OPTIMIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE ENVASES VACÍOS DE FITOSANITARIOS EN EL SUDOESTE BONAERENSE

A.E. Sorichetti[1*], A.A. Savoretti[1] y J.A. Bandoni[2]

[1] UNS, Centro de Emprendedorismo y Desarrollo Territorial Sostenible (CEDETS) – Universidad Provincial del Sudoeste (UPSO) – Comisión de Investigación Científicas de la Pcia. de Buenos Aires (CIC), Argentina.

[2] Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI), Universidad Nacional del Sur (UNS) – CONICET, Camino La Carrindanga km 7, Bahía Blanca 8000, Argentina.

antonelasorichetti@gmail.com

Resumen. El trabajo presenta un modelo de optimización multiperíodo para el planeamiento de las actividades logísticas de la Gestión Integral de Envases Vacíos de Fitosanitarios. El propósito es generar un esquema para la recolección de envases dentro del Sudoeste Bonaerense y determinar las localizaciones de instalación de Centros de Acopio Transitorios (CAT) y de Plantas Operadoras (OPR) de envases, conociendo el perfil de oferta de cada partido. Además, la formulación propuesta considera la inversión y los costos operativos (fijos y variables) de cada CAT y OPR, así como los costos de transporte incurrido en la recolección de los envases y en el traslado a las plantas de procesamiento. El modelo matemático corresponde a un Problema Mixto Entero Lineal (MILP) donde las decisiones discretas se emplean para determinar la instalación y uso de los CAT y OPR a lo largo del tiempo. El criterio de performance utilizado en la maximización del valor presente neto del sistema completo de gestión, teniendo en cuenta diferentes costos e ingresos por la venta del producto de las OPR. Los resultados arrojan como óptimo instalar seis CAT (en igual cantidad de distritos) y una OPR en la localidad de Coronel Suárez, obteniendo un Valor Presente Neto de U$ 17.949.661 en 15 años.

Palabras clave: AGROQUÍMICOS, LEY NACIONAL 27.279, OPTIMIZACIÓN.

1. Introducción

En las últimas décadas se generaron profundos cambios en el campo argentino, los cuales llevaron a consolidar con fuerza el modelo de intensificación hacia una agricultura industrial continua. Dentro de este modelo, la soja cumple un rol fundamental, ya que es el principal responsable del crecimiento de la utilización de agroquímicos, demandando alrededor del 46% del total de plaguicidas utilizados por los agricultores. De todos los rubros de la industria de agroquímicos, el de los herbicidas ha sido el más importante, llegando al 62% del total de fitosanitarios, Defensor del Pueblo de la Provincia de Buenos Aires y Universidad Nacional de La Plata (2015). En Argentina, se pasó de un consumo de 73 millones de kg/l en 1995, a 236 millones de kg/l en el año 2005, CASAFE (2011). Este incremento vino acompañado de una problemática, también en aumento, como es la inadecuada disposición final de los envases de

[*] A quien debe enviarse toda la correspondencia

estos productos. A raíz de esta situación, se aprobó recientemente la Ley Nacional Nro. 27.279 de Gestión de Envases Vacíos de Fitosanitarios (Resolución N.° 327/17) mediante la cual se establecen los lineamientos y etapas del sistema de gestión integral de envases vacíos de fitosanitarios. En dicha Ley, se especifica que el sistema se articulará en tres etapas: a) del Usuario al Centro de Acopio Transitorio, b) del Centro de Acopio Transitorio al Operador, c) del Operador a la Industria. Además, en el Art. N°5 apartado b) especifica que el tránsito inter-jurisdiccional no podrá ser prohibido por las provincias, pero si razonablemente reglamentado. Con estas herramientas que provee la legislación se valida la estrategia propuesta en este trabajo de presentar un modelo para la recolección de envases vacíos de agroquímicos integrando a 21 partidos del Sudoeste Bonaerense (SOB). Si bien la región está constituida por 22 partidos, Monte Hermoso no se incluye en el problema ya que no genera envases vacíos de agroquímicos.

2. Formulación del modelo

Como metodología de trabajo para abordar el problema de la red de recolección y disposición de envases de agroquímicos en el SOB, se utiliza la programación matemática. Se plantea un modelo de optimización del diseño y operación de la red, en base a información de campo recolectada en los distritos de dicha región. El análisis de los resultados se lleva a cabo comparando las conclusiones de los modelos con información cuantitativa y cualitativa obtenida a partir de fuentes secundarias, tales como páginas web de instituciones públicas y privadas con injerencia en el área de la agricultura y en el área medioambiental, así como de fuentes primarias como las Secretarías de Ambiente de distintos distritos del SOB. En la Tabla 1 se presenta la nomenclatura del modelo y las ecuaciones del modelo completo.

Tabla 1. Nomenclatura

Conjuntos	
i: partidos del SOB	l: OPR instalar en el SOB
j: CATs a instalar en el SOB	k: períodos de tiempo (en años)
Parámetros	
d_{ij}: distancia desde PAR i a CAT j	r_{jk}: distancia desde CAT j a OPR
h_{ik}: envases del PAR i en año k	CE: costo transporte
$CCAT_j$: capacidad del CAT j	$COPR_k$: capacidad del OPR l
NC: máximos CAT a instalar	NOP: máximos OPR a instalar
TR: tasa de retorno	Precio: precio de venta del plástico
P: periodos en un año	
Variables binarias	
x_{jk}: 1 si CAT j se instala en año k	y_{lk} : 1 si OPR l se instala en año k
v_{ijk}: 1 si existe la ruta i-j-k	w_{jlk}: 1 si existe la ruta j-l-k
$zCAT_j$	$zOPR_l$
Variables positivas	
e_{ijk}: envases desde i a j en año k	f_{jlk}: envases desde j a l en año k
v_{ijk}: vale 1 si existe la ruta i-j en k	w_{jlk}: vale 1 si existe la ruta j-l en k
$MAXA_i$	$MAXB_l$
$STCAT_{jk}$: Stock de env en j en k	$STOPR_{lk}$: Stock de env en l en k
$TSTCAT_j$: máximo stock en j	$TSTOPR_l$: máximo stock en l
$CICAT_j$: costo de inversión en j	$CIOPR_l$: costo de inversión en l
$COCAT_{jk}$: costo operativo de j en k	$COOPR_{lk}$: costo operativo de l en k
$COTRA_k$: costo del transporte en k	COP_k: costos operativos totales en k
ING_k: ingresos en el año k	BEN_k: beneficios en el año k

$$\text{Max } z = \sum_k BEN_k.(1+TR)^{-ord_k} - \sum_j CICAT_j - \sum_l CIOPR_l \quad (1)$$

$$\sum_j x_{jk} \leq NC \qquad \forall\, j \quad (2)$$

$$\sum_l y_{lk} \leq NOP \qquad \forall\, l \quad (3)$$

$$x_{j\,k+1} = x_{jk} \qquad \forall\, j,k \quad (4)$$

$$y_{l\,k+1} = y_{lk} \quad \forall\, l, k \tag{5}$$

$$v_{ijk} - x_{jk} = 0 \quad \forall\, i, j, k \tag{6}$$

$$w_{jlk} - y_{lk} = 0 \quad \forall\, j, l, k \tag{7}$$

$$h_{ik} = \sum_j e_{ijk} \quad \forall\, i, k \tag{8}$$

$$\sum_i e_{ijk} = \sum_l f_{jlk} \quad \forall\, j, k \tag{9}$$

$$e_{ijk} \leq bigM.\, x_{jk} \quad \forall\, i, j, k \tag{10}$$

$$f_{jlk} \leq bigM.\, y_{lk} \quad \forall\, j, l, k \tag{11}$$

$$\sum_i e_{ijk} = STCAT_{jk} \quad \forall\, j, k \tag{12}$$

$$STCAT_{jk} \leq bigM.\, x_{jk} \quad \forall\, j, k \tag{13}$$

$$\sum_j f_{jlk} = STOPR_{lk} \quad \forall\, l, k \tag{14}$$

$$STOPR_{lk} \leq bigM.\, y_{lk} \quad \forall\, l, k \tag{15}$$

$$\frac{STCAT_{jk}}{P} \leq TSTCAT_j \quad \forall j \tag{16}$$

$$TSTCAT_j \leq bigM.\, zCAT_j \quad \forall j \tag{17}$$

$$STOPR_{lk} \leq TSTOPR_l \quad \forall l \tag{18}$$

$$TSTOPR_l \leq bigM.\, zOPR_l \quad \forall l \tag{19}$$

$$zCAT_j \geq x_{jk} \quad \forall\, j \tag{20}$$

$$zOPR_l \geq y_{lk} \quad \forall\, l \tag{21}$$

$$MAXA_j \geq \sum_i e_{ijk} \quad \forall j \tag{22}$$

$$MAXB_l \geq \sum_j f_{jlk} \quad \forall l \tag{23}$$

$$CICAT_j = 3333.\, zCAT_j + 0{,}67.\, TSTCAT_j \quad \forall j \tag{24}$$

$$CIOPR_l = 2500000.\, zOPR_l + 0{,}75.\, MAXB_l \quad \forall l \tag{25}$$

$$COPCAT_{jk} = COCAT_{jk}.\, x_{jk} \quad \forall\, j, \forall\, k \tag{26}$$

$$COOPR_{lk} = 31885.\, y_{lk} + 0{,}4525.\, STOPR_{lk} \quad \forall\, l, k \tag{27}$$

$$COTRA_k = CE.\left(\sum_i \sum_j e_{ijk}.\, d_{ij} + \sum_j \sum_l f_{jlk.}\, r_{jk}\right) \quad \forall k \tag{28}$$

$$COP_k = \sum_j COPCAT_{jk} + \sum_l COOPR_{lk} + COTRA_k \quad \forall k \tag{29}$$

$$ING_k = precio.\sum_l \sum_j f_{jlk} \quad \forall k \tag{30}$$

$$BEN_k = ING_k - COP_k \quad \forall k \tag{31}$$

La Ec. (1) es la función objetivo y maximiza el Valor Presente Neto del sistema Transporte-CATs-OPRs. Las Ecs. (2) a (7) son las ecuaciones lógicas para la determinación de la localización de los CATs y OPRs. Las Ecs. (8) a (23) determinan el tamaño de los envíos de los PARs (partidos) a los CATs y de los CATs a las OPRs, así como también el stock por mes de cada CAT y por año de cada OPR. Las Ecs. (24) a (29) calculan los costos anuales de inversión, operativos y de transporte. La Ec. (30) calcula los beneficios anuales de la venta del plástico procesado y la Ec. (31) calcula los beneficios netos cada año.

3. Caso de estudio

El SOB, región de estudio del presente trabajo, no escapa de la problemática descripta, ya que tiene como principal actividad económica la producción agropecuaria. Esta región genera permanentemente envases vacíos de fitosanitarios, siendo ésta una problemática que sólo se ha tratado de manera aislada en

los distintos municipios. Al evaluar las opciones para desarrollar una gestión adecuada en el manejo de envases en el SOB, el primer paso es analizar los tipos y cantidades de envases de agroquímicos que habrá que manejar. El objetivo de la revisión es analizar la distribución geográfica, el tipo y las cantidades de envases que se distribuyen a los usuarios. Para conocer la cantidad de envases que se generan en el SOB se considera la dosis promedio para los diferentes cultivos, de 12 litros de agroquímicos por hectárea implantada (Sorichetti et al., 2018) y con información primaria publicada por la Dirección Nacional de Análisis Económico Agroindustrial (Dirección de Estimaciones Agrícolas) de las áreas sembradas por cultivo en las Campañas 2008 a 2018, se obtuvieron regresiones lineales y polinómicas de grado 2, para estimar la cantidad de envases (de 20 litros) que se generarán por año a lo largo de los próximos 15 años, en la región de estudio. En la Fig. 1 se un mapa del SOB con la indicación de los partidos con mayor actividad agropecuaria.

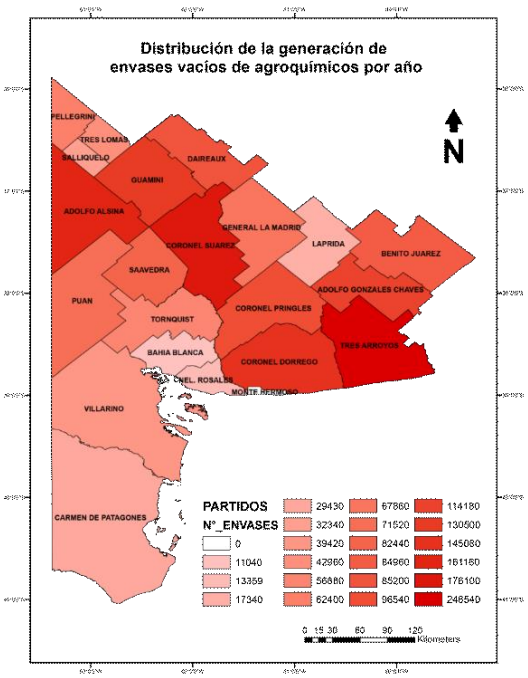

Fig. 1. Distribución de envases generados en cada distrito (Elaboración propia).

La capacidad máxima de los CATs se fijó en 50.000 envases y las OPR en 3.200.000. La ecuación de inversión de los CAT se determinó mediante una linealización a partir de datos de costos de inversión brindados por diferentes responsables de medio ambiente de municipios que tienen un CAT en la actualidad. Para la ecuación de inversión de OPRs se recolectó información de diferentes fuentes secundarias donde se brindan datos de costo de inversión y capacidad anual de las OPR instaladas actualmente en el país. Por ej., en la ciudad de Cañada de Gómez (Venini, 2014) se instaló una planta que recicla silos bolsas y envases de agroquímicos, ofreciendo al mercado materia prima plástica con un costo de inversión de 8.000.000 de dólares y una capacidad de procesamiento de 7.000 toneladas de plásticos por año equivalente a 8.750.000 envases de 20 litros de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) por año. Si bien la capacidad máxima de los CATs (50.000 envase mensuales) puede considerarse elevada dado que actualmente en el SOB ningún CAT instalado supera la capacidad para 15.000 envases, cabe aclarar que en el modelo se consideró que los envases son evacuados de los CAT en forma mensual, por lo que efectivamente se requiere una capacidad máxima mucho menor.

El modelo fue implementado en el software GAMS (General Algebraic Modeling System), (Brooke, et al, 2012). Como método de resolución se empleó el solver CPLEX y los resultados se obtuvieron en una computadora con procesador Intel(R) Core(TM) i3-5005U, 2,00 GHz y una memoria RAM de 4GB

4. Resultados

Como resultado, el modelo predice una estructura óptima de la red la instalación de 6 CATs, en los partidos de Cnel. Pringles, Cnel. Suárez, General La Madrid, Guaminí, Laprida y Saavedra; y 1 planta

OPR localizada en Coronel Suárez. Se obtiene un valor presente neto de U$ 17.949.661 en 15 años, considerando una tasa de descuento del 10 % anual. Este resultado resulta realista ya que los 6 partidos seleccionados para instalar los CATs, poseen la característica de ser los de mayor cantidad de hectáreas sembradas y por lo tanto, son algunos de los generadores de envases vacíos de fitosanitarios más importantes. Además, su localización geográfica se posiciona en la franja central del SOB, minimizando las distancias desde los partidos que no poseen CATs.

Tabla 2. Resultados

Localizaciones de los CATs	Costo de inversión (U$)	Ocupación mensual (env)
j6: Coronel Pringles	36833	50000
j8: Coronel Suárez	36833	50000
j10: General La Madrid	35915	48630
j11: Guaminí	36833	50000
j12: Laprida	11834	12688
j16: Saavedra	36833	50000
Localización de la OPR	**Costo de inversión (U$)**	**Ocupación anual (env)**
l8: Coronel Suárez	4851855	3135807

A continuación se muestra un gráfico donde se puede observar que CATs quedan al servicio de los partidos que no poseen uno, y como varía la distribución de los envíos con los años. Dado que la tendencia a sembrar cultivos extensivos va en aumento, también aumenta la cantidad de envases generados, por ello algunos partidos deben enviar a uno o más CATs sus envases a medida que se avanza del año 1 al 15. Las flechas representan los envíos en forma continua a lo largo del horizonte de tiempo de 15 años. En los casos en que los envíos se realizan solo en algunos de los años, éstos se indican sobre las fechas.

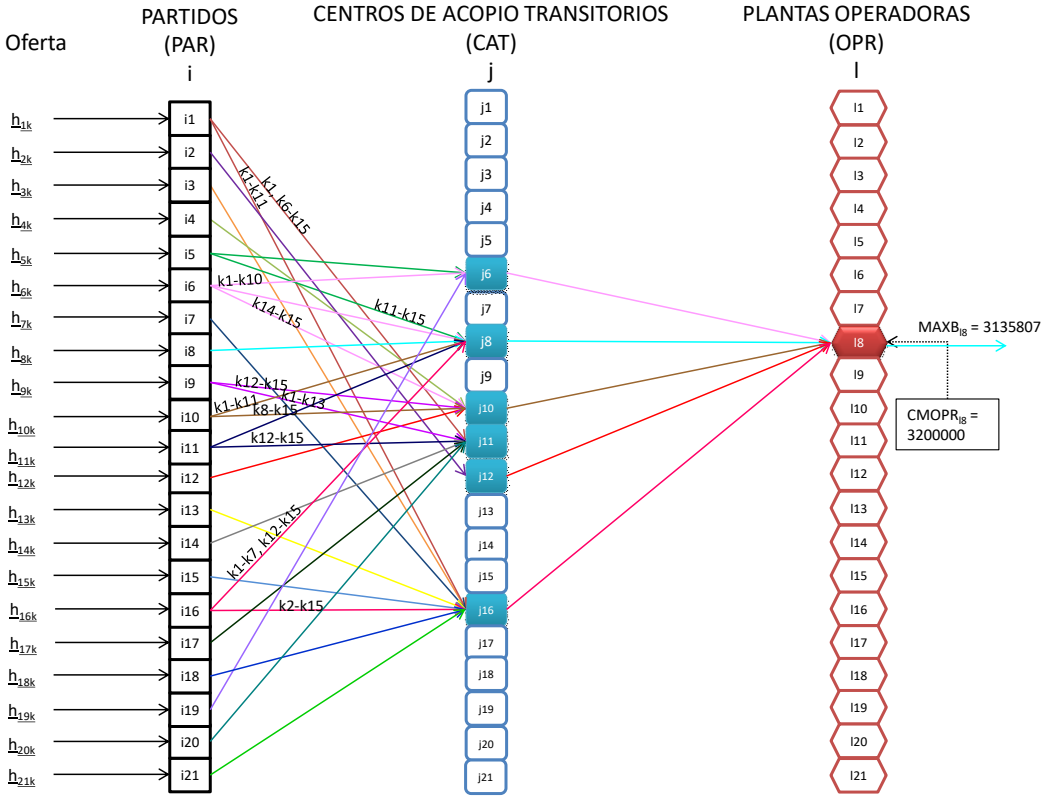

Fig. 2. CATs y OPR activos y esquema de envíos a través de la red en los 15 años.

Tabla 3. Numeración de los partidos

Partidos	
(1) A. Alsina	(12) Laprida
(2) A. G. Chávez	(13) Patagones
(3) B. Blanca	(14) Pellegrini
(4) B. Juárez	(15) Puan
(5) C. Dorrego	(16) Saavedra
(6) C. Pringles	(17) Salliqueló
(7) C. Rosales	(18) Tornquist
(8) C. Suarez	(19) Tres Arroyos
(9) Daireaux	(20) Tres Lomas
(10) Gral. la Madrid	(21) Villarino
(11) Guaminí	

Con seis CATs de 50.000 envases de capacidad se cubre la acumulación de los envases que se generan en el SOB alcanzando una ocupación del 100% para los CATs ubicados en Cnel. Pringles, Cnel. Suárez, Guaminí y Saavedra. El CAT de Gral. La Madrid se ocupará en un 96,26 % mientras que el de Laprida en un 25%. La OPR localizada en Cnel. Suárez trabajará a un 98% de su capacidad máxima.

5. Conclusiones

La programación matemática resulta una herramienta idónea para resolver los problemas concernientes a la logística de distribución o recolección de productos. En este trabajo se utilizó el software GAMS para predecir cuáles serán las localizaciones óptimas de los CATs y de los OPRs con el fin de contribuir desde el ámbito científico a la toma de decisiones por parte de los decisores de los diferentes distritos de la región del SOB, ya que actualmente la implementación de un Sistema de Gestión Integral de Envases Vacíos de Fitosanitarios en la Pcia. de Buenos Aires, no se ha llevado a cabo en la mayoría de los partidos.

Como resultado de este trabajo se proponen seis localizaciones óptimas a la hora de decidir donde construir nuevos CATs con capacidad para 50.000 envases mensuales y la localización de única planta operadora con capacidad para tratar y procesar todos los envases vacíos de fitosanitarios que se generen en el SOB en un año. El Sistema de Gestión Integral completo incluyendo la construcción y operación de CATs y OPRs resulta rentable obteniendo un beneficio de U$ 17.949.661 en el periodo establecido de 15 años.

Referencias

Brooke, A., Kendrick, D., Meeraus, A., Raman, R. (2012). GAMS, A User's Guide. GAMS Development Corporation Washington, DC.

CASAFE (2011). Guia de Productos Fitosanitarios. 15° Edicion. Camara de Sanidad Agropecuaria y fertilizantes. 2000pp.

Defensor del Pueblo de la Provincia de Buenos Aires y Universidad Nacional de La Plata. (2015). Relevamiento de la utilización de agroquímicos en la Provincia de Buenos Aires. Mapa de situación e incidencia sobre la salud (informe).

Ministerio de Salud y Derechos Humanos, Presidencia de La Nación. República Argentina. (2016). PRODUCTOS FITOSANITARIOS Ley 27279 http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/265000-269999/266332/norma.htm

Sorichetti, A. E., Mammini, L., Savoretti, A. A., Bandoni, J. A. (2018). Gestión de envases vacíos de agroquímicos, dos propuestas para el Sudoeste Bonaerense. 47JAIIO - SIIIO - ISSN: 2618-3277 - Página 55.

Venini, L. (2014). Nuevo ABC Rural. http://www.nuevoabcrural.com.ar/2014/vertext.php?id=9290