

Algoritmos genéticos para la toma de decisiones en la cadena de valor apícola

Luciana B. Villar^{1,2}[0000-0002-1046-9529], Martín C. De Meio Reggiani^{2,3}[0000-0002-7682-0887],
Hernán Vigier¹[0000-0003-0774-8620] y Nélide B. Brignole^{2,4}[0000-0002-4795-2872]

- ¹ Centro de Emprendedorismo y Desarrollo Territorial Sostenible (CEDETS), Universidad Provincial del Sudoeste (UPSO), Ciudad de Cali N° 320, Bahía Blanca, Argentina.
² Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Computación Científica (LIDeCC), Universidad Nacional del Sur (DCIC-UNS), Avda. Alem 1253, Bahía Blanca, Argentina.
³ Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur (IIESS), CONICET-UNS, San Andrés 800, Bahía Blanca, Argentina.
⁴ Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUT), Complejo CCT-UAT, CONICET-UNS, Camino La Carrindanga Km 7, Bahía Blanca, Argentina.
dybrigno@criba.edu.ar

Resumen

Se ha planteado e implementado un modelo no lineal para optimizar la cadena de valor apícola en el sudoeste bonaerense (Argentina) con el objeto de maximizar el Valor Actual Neto. La propuesta consiste en emplear un Algoritmo Genético anidado cuyo diseño contempla diferentes alternativas en la toma de decisiones. Con el fin de lograr una implementación eficiente, se han adoptado técnicas de programación paralela para explorar diferentes instancias simultáneamente. De esta manera, se logra identificar oportunidades para que la cadena de valor del productor apícola pueda obtener una ventaja competitiva.

Palabras clave: Cadena de Valor, Algoritmo Genético, Productor Apícola.

1 Introducción

El concepto de cadena de valor (CdV) fue desarrollado y popularizado en 1985 por Michael Porter [1], en su libro "Ventaja Competitiva: crear y sostener un desempeño superior". Dicho autor definió el valor como la cantidad que los compradores están dispuestos a pagar por un producto o un servicio que proporciona una empresa, y concibió la CdV como la combinación de nueve actividades estratégicas de valor agregado que operan dentro de una empresa y que trabajan en conjunto para proporcionar valor para los consumidores o usuarios.

A las primeras cinco actividades, Porter [1] las denomina primarias, las cuales se relacionan con la creación física del producto, y su venta y transferencia al comprador, así como la asistencia posterior a la venta (logística interna, operaciones, logística ex-

terna, mercadotecnia, y ventas y servicio). Las restantes cuatro actividades (de infraestructura de la empresa, administración de recursos humanos, desarrollo tecnológico y adquisiciones), Porter las denomina de apoyo, las cuales sustentan a las actividades primarias y se apoyan entre sí, proporcionando insumos comprados, tecnología, recursos humanos y varias funciones de toda la empresa.

Año tras año, el concepto de CdV ha sido objeto de abundante literatura. Siguiendo a Kippenberger [2], se denomina CdV al conjunto de actividades principales de una empresa, que se unen a través de eslabones, y a medida que el producto pasa por cada uno de ellos va añadiendo su valor. Por su parte, Kaplinsky [3], afirma que la CdV hace referencia a todas las actividades para que un producto o servicio, desde su concepción hasta sus distintas fases de producción - pudiendo involucrar distintas combinaciones de transformación física, de insumos y de diferentes servicios -, sea entregado a disposición del usuario o consumidor final y su posterior desecho. A medida que el producto se mueve de una actividad hacia la otra dentro de la CdV, añade valor al producto o servicio final [4].

Como tal, la CdV puede utilizarse como una herramienta para desglosar un negocio en actividades principales, permitiendo así la identificación de fuentes de ventaja competitiva [5]. El análisis de la CdV es un método utilizado para descomponer el conjunto en las actividades que lo conforman, con la finalidad de facilitar la toma de decisiones estratégicas, al ubicar a la empresa frente a sus clientes, proveedores y competidores. Dicho análisis proporciona recomendaciones útiles para ajustar las acciones y los procesos, con el objeto de dar el mayor valor posible al mercado destinatario y aumentar los márgenes de beneficio de la empresa.

La CdV elegida en el presente estudio es la apícola, específicamente la del SO bonaerense (Argentina). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [6] (FAO, según sus siglas en inglés) define a la apicultura como la ciencia y el arte de la cría de abejas. Dicha actividad económica es valorada no sólo por los productos de alto valor biológico y los servicios a la polinización de cultivos, sino también por su contribución al desarrollo regional con generación de empleo rural y por las bajas barreras de entrada, particularmente en el eslabón primario.

Existen buenas razones para defender y preservar la actividad apícola. Por un lado, posee un alto impacto social dado que se trata de un medio de producción de subsistencia para muchas regiones de nuestro país, en las que los ingresos provienen de las exportaciones de miel que movilizan en parte la actividad comercial. Por otro lado, y no menos importante, la necesidad de contar con poblaciones importantes de insectos polinizadores, indispensables para la producción agrícola y la ecología local.

Adicionalmente, el sistema de valor apícola está conformado por diversas CdV, tales como la del productor apícola, las salas de extracción, los acopiadores, los fraccionadores, los exportadores, los productores de materiales e insumos y los oferentes de servicios técnicos especializados, y diversos subproductos de la colmena, como polen, jalea real, propóleos, apitoxina, cera, material vivo, entre otros. La apicultura, en su sentido amplio, aporta a la economía y a la sociedad mucho más que miel, y quizás en esas externalidades radiquen parte de los desafíos más relevantes del sector apícola argentino.

Si bien, de acuerdo al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación [7], gran parte del territorio argentino es apto para el desarrollo de la actividad y presenta distintos potenciales productivos tanto para la miel como para los subproductos de la colmena, Buenos Aires es la provincia con mayor concentración de la producción. La misma cuenta con alrededor de 915 mil colmenas, según fuentes oficiales de la Secretaría de Agroindustria de la Nación, seguida por la provincia de Entre Ríos, con 572 mil colmenas, Santa Fe, con unas 295, Córdoba con números similares y La Pampa, con cerca de 208 mil colmenas.

A pesar de que Porter [8] conectó las CdV entre empresas para formar lo que llamó “sistema de valor”, para el presente estudio se utiliza el concepto de CdV del eslabón primario del sistema mayor, es decir, de los productores apícolas, sin analizar el sistema de valor apícola en su conjunto. Esto abre una futura línea de investigación.

El objetivo de este estudio consiste en determinar las principales actividades que crean valor para los consumidores finales o clientes y las actividades de apoyo relacionadas de la CdV del productor apícola del sudoeste (SO) bonaerense. Para ello, se emplea un optimizador que permite contemplar las no linealidades subyacentes en los modelos económicos, de modo de servir como soporte de la toma de decisiones del productor con el fin de detectar oportunidades, que puedan crear una ventaja competitiva.

2 Modelo matemático de la cadena de valor apícola

2.1 Descripción de la cadena de valor apícola

Para realizar el presente estudio se utiliza como referencia la zona del sudoeste bonaerense (Argentina). Según los Fundamentos de la Ley del Sudoeste Bonaerense (LP 13.647), esta región representa aproximadamente el 25% del territorio de la provincia de Buenos Aires. No es pampa húmeda, sino que forma parte de las regiones semiárida, árida y subhúmeda-seca del país, con características climáticas y edáficas que la diferencian del resto de la provincia en cuanto a sus potencialidades y limitantes productivas primarias, y por lo tanto también, en cuanto a las ventajas comparativas, claramente inferiores al resto de la provincia. Esta cuenca melífera está integrada por los partidos de Guaminí, Adolfo Alsina, Coronel Suarez, Coronel Pringles, Coronel Dorrego, Saavedra, Tornquist, Puán, Coronel Rosales, Bahía Blanca, Villarino y Patagones.

La región nombrada en el párrafo precedente posee una característica diferencial: contiene a todos los actores del sistema de valor apícola, desde productores a comercializadores, desde servicios técnicos hasta provisión de insumos, desde operadores logísticos hasta entes de financiamiento, entre otros.

De acuerdo a Goslino (2017) [10], debido a que el sudoeste bonaerense continúa siendo una zona agrícola marginal, con orientación ganadera y por ende pastizales naturales y montes, el potencial apícola supera largamente a otras regiones del país (particularmente la zona núcleo, en la pampa húmeda) donde la intensa agriculturización y el uso de agroquímicos dificultan cada vez más la continuidad de la apicultura.



Fig. 1. Sistema de valor apícola.

Respecto al valor de los costos en los que incurre el apicultor, ya sean los directos de una actividad específica o los costos indirectos, son impuestos por los proveedores de insumos, las salas de extracción y las de fraccionamiento. En cuanto a los precios de venta, el productor apícola ofrece los productos y subproductos de su actividad a un precio fijado por el mercado, por ende, se lo considera tomador de precios. A efectos de este trabajo, se asume que el apicultor vende la miel a un precio único, ya sea al mercado destinatario interno o externo. En un entorno cambiante, la estructura de un proyecto apícola puede diseñarse teniendo en cuenta varias alternativas. En el modelo de CdV implementado en este trabajo, se han considerado únicamente las actividades estacionales resumidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Actividades estacionales en la apicultura.

Actividad	Primavera (I)	Verano (II)	Otoño (III)	Invierno (IV)
Mantenimiento	☑	☑	☑	☑
Cosecha miel		☑		
Venta		Núcleos	Miel	
Producción de núcleos	☑			

En este trabajo únicamente se describe la primera etapa de desarrollo, que comprende la formulación e implementación del modelo matemático preliminar, la implementación del algoritmo genético anidado arriba descrito y los testeos necesarios. Por lo tanto, por razones de simplicidad, no se incluyen algunas actividades usuales ni ciertas variables pertinentes (p.ej. impuestos, regalías, entre otros) que complican el programa computacional. En la segunda etapa de desarrollo, se planifica incorporar términos que

contemplan otras actividades usuales, tales como los servicios de polinización y la redistribución de colmenas durante el invierno. Cabe destacar que en etapas posteriores deberán incluirse todas las variables relevantes y también las interrelaciones entre ellas expresadas en términos matemáticos. Así, esto permitirá que el modelo final sea realista, aunque dará lugar a un modelo matemáticamente más complicado.

3 Función objetivo

La función objetivo propuesta (Ec. 1) maximiza el valor actual neto (VAN) de las diversas actividades que componen la cadena de valor de la actividad apícola. El VAN se calcula como la suma de la inversión inicial I_0 y la sumatoria de la corriente de ingresos y gastos de las diversas actividades llevadas a cabo en las cuatro estaciones del año. A dicha sumatoria se la debe actualizar a la tasa anual de interés i_A , donde $y \in Y$ es uno de los años del horizonte temporal a evaluar.

$$VAN = -I_0 + \sum_{y=1}^Y (Invierno + Primavera + Verano + Otoño)(1 + i_A)^{1-y} \quad (1)$$

Las variables de decisión de este problema son el número y la disposición de las colmenas en cada campo $c \in C$ para cada año y $X_{y,c}$, y si produce material vivo para la venta $MV_{y,c}$. La inversión inicial I_0 consiste en el conjunto de bienes de capital necesarios para iniciar la actividad, tales como las herramientas de trabajo, el material vivo inicial, las colmenas y el vehículo para movilizarse entre los distintos campos. Eventualmente, algunos materiales deberán ser reemplazados, actualizándose en dicho momento a la tasa i_A .

Los flujos de ingresos y gastos de la actividad son eminentemente estacionales, y dichos montos se encuentran actualizados a la tasa cuatrimestral i_e . En el invierno, para la producción de miel, sólo se afrontan los costos indirectos asociados a la actividad de mantenimiento de las colmenas de dicha estación. En cambio, en dicha estación, para la producción de núcleos, comienza el período de una estimulación extra en la alimentación de las colmenas con el fin prepararlas para la reproducción, por lo que comienzan las erogaciones vinculadas a la producción de material vivo. En primavera, se originan las primeras erogaciones vinculadas a la producción miel y, sobre finales de dicha estación, las erogaciones de alimentación extra para producir material vivo finalizan. Luego, el valor actual de los ingresos y gastos en verano está conformado por la sumatoria actualizada de los ingresos por la venta de material vivo y de los costos de producción de miel. Las utilidades obtenidas en la estación otoño provienen de los ingresos por la venta de miel. En todas las estaciones el apicultor debe solventar gastos relacionados al mantenimiento de las colmenas $Mant_{y,c}^e$ (Ec. 2). Estos costos están mayormente relacionados a la mano de obra $ManoObra_{y,c}^e$, a la movilidad entre campos $Movilidad_{y,c}^e$ y a la alimentación de las abejas $CostoAzucar_y^e$, cuya cuantía varía según la época del año y la actividad llevada a cabo.

$$Mant_{y,c}^e = X_{y,c} (ManoObra_{y,c}^e + Movilidad_{y,c}^e + CostoAzucar_y^e) \quad \forall c = 1, C \quad (2)$$

Si el productor decide elaborar material vivo, esta actividad comienza al terminar el invierno y finaliza a fines de la primavera, aunque sus costos se erogan durante todo el año. La decisión de llevar a cabo esta actividad es registrada mediante la variable de decisión binaria $MV_{y,c}$, la cual toma valor unitario en el caso de que se decida llevar a cabo dicha actividad en el campo c durante el año y . El costo de producir el material vivo $CostoMV_{y,c}^e$ (Ec. 3) está vinculado a la mano de obra especializada ($ManoObramV_{y,c}^e$) y a la alimentación adicional $CostoAzucarMV_{y,c}^e$ para las colmenas que se reserven para esta actividad N_y .

$$CostoMV_{y,c}^e = MV_{y,c} (N_y CostoAzucarMV_{y,c}^e + ManoObramV_{y,c}^e) \quad \forall y = 1, Y \quad (3)$$

El ingreso de esta actividad $InMV_{y,c}$ puede calcularse como la diferencia entre el precio de venta de cada núcleo $PrecioMV_y$ y los insumos necesarios para la venta $CostoMV_{y,c}$, multiplicado por la cantidad de núcleos producidos $ProdNucleos_{y,c}$ por las colmenas dedicadas a tal fin N_y .

$$InMV_{y,c} = MV_{y,c} N_y ProdNucleos_{y,c} (PrecioMV_y - CostoMV_{y,c}) \quad \forall y = 1, Y \quad (4)$$

La venta de miel en otoño está representada en la Ec. 5, calculada a través del producto entre la cantidad producida de miel $ProdMiel_{y,c}$ (en kg/colmena en función de cada campo); la cantidad de colmenas en cada campo $X_{y,c}$; y el margen bruto por kg. de miel. Este último viene dado por la diferencia entre el precio $PrecioM_y$ y los costos de venta por kg de miel $CostoM_{y,c}$.

$$VentaMiel = \sum_{c=1}^C X_{y,c} ProdMiel_{y,c} (PrecioM_y - CostoM_{y,c}) \quad \forall y = 1, Y \quad (5)$$

La variable de decisión asociada a la distribución de colmenas $X_{y,c}$ enfrenta restricciones referidas a la capacidad máxima de albergue de cada campo $XMax_{y,c}$ (Ec. 6) y al crecimiento del colmenar. El aumento del número de colmenas totales viene dado por una función f , eventualmente ni lineal ni derivable, que describe tanto el incremento natural como la incorporación y posible venta del stock productivo (Ec. 7).

$$X_{y,c} \leq XMax_{y,c} \quad \forall c = 1, C; y = 1, Y \quad (6)$$

$$X_{y,c} = f(X_{y-1,c}) \quad \forall y = 1, Y \quad (7)$$

El apicultor comienza con un stock inicial X_0 (Ec. 8), cuya ubicación en las localizaciones alternativas se restringe por la cota máxima descrita anteriormente y una cota mínima $XMin$ (Ec. 9) que garantiza una escala de trabajo rentable por cada localización.

$$\sum_{c=1}^C X_{0,c} = X_0 \quad (8)$$

$$X_{y,c} \geq XMin \quad \forall y = 1, Y \quad (9)$$

Luego del primer año, el apicultor puede enfrentarse a la necesidad de mover colmenas entre campos. Debido a este esfuerzo, el costo de mudanza (Ec. 10) depende de la diferencia entre la cantidad real de unidades en un campo y la cantidad que debería haber según la función de crecimiento f aplicada sobre la cantidad del año anterior. Si esta magnitud supera las 25 colmenas, es valuada considerando el costo por colmena $CMud_y$.

$$CostoMud_{y,c} = [f(X_{y-1,c})X_{y-1,c} - X_{y,c}] CMud_y \quad \forall y = 2, Y \quad (10)$$

4 Metodología

Hemos diseñado e implementado un modelo de cómputo paralelo en el cual varios hilos de procesamiento optimizan simultáneamente diversos escenarios que han sido definidos por un algoritmo Maestro (Master). Como los resultados provenientes de los Trabajadores (Workers) serán diferentes, el Maestro ordena las soluciones candidatas según su aptitud y sincroniza la operación de los procesadores, asignándole a cada uno desocupado otro escenario prometedor a resolver. Este método involucra la búsqueda de la solución de muchos subproblemas de optimización simples, de pequeña dimensión, en lugar del problema original. Cuando está disponible un sistema de cómputo paralelo, este método se vuelve mucho más atractivo porque los subproblemas simples pueden resolverse de manera simultánea.

Según el presente enfoque de búsqueda iterativa, la Fig. 2 muestra un diagrama de flujo de dicho optimizador con la estructura Master (1) -Workers (2). Para simplificar esta explicación, asumimos que hay K Trabajadores disponibles ($k=1,2,\dots,K$). Cuando se introducen los datos para un problema de optimización, en la Estrategia de Búsqueda (1) el Maestro crea K individuos, los cuales tienen definidos diferentes parámetros en sus respectivos cromosomas. El Maestro reparte los individuos entre los trabajadores y cada uno se encarga de la Búsqueda de una Solución (2) de acuerdo a lo que el Maestro ha decidido en su Estrategia (1). Mediante la técnica de Algoritmos Genéticos (AG) [9], cada Trabajador (2) genera la población inicial correspondiente tomando como base el individuo patrón que le fue asignado y aplica los procesos de selección, cruzamiento y mutación, produciendo así nuevos individuos de la próxima generación. Así se producen un grupo de Soluciones Candidatas (4) independientemente, basadas en los diferentes tipos de individuos (3).

El Maestro (1) recibe información sobre las Soluciones Candidatas (4) y los valores correspondientes a su fitness, reordenándolas con un ranking de aptitud. Cuando es necesario buscar los candidatos de la próxima generación, la optimización de la Estrategia de Búsqueda (1) decide los individuos patrón (3) para la próxima Búsqueda (2). Si no hay necesidad de tomar más decisiones, el Maestro elige la Solución del candidato más apto como la Solución final del problema original de optimización. Aunque esta solución final, no es la solución óptima exacta en un sentido estricto en la mayoría de los casos, es simplemente una solución aceptable, que muestra un valor de idoneidad relativamente excelente dentro de un rango predeterminado.

En vez de aplicar representaciones tradicionales de los individuos del AG, todos los parámetros correspondientes a la toma de decisiones y todas las variables de optimización se representan juntos para conformar un único cromosoma. Por ende, nuestra propuesta emplea una estructura genética tal como se muestra en la Fig. 3. Para el k -ésimo individuo, la primera parte TD_k , referida a la toma de decisiones, tiene exclusivamente elementos binarios; mientras que el resto VO_k consta de genes que en este caso corresponden a números enteros. Esta estructura nos ha incentivado a definir estrategias especiales para los operadores genéticos.

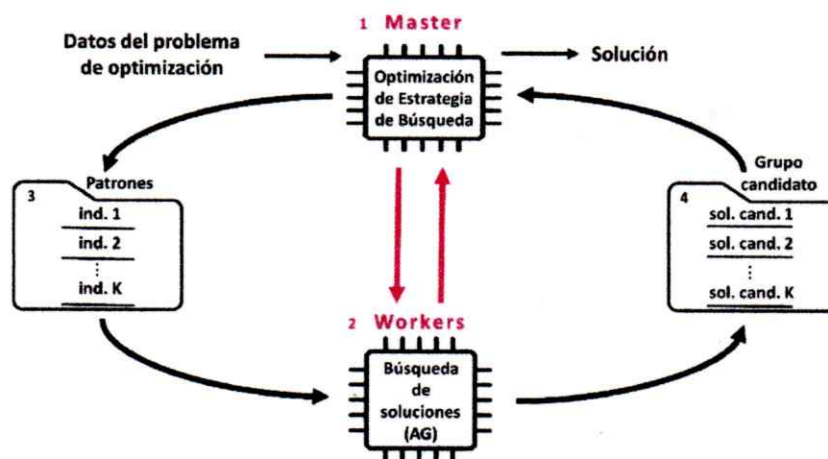


Fig. 2. Representación conceptual del optimizador.

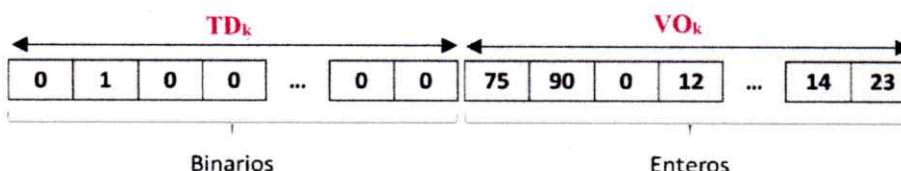


Fig. 3. Ejemplo de estructura genética del k -ésimo individuo.

El desafío que plantea un problema de optimización dinámico es la correlación temporal de las variables de decisión. En este sentido, los individuos generados por los operadores genéticos deben respetar la función que describe la trayectoria temporal. Sumado a esto, la existencia de restricciones vinculadas a la finitud de los recursos implica un reto para la creación de nuevas generaciones. Así, los operadores genéticos deben garantizar en todo momento la construcción de sujetos factibles para evitar ineficiencias en la búsqueda del óptimo.

La población inicial es construida a partir de la formación de individuos que satisfagan las restricciones impuestas al caso de estudio. La distribución de colmenas es determinada aleatoriamente para el primer año, y los años siguientes son proyectados

compatibilizando lo ya obtenido mediante las operaciones genéticas. Específicamente, la estrategia para la obtención de las generaciones posteriores se puede resumir en las siguientes etapas:

PASO 1) Selección aleatoria de los padres y del período temporal a modificar.

PASO 2) Cruzamiento o Mutación. Aplicación de alguno de los operadores genéticos elegido aleatoriamente en el período seleccionado.

PASO 3) Compatibilización. Modificación de los períodos posteriores al cambio introducido por los operadores genéticos, respetando el desarrollo de la variable de decisión dictada por la función o heurística.

PASO 4) Cambio poblacional. Nuevo ordenamiento en función del fitness y eliminación de los peores individuos hasta alcanzar la cantidad de la población al inicio del procedimiento.

Se itera sobre estos pasos hasta cumplir con alguno de los siguientes criterios:

- Número máximo de iteraciones donde el mejor individuo no se altera.
- Número máximo de iteraciones.

Para seleccionar los padres (PASO 1), la población es ordenada en función de su valor de fitness. Tomando en cuenta ese orden, una mayor chance de selección es otorgada a aquellos individuos con mayor fitness. Por ejemplo, en la Figura 3 se muestra el caso donde se seleccionan al azar dos individuos de un problema de localización de colmenas en 3 campos posibles a lo largo de 3 años. Cada gen representa un campo, agrupándose 3 genes por cada año. Luego, el segundo año resulta elegido aleatoriamente para aplicar la operación de cruzamiento. A modo ilustrativo, el total de colmenas iniciales (para $t=1$) de cada individuo es 82, asignadas a cada campo aleatoriamente. Si tomamos un ejemplo sencillo donde la tasa de crecimiento es del 10% lineal, cada individuo tendrá 90 colmenas en el segundo año y 99 en el tercero. La evolución del número de colmenas sigue la distribución determinada en el período inicial.

En cuanto al operador de cruzamiento (PASO 2), las parejas seleccionadas deben ser distintas en al menos 2 genes para el período elegido al azar. De esta forma se garantiza que la permutación de valores no altere la cantidad total de colmenas en los hijos resultantes. Una vez que dos individuos compatibles son seleccionados, se eligen aleatoriamente dos genes cuyas cantidades sean distintas entre los padres y cuya diferencia tenga signo opuesto. Luego, el cruzamiento se realiza tomando el valor mínimo de la diferencia entre los genes a intercambiar. Esta manipulación es necesaria para garantizar que los cromosomas tengan sentido físico. En el caso de estudio, este procedimiento asegura que el número de colmenas de los individuos resultantes respete la cantidad total que debería haber para ese período. Más aún, el cruce entre genes con una misma posición asegura que nunca se supere la cantidad máxima permitida de colmenas en cada campo.

En el caso ilustrado en la Figura 4, el i -ésimo gen del padre 1 difiere en la cantidad de colmenas asignadas al i -ésimo gen del padre 2 para $i=1...3$. Dado que ambos individuos tienen un total de 90 colmenas a redistribuir en el segundo año y difieren en al menos 2 genes entre sí, existe al menos un gen donde las cantidades de colmenas es superior al del otro individuo para el mismo campo (+30), y existe otro gen donde la cantidad es inferior (-10). Al permutar el mínimo de la diferencia entre el par de genes

(10) se asegura que la cantidad de colmenas en los hijos resultantes continúe siendo 90. El ejemplo planteado propone permutar los genes 2 y 3 en $t=2$.

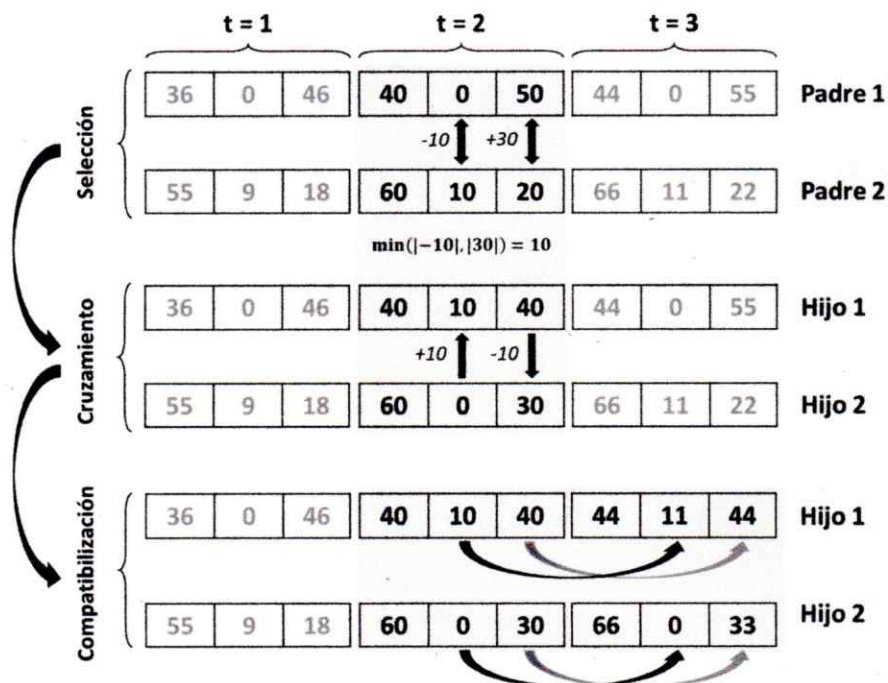


Fig. 4. Ejemplo de funcionamiento del operador de cruzamiento.

Con respecto al operador de mutación, la cantidad del gen elegido al azar de un individuo es asignada aleatoriamente a otro gen cuya cantidad es nula. Puede suceder que el gen de destino tenga una capacidad máxima inferior a la cantidad que recibirá. Si este fuese el caso, la cantidad excedente sobre el máximo se redistribuye sobre los restantes genes con valores positivos para obtener un individuo con una configuración más eficiente desde los puntos de vista económico y logístico. Cuando no existiesen genes con capacidad para recibir el remanente, este excedente se asigna al azar a otro gen con cantidad nula.

El ejemplo de la Figura 4 ilustra a ambos hijos luego de haber efectuado un cruzamiento. En particular, el segundo gen del Hijo 2 tiene valor positivo en el primer año (9), luego presenta un valor nulo en el segundo periodo, y finalmente vuelve a tener valor positivo en el tercero (11). Es decir, si únicamente se introdujese la modificación del operador cruzamiento, esto implicaría que las colmenas vuelven a su ubicación original en el tercer año. En términos de la representación del problema, esto podría reflejar un decisor que reversa sus decisiones constantemente. Esta aparente indecisión subyacente en la construcción de nuevos individuos es enmendada asumiendo que los cambios que introducen los operadores genéticos se mantienen hasta el final del periodo

bajo análisis. En el PASO 3, el tercer año se calcula nuevamente siguiendo la evolución del total de colmenas (99 unidades) en base al reordenamiento del segundo periodo.

5 Resultados

La complejidad del problema implementado es función del número de colmenas iniciales que el productor debe asignar a cada campo. Para la configuración de los hiperparámetros se consideró un proyecto de 500 colmenas iniciales, 30 campos potenciales en el sudoeste bonaerense (sujetos cada uno de ellos a restricciones de capacidad) y un horizonte temporal de 5 años. La selección de los hiperparámetros fue implementada utilizando un procesador Intel i7, simulando 200 casos por alternativa. La cantidad de hijos producto de la aplicación de los operadores genéticos equivale al 10% del tamaño de la población.

Se determinó que el algoritmo logra encontrar el óptimo asequible en un porcentaje superior al 68% de las veces cuando el tamaño de la población supera los 800 individuos (Figura 5). Cuando el tamaño de la población alcanza los 1200 individuos, el algoritmo encuentra dicho máximo con una probabilidad del 88%. No obstante, existe un compromiso entre precisión y velocidad de procesamiento. Mientras que una población con 800 individuos alcanzó el óptimo asequible demorando aproximadamente 86 segundos, la población con 1200 individuos encontró dicho óptimo siempre, pero duplicando el tiempo de cómputo.



Fig. 5. Análisis del tamaño de la población.

La Figura 6 muestra que la mejor combinación se alcanza con una tasa de 10% de mutaciones para una población de 1000 individuos. Sin embargo, el máximo asequible tiene altas chances de ocurrencia a partir de una tasa del 40%.

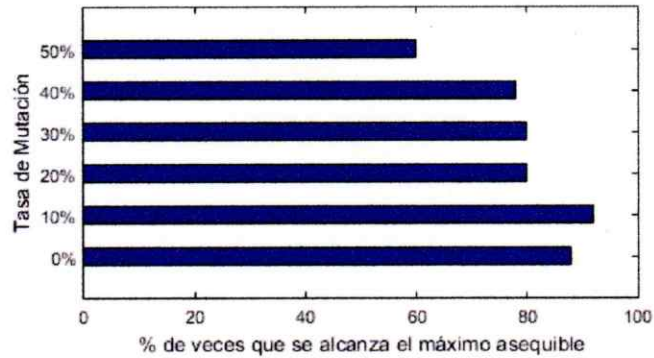


Fig. 6. Análisis del operador Mutación.

Con respecto a la velocidad del algoritmo, la implementación paralela logra reducir considerablemente los tiempos de procesamiento. Utilizando un procesador AMD FX(tm)-8120 con 8 núcleos reales, se ejecutaron 40 simulaciones por cada núcleo adicional utilizado. Tomando en cuenta la configuración óptima de los hiperparámetros, el cálculo del Speedup indica que el desempeño con 6 núcleos reduciría en hasta un 70% los tiempos de optimización en comparación con la ejecución secuencial. Más específicamente, la razón en cuestión alcanzó los 3.7 puntos.

La Figura 7 muestra la evolución del Speedup, denotándose un aumento decreciente de esta razón ante el uso de una mayor cantidad de núcleos. Cabe destacar que, si se considerase el problema base de 500 colmenas iniciales, un aumento del número de colmenas implicaría una disminución relativa de los valores de Speedup.

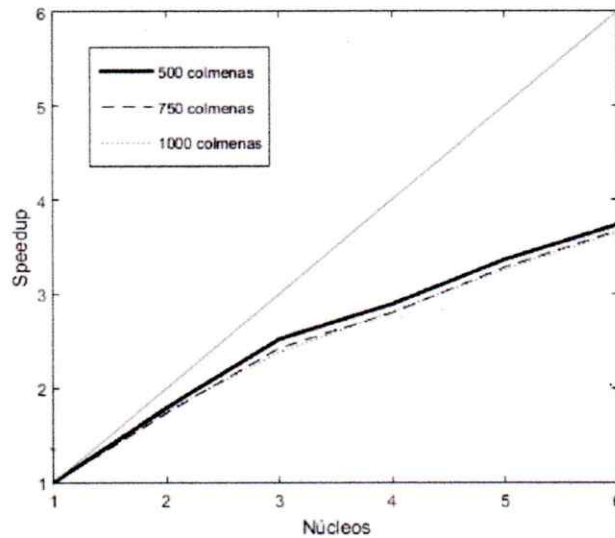


Fig. 7. Velocidad de procesamiento paralelo.

En la Figura 8 se representan los 30 campos alternativos en los cuales el productor apícola puede colocar sus colmenas. Cada uno de ellos posee una capacidad mínima de 30 colmenas y una máxima que depende del tamaño y la zona donde esté localizado el campo. Como lugar de residencia del productor se selecciona la ciudad de Bahía Blanca, representada a través del ícono violeta.

Una solución óptima factible dada por el AG consiste en colocar, en el primer año, una determinada cantidad de colmenas para la producción de miel en los campos 14, 15, 23, 28 y 30, representados a través de los íconos celestes. Es conveniente aclarar que una vez que se selecciona un campo, el mismo seguirá utilizándose hasta colmar su capacidad máxima. Conforme la aclaración anterior, para el segundo año se emplean los mismos campos que para el primer año. Luego, para el tercer, cuarto y quinto año, además de los campos del segundo año, se adicionan los campos 22 y 24, representados a través de los íconos amarillos. Los campos cuyo ícono son de color negro, corresponden a los que el AG en ninguna de sus soluciones eligió como candidatos posibles con el objeto de maximizar el VAN.

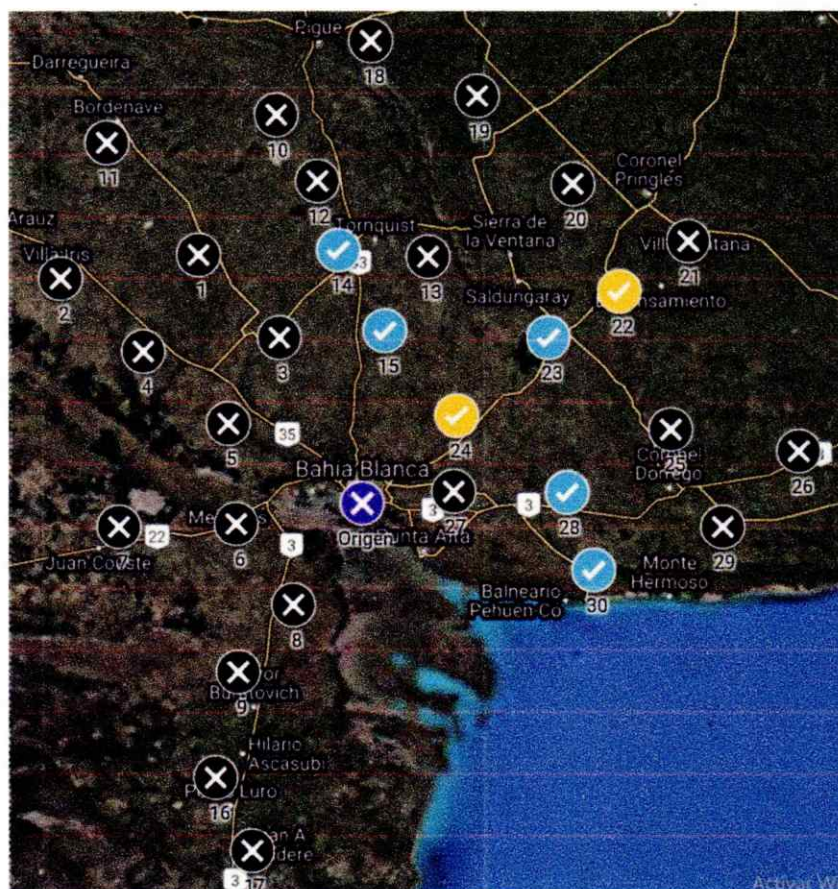


Fig. 8. Mapa con campos alternativos para el productor apícola.

Para el presente análisis, se supone que del total de colmenas que posee el productor, 150 de ellas podrán ser destinadas a dicha subactividad, en el caso que se decida llevarla a cabo. Cuando se utiliza esa cantidad de colmenas en la producción de núcleos para su posterior comercialización, la producción de miel por colmena se reduce. El AG confeccionado para este caso propone llevar a cabo esta subactividad en todos los años y considera los campos 14, 15, 23, 27, 28 ó 30 como posibles alternativas equiprobables para dicha producción. En cualquiera de ellos, el productor coloca un total de 150 colmenas que se utilizan tanto para la producción de núcleos y miel para la venta. El VAN máximo encontrado por el AG es de, aproximadamente, U\$S 23.606.

6 Conclusiones

El objetivo de este estudio consiste en maximizar el valor actual neto (VAN) del eslabón primario de la cadena de valor apícola del sudoeste bonaerense, con el fin de determinar cuáles son las principales actividades que generan mayor valor a dicha producción, de modo de brindar un soporte a la toma de decisiones del productor.

Para ello, se ha diseñado e implementado un modelo de cómputo paralelo definido por un algoritmo Maestro (Master), el cual ordena las soluciones candidatas presentadas por Trabajadores (Workers) según su aptitud. Se determinó que el tamaño de la población requiere 1200 individuos para encontrar el óptimo asequible en el 88% de las simulaciones efectuadas. Respecto al operador mutación, la mejor combinación se alcanza con una tasa de 10% de mutaciones. Por último, en cuanto a la velocidad del algoritmo genético (AG), la implementación paralela logra reducir considerablemente los tiempos de procesamiento. Los resultados muestran que el VAN máximo encontrado por el AG es de, aproximadamente, U\$S 23.606.

El AG aquí propuesto es una técnica de optimización para problemas dinámicos con restricciones, donde las decisiones de producción y localización pueden cambiar a lo largo del tiempo. Se busca que este modelo de cómputo pueda servir como soporte a la toma de decisiones del productor apícola con el fin de detectar oportunidades que puedan crear una ventaja competitiva. Este trabajo abre una futura línea de investigación que se centrará en estudiar, a partir de mejoras e introducción de nuevas variables y parámetros al AG propuesto en la presente investigación, el sistema de valor apícola, considerando todos sus eslabones.

Referencias

1. Porter, M. E.: *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. 167. The Free Press, New York (1985).
2. Kippenberger, T.: *The value chain: The original breakthrough*. *The Antidote* 2(5), 7-10 (1997).
3. Kaplinsky, R.: *Globalisation and unequalisation: What can we learn from Value Chain Analysis?* *Journal of development studies* 37(2), 117-146 (2000).
4. Abecassis-Moedas, C.: *Integrating design and retail in the clothing value chain: an empirical study of the organization of design*. *Int. J Oper.*, 26(3/4), 412-428 (2006).
5. Brown, L.: *Competitive Marketing Strategy*. Nelson, Melbourne (1997).

6. LNCS Homepage, <http://www.fao.org/3/y5110s/y5110s00.htm>, último acceso 20/07/2020.
7. Hellin, J., Meijer, M.: Guidelines for value chain analysis. Food and Agriculture Organization (FAO), An Agricultural Development Economics Div., Rome (2006).
8. Porter M.E. The Competitive Advantage of Nations. 1a Ed., McMillan (1990).
9. Goldberg, D. E., Holland, J. H.: Genetic algorithms and machine learning. *Machine learning* 3(2), 95-99 (1988).
10. Goslino, M. P.: Apicultura en el sudoeste bonaerense: una propuesta de eficiencia y sustentabilidad en esquemas de comercialización conjunta. In: Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Sur (2017).