presupuestarias del sistema educativo. De esta manera, se puede obtener soluciones eficientes para distintos escenarios de transformación de la infraestructura.

En este contexto, las buenas soluciones ayudan a minimizar los costos de mantenimiento de infraestructura y direccionar las inversiones en obras que beneficien a un mayor número de estudiantes. Por lo tanto, es pertinente investigar estrategias para la reorganización, ampliación y cierre de establecimientos escolares, asignando los recursos disponibles de la mejor manera posible.

Con una mirada a corto plazo en la calidad de la educación, una buena infraestructura escolar puede generar situaciones favorables para un aumento del rendimiento escolar satisfaciendo el derecho de los estudiantes a acceder a espacios físicos convenientes para su aprendizaje<sup>(3)</sup>. Luego, en un horizonte más a largo plazo y más allá del incremento de ingresos monetarios que puede aportar una buena educación de las personas, subyacen otros beneficios importantes como la reducción de la pobreza y la desigualdad<sup>(4)</sup>.

En particular, analizando el caso de estudio de los distritos del Departamento de Caazapá que cuenta con 469 establecimientos escolares, se identificó que un 57% solicitó reparaciones edilicias y el 40% solicitó la construcción de nueva infraestructura para el año lectivo 2019<sup>(5)</sup>. Además, en un 66% de establecimientos hay subutilización de la capacidad, con menos de 25 alumnos por aula, y en un 1% sobreutilización, con más de 49 alumnos por aula<sup>(6,7,8)</sup>.

Con este trabajo se *generó un conjunto de establecimientos escolares,* reorganizados, que minimiza los costos operativos, de mantenimiento, de transporte y de inversión para satisfacer la demanda educativa en los distritos del departamento de Caazapá, mediante la identificación,

adaptación y aplicación de un *modelo de programación matemática*. Para resolver este problema se determinó las necesidades de infraestructura, y se estimaron la demanda y los costos para cada establecimiento escolar.

Los resultados obtenidos pueden utilizarse como un punto de referencia para visualizar oportunidades de mejora en la red educativa, a fin de ejecutar adecuadamente las inversiones y reducir el costo de operación del sistema.

# 2. METODOLOGÍA

Esta investigación es de naturaleza descriptiva con un enfoque cuantitativo. Para la obtención de datos, en una primera instancia, se entrevistó a los agentes involucrados en la planificación de la oferta educativa del Ministerio de Educación y Ciencias (MEC).

Luego, se relevaron datos mediante una encuesta aplicada a 339 establecimientos escolares en el departamento de Caazapá, con el objetivo de determinar sus condiciones de infraestructura. Se recopiló datos de matrículas del Registro Único del Estudiante (RUE) del Departamento de Estadística Aplicada (6,7,8) y se estimaron los costos de infraestructura a partir de presupuestos elaborados por la Dirección de Infraestructura del MEC<sup>(9)</sup>.

Buscando identificar un modelo matemático acorde a las características del sistema educativo paraguayo, se revisó la literatura existente sobre problemas similares y abordados con diferentes técnicas de Investigación de Operaciones<sup>(10-14)</sup>. Además, se establecieron las etapas de un estudio de Investigación de Operaciones, conceptos, clasificaciones y técnicas de resolución de modelos matemáticos, y metodologías utilizadas para la ubicación/localización de establecimientos escolares<sup>(15-17)</sup>.

Araya<sup>(18)</sup> realizó una investigación para resolver el problema de la distribución poco eficiente de escuelas en zonas rurales de Chile. Se realizaron modificaciones a este modelo matemático, adaptándolo a las particularidades del sistema educativo de Paraguay y a las características de la situación de la comunidad del caso de estudio.

Se ejecutaron cuatro fases para el proceso de adaptación del modelo, según algunos de los lineamientos de Taha<sup>(19)</sup>:

- a) Definición del problema.
- b) Identificación del modelo.
- c) Solución del modelo.

d) Validación del modelo original con datos del caso de estudio.

Se programó y resolvió el modelo con el lenguaje de programación matemática algebraica ILOG® IBM CPLEX 12.6. Se empleó Microsoft Excel® 2019 para procesar, resumir y analizar los datos, y la herramienta de gestión de información geográfica QGIS 3.14.10 para graficar los resultados.

Por último, se analizaron los resultados y se elaboró una propuesta de establecimientos escolares que deben seleccionarse, junto con un resumen de los costos del sistema.

## 2.1. Sobre el modelo matemático identificado

Los problemas identificados por Araya<sup>(18)</sup> incluyen el exceso de distancias recorridas por los estudiantes hasta el local escolar, el empleo desigual de infraestructura, la subutilización y sobreutilización de capacidad en términos de números de alumnos. Como solución se desarrolló un modelo de programación matemática, lineal entera mixta, a fin de optimizar la distribución de escuelas rurales en Chile, de tal manera a asignar eficientemente los recursos y mejorar el sistema educativo en su conjunto.

## 2.2. Sobre el modelo matemático adaptado

Se adaptó el modelo de Araya<sup>(18)</sup> a las características propias del sistema educativo paraguayo, con las siguientes modificaciones sustanciales:

- El problema se reduce a seleccionar/localizar establecimientos existentes para modificar su infraestructura, sin la posibilidad de abrir nuevas escuelas.
- Se adaptaron, incluyeron, eliminaron variables y parámetros para representar el funcionamiento de escuelas en dos turnos.
- El costo de transporte incluye componentes fijas de inversiones y costos operativos de los medios de transporte necesarios, y una componente variable dependiente de la distancia recorrida y la cantidad de estudiantes que deben viajar.
- No se considera necesario segregar a los estudiantes por sus características socioeconómicas para asignarlos a escuelas.
- Se considera que los funcionarios podrían ser reasignados a otras instituciones o cargos (tutores pedagógicos, encargados de biblioteca, cargos directivos), por lo que se excluye los costos de liquidación de personal de las escuelas no seleccionadas.

En lo que respecta al cálculo de los costos operativos de las escuelas y costos anuales de inversión, se empleó la misma metodología utilizada por Araya<sup>(18)</sup>.

## 2.3. Especificación detallada del modelo matemático adaptado

# a) Subíndices del modelo

a: Paradas ubicadas en el establecimiento actual, en donde se agrupan los estudiantes; a: 1,2,...,457

c: Distritos del departamento de Caazapá; c: 1,2,...,11

l: Establecimiento escolar al que puede ser asignado un alumno;  $l=1,2,\dots,450$ 

g: Grados escolares; g = 1, 2, ..., 16

g': Grados escolares plurigrado; g' = 1, 2, ..., 13

t: Modalidad de los establecimientos; t = 1,2,3,4

# b) Conjunto de índices del modelo de localización

 $t \in in_l$ : Modalidades de escuelas que son opciones en los establecimientos «l»

 $g' \in grade_{gt}$ : Grados que pueden estar junto con grado «g» para institución de modalidad «t» (en caso de haber plurigrado)

 $a \in SA_c$ : Conjunto de paradas "a" que son parte del distrito «c»

 $l \in SL_c$ : Conjunto de establecimientos "l" que pueden ser elegidos en el distrito «c»

 $l \in GO_a$ : Conjunto de establecimientos «l» que son opciones para estudiantes del origen «a»

 $a \in GO_l$ : Conjunto de establecimientos escolares «a» que puede enviar estudiantes al establecimiento «l»

 $g \in ed_t$ : Conjunto de grados escolares "g" que pueden enseñarse en una escuela de modalidad «t»

## c) Variables de decisión

 $X_{lt}$ : Variable binaria que asume el valor 1 si una institución de modalidad «t» funciona en el establecimiento «l» y 0 en caso contrario  $(X_{lt} \in \{0,1\})$ .

 $Y_{aglt}$ : Fracción de estudiantes del establecimiento «a», grado «g» asistiendo a el establecimiento «l» funcionando en modalidad «t»,  $\left(0 \leq Y_{aglt} \leq 1\right)$ .

 $Z_{al}$ : Variable binaria que asume 1 si existe asignación de estudiantes del establecimiento «a» al destino «l» y 0 en caso contrario  $(Z_{al} \in \{0,1\})$ .

 $ADD_{lgt}$ : Cantidad de secciones de grado «g» a abrir en la institución de modalidad «t» en el establecimiento «l» (Secciones).

 $SUP_{lgt}$ : Cantidad de secciones de grado «g» a eliminar en la institución de modalidad «t» en el establecimiento «l». (Secciones).

CONS<sub>1</sub>: Número de aulas a construir en el establecimiento «l» (Aulas).

 $S_{lgt}$ : Porcentaje extra para agregar a cursos existentes de grado «g» en la institución de modalidad «t» en el destino «l». (%).

## d) Función Objetivo

La función objetivo es una función de costos del sistema educativo que contiene las siguientes componentes:

El primer término (1) corresponde a los costos operativos y de inversión en infraestructura en que se incurren al seleccionar los establecimientos.

$$\sum_{l} \sum_{t} cost_{lt} X_{lt} \tag{1}$$

Luego, la expresión (2) incluye los costos de inversión "costbus" en caso de que se asignen estudiantes desde la parada a al establecimiento l. Esto es necesario porque se trabaja con el supuesto de que los estudiantes serán transportados en un bus que será adquirido con presupuesto del sistema educativo.

$$\sum_{a} \sum_{l} costbus \ Z_{al} \tag{2}$$

El término (3) se utiliza para imputar el costo de operativo del bus en la ruta que hace desde la parada a al establecimiento l.

$$\sum_{a}\sum_{l}csend2_{al}Z_{al} \tag{3}$$

La expresión matemática (4) mantiene la nomenclatura utilizada por Araya (18) para los costos de transporte, pero adquiere una interpretación distinta,

Saldivar-Patiño TR, Recalde-Ramírez JL, López MM. Reorganización de establecimientos escolares en el departamento de Caazapá mediante un modelo programación matemática

en este caso representa el costo operativo adicional del bus en que se incurrirá por cada estudiante a transportar desde la parada a hasta el establecimiento l. Este costo es proporcional a la cantidad de alumnos que deben viajar.

$$\sum_{a} \sum_{g \in ed_t} \sum_{l \in GO_a} \sum_{t \in in_l} csend_{al} pop_{ag} Y_{aglt}$$
 (4)

La expresión (5) se utiliza solo para incluir los costos operativos en que se incurren al añadir una nueva sección. Los costos de construcción de las aulas se incluyen por separado.

$$\sum_{l} \sum_{g \in ed_{t}} \sum_{t \in in_{l}} costadd_{lgt} ADD_{lgt}$$
 (5)

Luego, el término (6) representa la suma de los costos incurridos en la construcción de aulas en los establecimientos. Se incluye esto, para separar el costo de construcción de un aula del costo de añadir una sección, porque en el modelo adaptado la cantidad de aulas a construir es independiente al número de secciones a añadir, por la particularidad de los turnos.

$$\sum_{l} costconst_{l} CONS_{l} \tag{6}$$

El termino (7) se utiliza para incluir el costo negativo que se genera al eliminar una sección.

$$\sum_{l} \sum_{g \in ed_t} \sum_{t \in in_l} costsub_{lgt} SUB_{lgt}$$
 (7)

Por último, se incluye el término (8) para penalizar las asignaciones en secciones donde se exceden la capacidad de las aulas dentro de un límite establecido.

$$\sum_{l} \sum_{g \in ed} \sum_{t \in in} penalty_{lgt} S_{lgt}$$
 (8)

#### e) Restricciones

Las restricciones del modelo totalizan 19 conjuntos que incluyen restricciones respecto a la demanda, la modalidad de las escuelas, la capacidad de las aulas, el presupuesto disponible por distrito, asignaciones incompatibles y la naturaleza de las variables.

A continuación, se enuncian dichas restricciones:

- 1. Todos los estudiantes deben ser asignados a una escuela.
- 2. Las escuelas solo pueden funcionar en una de las modalidades que son opciones para ese establecimiento.
- 3. No se puede exceder la capacidad de las aulas para las escuelas plurigrados.
- 4. No se puede exceder la capacidad de las aulas para las escuelas monogrado.
- 5. No se puede exceder el número de aulas disponibles.
- 6. Solo se puede eliminar cursos en modalidades de establecimientos seleccionados.
- 7. Solo se puede construir un número máximo de aulas.
- 8. No se puede exceder el presupuesto total. Los costos de operaciones, implementación, transporte, agregar y quitar cursos, deben estar dentro del presupuesto de cada distrito.
- 9. No se puede exceder el presupuesto de implementación.
- 10. No se puede exceder el presupuesto de operaciones.
- 11. No se puede exceder el presupuesto de transporte.
- 12. Una escuela nueva no puede ser plurigrado si sobrepasa un cierto número de alumnos asistiendo.
- 13. No se puede cerrar más de un determinado número de instituciones establecido por el ministerio.
- 14. La variable de holgura para un grado en una escuela determinada sólo puede existir si la misma está abierta y si tiene cursos de este grado en particular. Esta holgura debe ser menor a un límite establecido.
- 15. No se puede asignar estudiantes a escuelas que funcionan en modalidades no compatibles con el establecimiento.
- 16. No se puede asignar estudiantes a grados de escuelas que son incompatible con la modalidad que es seleccionada para el establecimiento.

- 17. Los estudiantes no pueden viajar una distancia superior a la máxima permitida.
- 18. Restricción auxiliar para introducir los costos de transporte.
- 19. Naturaleza de las variables.

### 3. RESULTADOS

# 3.1. Indicadores demográficos

Según datos de la Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos (20), la población con edad menor a 15 años se caracteriza por una tendencia a disminuir, ya desde la década de los 80. Esta información es relevante, pues consiste en una población en etapa escolar, y en términos de planificación debe considerarse la capacidad de infraestructura en el mediano y largo plazo.

# 3.2. Situación de la infraestructura

En el departamento de Caazapá, se observa un exceso en la oferta de escuelas con pocas aulas en zonas rurales, además de un considerable déficit en términos de infraestructura de establecimientos educativos y del presupuesto para mantención de estos.

Se visualiza que el 31% de las escuelas rurales tiene menos de 4 aulas, siendo 5 el número de aulas por establecimiento, en promedio. El bajo número de aulas por escuela incrementa la demanda de establecimientos escolares necesarios para satisfacer los requerimientos de alumnos, generando inconvenientes en la gestión de recursos y excesos de costos en el sistema global.

Además, se tiene evidencia de cierta deficiencia sostenida en la cobertura de servicios básicos. En este sentido, el 3% de las escuelas del departamento de Caazapá no cuenta con energía eléctrica, el 27% no cuenta con servicio de agua potable y el 26% no posee baño moderno.

# 3.3. Resultados para el Departamento de Caazapá

En la Tabla 1, se resumen los resultados del modelo matemático para el Departamento de Caazapá.

Al reorganizarse los establecimientos escolares estos disminuyen en menos del 50% de los que se encuentran en funcionamiento actualmente, por

tanto, fueron seleccionados 228 locales de 455 disponibles. Al mismo tiempo, se reduce el número de escuelas plurigrado de 182 a 59.

**Tabla 1.** Resumen de resultados del modelo en el departamento de Caazapá

		Escenario Actual	Escenario optimizado
Establecimientos Escolares	Existentes	454	454
	Seleccionados	-	228
	Plurigrados	182	59
Secciones	Agregados	-	74
	Eliminados	-	2
Nro. de alumnos por establecimiento		89	177
Capacidad ociosa existente		74%	40%
Nro. de alumnos por profesor		9	14

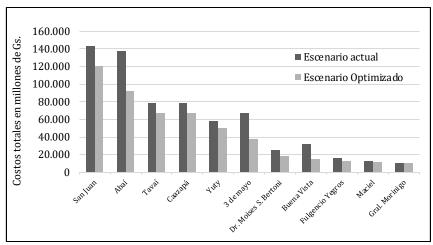
Fuente: Elaboración propia.

Los principales beneficios serían la reducción de la capacidad ociosa en un 34%, el incremento del promedio de estudiantes por escuela de 89 a 177 y el aumento de alumnos por sección de 9 a 14.

Como consecuencia de estas modificaciones se reducirían en un 55% los costos de adecuación y reparación de aulas y sanitarios, y en un 38% los costos de inversión en mejoras. También se dispondría del 28% de los salarios que podrían reasignarse a nuevas funciones.

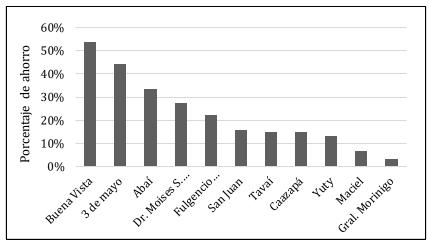
Sin embargo, se debería incurrir en costos de transporte, los que representan el 20% del ahorro total que se tendría en las inversiones de reparación y construcción de nueva infraestructura.

En la Figura 1, se observan los costos totales por distrito de la operación del sistema educativo para los escenarios actual y optimizado.



**Figura 1.** Comparación de costos del sistema educativo entre escenarios. Fuente: Elaboración propia.

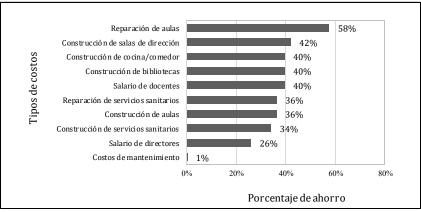
En la Figura 2 se observa para cada distrito el ahorro que se obtendría en el escenario optimizado respecto al escenario actual, siendo el promedio de 23% de ahorro.



**Figura 2.** Porcentaje de ahorro por distrito.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se observa para el escenario optimizado el ahorro por tipo de costo. El ahorro promedio es de 47% en costos de reparación y 38% en costos de construcción.



**Figura 3.** Porcentaje de ahorro por tipo de costo.

Fuente: Elaboración propia.

# 3.4. Resultado para un distrito del departamento de Caazapá

A continuación, sigue una muestra del resumen de resultados para uno de los distritos del departamento de Caazapá.

En el distrito de Caazapá fueron seleccionados 21 de los 70 establecimientos escolares candidatos, de los cuales 3 funcionarían en la modalidad de enseñanza plurigrado. Además, se añaden 6 secciones nuevas sin eliminar ninguna de las existentes.

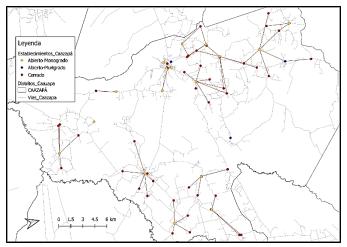
La Tabla 2. Resumen de resultados para el distrito de Caazapá detalla los resultados más relevantes para este distrito.

En la Figura 4 Establecimientos escolares seleccionados en el distrito de Caazapá se muestra los establecimientos seleccionados en este distrito (nodos de color amarillo y azul), también se observa los establecimientos que no son elegidos (nodos en color rojo), y la asociación de escuelas (representadas mediante una línea recta) para atender a la demanda de estudiantes de acuerdo con la capacidad de cada establecimiento. Distribuciones similares fueron obtenidas para cada uno de los distritos del Departamento.

**Tabla 2.** Resumen de resultados para el distrito de Caazapá.

		Escenario Actual	Escenario optimizado
Establecimientos	Existentes	70	70
Esc	Seleccionados	-	21
olar			
es			
Modalidad	Monogrado	29	18
	Plurigrado	-	3
Secciones	Agregadas	-	0
	Eliminadas	0	0
Nro. de alumnos por establecimiento		108	247
Capacidad ociosa existente		73%	28%
Nro. de alumnos por profesor		13	20

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.** Establecimientos escolares seleccionados en el distrito de Caazapá. Fuente: Elaboración propia.

# 4. CONCLUSIÓN

El presupuesto estimado para la adecuación de todas las escuelas supera los recursos con los que se cuenta actualmente. Es posible disminuir estos costos priorizando los establecimientos seleccionados con la propuesta de reorganización que se presenta en este trabajo, redistribuyendo las matrículas de las escuelas e incurriendo en costos de transporte.

Puntualmente, se adaptó el modelo de Araya<sup>(18)</sup> considerando las condiciones particulares del escenario en el que se desarrolló el estudio. El modelo fue resuelto utilizando el programa IBM ILOG Cplex Optimizer V

12.6, fijando el objetivo de minimizar los costos estimados para cada distrito del Departamento de Caazapá.

La propuesta de este trabajo selecciona aproximadamente la mitad de las escuelas existentes, es decir, un total de 228 establecimientos escolares, de los cuales 59 de ellos son escogidos para funcionar en la modalidad plurigrado, una cantidad 30% menor al número de escuelas plurigrados que existen actualmente.

La capacidad ociosa con la nueva distribución de establecimientos se reducirá de 74% a 40%. Esto se consigue aumentando el número promedio de alumnos por sección de 9 a 14 e incrementado el número promedio de alumnos por establecimiento a un 98%.

Con la reorganización de establecimientos será posible disminuir los presupuestos estimados para la mejora y adecuación de establecimientos escolares en un 55%. También quedará disponible para reasignar un 28% de salarios en otras funciones, evitando despidos. El costo de transporte incurrido en la redistribución de los estudiantes representa el 7% del presupuesto total estimado para el departamento y es equivalente al 20% del ahorro que se puede conseguir en costos de inversión en infraestructura. Finalmente, el costo total estimado para el sistema educativo se reduciría en 24% con relación al costo actual.

Las soluciones presentadas son representativas para el problema real, pues para la estimación de los presupuestos y para el cálculo de los costos fueron considerados costos de referencia y promedios, en base a datos oficiales que fueron procesados. Por lo tanto, estas estimaciones y cálculos pueden ser utilizados como guía para el diseño de redes más eficientes.

#### PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES

TS: recolección, procesamiento y análisis de datos, escritura del documento, elaboración de mapas; JR: escritura del documento, corrección de texto, revisión bibliográfica, análisis de resultados, diseño de figuras y tablas para presentación de resultados, conclusiones y recomendaciones; ML: escritura del documento, corrección de texto, estructura del trabajo, revisión bibliográfica, diseño metodológico, diseño de figuras y tablas para la presentación de resultados, conclusiones y recomendaciones.

#### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1. Juntos por la Educación. Financiamiento público de la educación paraguaya. Asunción: Juntos por la Educación; 2019.
- 2. Ministerio de Educación y Ciencias. Microplanificación de la Oferta Educativa [Internet]. 2014. Disponible en: https://www.mec.gov.py/cms\_v2/adjuntos/10404
- 3. Wodon Q. Infraestructura Escolar en Paraguay: Necesidades, Inversiones y Costos. Washington, DC: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial; 2015.
- 4. Glewwe PW, Hanushek EA, Humpage SD, Ravina R. School Resources and Educational Outcomes in Developing Countries: A Review of the Literature from 1990 to 2010. National Bureau of Economic Reshearch, Working Paper 17554; 2011.
- 5. Ministerio de educación y Ciencias. Planillas de Establecimientos Escolares elegibles FONACIDE [Internet]. Asunción: MEC. [Acceso 17 de noviembre del 2019]. Disponible en: https://datos.mec.gov.py/data/establecimientos\_priorizados/2019/2019\_caazapa.zip
- 6. Ministerio de educación y Ciencias. Departamento de Estadística Aplicada. Matriculaciones Educación Inicial 2018. [Internet]. Asunción: Ministerio de Educación y Ciencias; 2018 [Acceso 17 de noviembre del 2019]. Disponible en: https://datos.mec.gov.py/data/nomina\_administrativos\_lista.md5\_csv?f orm buscar matriculaciones inicial%5Banio%5D=2018
- 7. Ministerio de Educación y Ciencias. Departamento de Estadística Aplicada. Matriculaciones Educación Escolar Básica 2018 [Internet]. Asunción: Ministerio de Educación y Ciencias;2018 [Acceso 17 de noviembre del 2019]. Disponible en: https://datos.mec.gov.py/data/matriculaciones\_educacion\_escolar\_basica\_lista.md5\_csv?form\_buscar\_matriculaciones\_educacion\_escolar\_basica %5Banio%5D=2018
- 8. Ministerio de Educación y Ciencias. Departamento de Estadística Aplicada. Matriculaciones Educación Media 2018 [Internet]. Asunción: Ministerio de Educación y Ciencias; 2018 [Acceso 17 de noviembre del 2019]. Disponible en: https://datos.mec.gov.py/data/matriculaciones\_educacion\_media\_lista.md5\_csv?form\_buscar\_matriculaciones\_educacion\_media%5Banio%5D=2018
- 9. Ministerio de Educación y Ciencias. Resumen General Costo total de las diferentes tipologías 2017 [Internet]. Asunción: Departamento de Estadística Aplicada; 2018 [Acceso 17 de noviembre del 2019]. Disponible en: https://www.mec.gov.py/cms\_v2/adjuntos/14842?1513359075.

- 10. Maluenda N. Modelo de evaluación en red de proyectos de reconstrucción de establecimientos educacionales [Tesis de maestría]. Santiago de Chile: Universidad de Chile; 2012.
- 11. Pinto Roa D, López M, Recalde Ramírez J, Cardozo Román A, Torales G. Propuesta de un modelo de optimización para la provisión de frutas y verduras desde fincas agrícolas a escuelas aledañas localizadas en el departamento de Caazapá. San Lorenzo: Facultad Politécnica-Universidad Nacional de Asunción; 2015.
- 12. Mencia L, Leite ZF, Pinto Roa DP, Ruiz Jara A, Recalde Ramírez JL, López MM. Design of an optimization model for fruits and vegetables supply from agricultural farms to a district's primary schools. Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics; 2018.
- 13. Ruiz-Jara AM, López MM, Recalde Ramírez JL, Pinto-Roa D. Mixed Linear Programming Models for fruits and vegetables supply from family farms to rural schools as support for public policies. San Lorenzo: Facultad Politécnica-Universidad Nacional de Asunción; 2019.
- 14. Hillier FS, Lieberman GJ. Introducción a la Investigación de Operaciones. Novena. México: McGraw-Hill; 2010.
- 15. Winston WL. Investigación de Operaciones: Aplicación y Algoritmos. México: International Thompson Editores; 2004.
- 16. Prawda J. Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones Volumen I: Modelos determinísticos. México: Limusa; 2004.
- 17. Giesen R, Rocha E Oliveira P, Mariano V. Rural School Location and Student Allocation. En HA Eiselt, V Marianov. Applications of Location Analysis. Springer International Publishing Switzerland; 2015:273-289.
- 18. Araya F. Localización óptima y redimensionamiento de escuelas rurales en Chile [Tesis de maestría]. Santiago de Chile: Universidad de Chile; 2011.
- 19. Taha HA. Investigación de operaciones. México: Pearson Educación; 2004.
- 20. Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos. Atlas Demográfico del Paraguay, 2012. Asunción: Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos; 2016.