

Optimal shift management applied to beekeeping production

María M. Vives^{a,c} [0009-0001-4721-5645], Nélide B. Brignole^{a, b} [0000-0002-4795-2872]

^aLaboratorio de Investigación y Desarrollo en Computación Científica (LIDECC)-Departamento de Ciencias e Ingeniería de Computación (DCIC), Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.

^bPlanta Piloto de Ingeniería Química (UNS-CONICET), Bahía Blanca, Argentina

^cComisión de Investigaciones Científicas (CIC), La Plata, Buenos Aires, Argentina
dybrigno@criba.edu.ar

Summary. In the Argentine beekeeping industry, decision-making is primarily based on estimates derived from experience. An information system based on data and systematic analysis that supports the sector's growth will enable it to exceed its targets. With the aim of improving economic planning, maximising profitability and promoting long-term sustainability, we have created an AI-based decision support system for shift management, designed to efficiently organise work in a honey extraction room, optimise costs and facilitate product traceability. An automated shift management system was implemented, as one problem raised by beekeepers is the lack of a customised tool that allows them to optimise the use of the extraction room and streamline traceability throughout the process. Developed as a multi-platform web application, the tool uses Supabase as its backend infrastructure and cloud database (BaaS), ensuring robustness and availability. The design prioritises an intuitive interface that minimises the digital divide for users with low tech-savviness, enabling customers to self-manage their appointments whilst management monitors and administers the calendar. The system helps to provide a streamlined service that is flexible, user-friendly and personalised. It allows for the incorporation of bespoke modules, tailored to specific local issues. This supports management decision-making on issues that may be changing rapidly, which are not easily identified beforehand.

Keywords: Artificial Intelligence, Optimisation, Planning, Beekeeping, Software Development

Gestión óptima de turnos aplicada al desarrollo productivo apícola

Resumen. En la actividad apícola Argentina, la toma de decisiones se basa principalmente en estimados a partir de la experiencia. Un sistema de información basado en datos y análisis sistemático que ayude al crecimiento del sector permitirá superar sus metas. Con el objetivo de perfeccionar su planificación económica, maximizando la rentabilidad y promoviendo la sostenibilidad a largo plazo, hemos creado un sistema de soporte de decisión para gestión de turnos basado en IA, conducente a organizar eficientemente la labor en una sala de extracción de miel, que optimice costos y facilite la trazabilidad del producto. Se implementó un sistema automático de gestión de turnos, pues un problema planteado por los

apicultores es la carencia de una herramienta personalizada que les permita optimizar el uso de la sala y agilizar la trazabilidad en todo el proceso. Desarrollada como una aplicación web multiplataforma, la herramienta emplea Supabase como infraestructura de backend y base de datos en la nube (BaaS), garantizando robustez y disponibilidad. El diseño prioriza una interfaz intuitiva que minimiza la brecha digital para usuarios con baja afinidad tecnológica, facilitando que los clientes autogestionen sus turnos mientras la gerencia monitorea y administra el calendario. El sistema ayuda a brindar un servicio ágil, siendo flexible, amigable y personalizado. Permite incorporar módulos a medida, adaptados a las problemáticas locales concretas. Así se respalda la toma de decisiones gerenciales sobre problemas que pueden estar cambiando rápidamente y que no se diagnostican fácilmente con anticipación.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Optimización, Planificación, Apicultura, Desarrollo de Software

1 Introducción

En todo el mundo, Argentina está en los primeros puestos como productor y exportador de miel. Datos recientes (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2026) indican que en el país existen 15.306 productores, 33.477 apiarios, 2.729.941 colmenas y 1.209 salas de extracción de miel habilitadas. En particular, un volumen cercano a las 6.000 ton. se destina al mercado interno, siendo el consumo anual de miel en nuestro país de 156 g por habitante (Ferro, 2023). Alrededor del 50% de toda la miel que se produce en Argentina tiene su origen en la Provincia de Buenos Aires. La actividad apícola no sólo es clave para el desarrollo económico y social de nuestro país, sino que tiene una importancia aun mayor para el medioambiente. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), alrededor del 75% de los cultivos alimenticios a nivel global dependen de la polinización de insectos.

En resumen, la provincia de Buenos Aires es la principal zona apícola del país pues concentra más de un tercio de los apiarios y colmenas registrados en Argentina y su producción de miel supera el 50% del total nacional. El sector apícola bonaerense ha tenido un crecimiento constante en los últimos años. Tiene un enorme potencial productivo para generar desarrollo local y regional, empleo genuino y valor agregado.

Cabe destacar que 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 y cuenta con alrededor de 915.000 colmenas, según fuentes oficiales de la Secretaría de Agroindustria de la Nación, seguida por la provincia de Entre Ríos, con 572.000 colmenas, Santa Fe, con unas 295.000, Córdoba con números similares y La Pampa, con cerca de 208.000 colmenas, lo cual está naturalmente relacionado con el número de salas de extracción de miel.

Hace décadas, los cambios estructurales acontecidos en nuestro país produjeron modificaciones en las condiciones en que opera la economía, las que obligan a un replanteo estratégico de modo de adaptarse a las nuevas exigencias competitivas. Esto demanda

contemplar las especificidades territoriales y una visión basada en el desarrollo sustentable. Dentro de la Provincia de Buenos Aires, el Sudoeste bonaerense (SOB) es una región que ha sido diferenciada por la Ley Provincial N° 13.647/2007 por su condición agroecológica frágil, creando el Plan de Desarrollo del SOB. Una de las actividades que se ha buscado promover es la apicultura, como alternativa para la diversificación productiva y el desarrollo de valor agregado local. Llevada a cabo por pequeños productores, la apicultura se enfrenta a permanentes desafíos para lograr competitividad. Por otra parte, el dinamismo innovativo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) y en Inteligencia Artificial (IA) están impactando en los sistemas agroalimentarios, generando un nuevo paradigma tecno-productivo para superar dificultades de coordinación, eficiencia y sustentabilidad. La integración de estos desarrollos con aspectos productivos y comerciales es incipiente en la Argentina y más aún en la región del SOB.

La idea de usar recursos informáticos para el soporte de decisiones apícolas del empresario surge como un mecanismo de cooperación para solucionar problemas comunes debido a la falta de herramientas de análisis cuantitativo. Si bien la miel se considera tradicionalmente el producto comercial por excelencia, la posibilidad de proveer nuevos servicios precisa de un estudio exhaustivo de los costos asociados y una optimización de los ya existentes. Con esta visión, hemos creado una turnera que permita incrementar la eficiencia de una sala de extracción, fraccionamiento y almacenamiento de miel.

2 Métricas de impacto

La Tabla 1 resume las métricas de impacto consideradas como objetivos de diseño relacionados con el funcionamiento de la sala de extracción de Tomiel® (2005). El valor inicial corresponde al estimado actual por la empresa, mientras que el valor objetivo es la cantidad esperada con la ayuda del sistema de gestión aquí descripto. Todas las métricas fueron definidas en base a la experiencia empresarial en dicha sala. Con respecto a la calidad del producto, se consideró que se debe evitar la contaminación del color por mezcla de mieles distintas. En la Tabla 1 se entiende por distracciones del gerente al tiempo empleado para la atención al cliente que solicita su turno.

Tabla 1. Métricas de impacto.

Métrica	Unidad de Medida	Valor inicial	Valor objetivo
Eficiencia productiva	$\frac{\text{Producción real}}{\text{Producción estándar}} \times 100$ Producción en número de tambores/día	72%	100%
Eficiencia operativa	Cantidad de turnos a brindar por semana	15	25
Cantidad de miel extraída	kg/día	5400	7500
Sobretornos	Frecuencia semanal	3	0
Tiempos ociosos	Horas semanales	4	1
Distracciones del gerente	Cantidad de interrupciones semanales en la actividad gerencial.	25	5
Tasa de uso de la sala	$\frac{\text{Horas totales disponibles} - \text{Horas ociosas}}{\text{Horas totales disponibles}} \times 100$	84%	100%

3 Sistema de gestión de turnos

El manejo de la colonia de abejas melíferas por parte del apicultor se divide en baja (otoño – invierno) y alta temporada (primavera – verano) (Ferro, 2023). La estacionalidad apícola sigue el ciclo natural de la flora, con máxima actividad en primavera-verano (recolección de néctar, producción de miel). El verano es una época crucial, pues las abejas aprovechan las principales floraciones para producir miel. Cuando se realizan las cosechas, las salas de extracción de miel deben gestionar un exceso de clientes urgentes. En este contexto, una optimización adecuada del funcionamiento de la sala permitirá ofrecer a los apicultores soluciones concretas y rentables.

Actualmente, la gestión de turnos se realiza sin sistematización, lo que puede resultar en una serie de desventajas que afectan la eficiencia, la efectividad y la sostenibilidad de las operaciones. Por lo tanto, para lograr una gestión eficiente de los recursos hemos diseñado e implementado un sistema de gestión especialmente adaptado al entorno de trabajo. La Fig.1 ilustra el diagrama de funcionamiento del sistema completo. En primer

lugar, se construye un plan semanal de calendario utilizando el método clásico tabular de diagramas de Gantt. Se considera que en una sala con una única línea de extracción las tareas se ejecutarán en cascada, es decir cuando una tarea está concluida, la siguiente puede comenzar. Las tareas se agregan al calendario (GD_1) por orden de llegada del pedido, razón por la cual su distribución no necesariamente es óptima. Por lo tanto, luego se reordena el esquema de turnos para mejorar la rentabilidad del servicio. Utilizando GD_1 como punto de partida, se genera un diagrama de turnos GD_2 . Esta nueva propuesta se obtiene por optimización mediante un Algoritmo Genético Codificado Real (RCGA). Ambos diagramas GD_i ($i=1,2$) con sus respectivos valores de fitness f_i se muestran al gerente para que decida conociendo la rentabilidad f_i de cada diagrama de turnos. Cuando elige la opción deseada, se disparan mensajes a todos los clientes con la confirmación ó reprogramación de sus turnos.

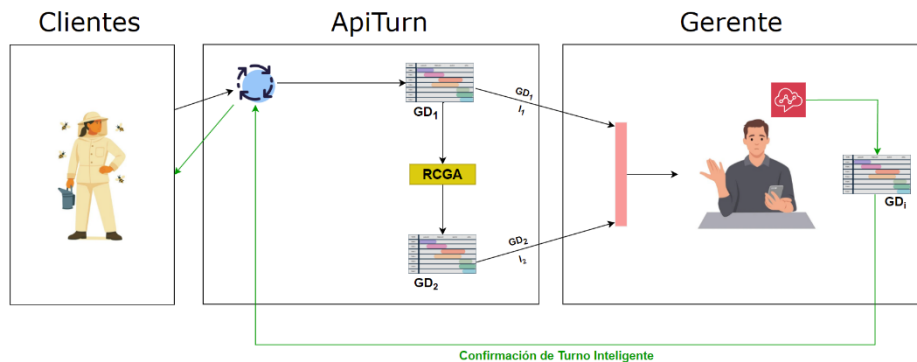


Fig. 1: Esquema del sistema completo de gestión de turnos.

El modelo opera bajo restricciones temporales estrictas, con jornadas de extracción de 09:00 a 18:00 horas, considerando intervalos de descanso de 10 minutos y tiempos de corte de 5 minutos por lote.

De común acuerdo, se diseñaron interfaces amigables, tales como códigos de color, gráficos y mapas, para que el usuario pueda tomar decisiones empresariales basadas en datos e interactuar cómodamente con su aplicación.

Para el planteo de la función de fitness, se tuvo en cuenta la historia empresarial mediante una adecuada clasificación de los clientes según el servicio solicitado (Fig. 2). Se elaboraron las interfases que permiten ingresar datos históricos desde las planillas existentes, creando conjuntos de datos relevantes. Para garantizar la precisión del algoritmo, el sistema clasifica a los usuarios en tres perfiles con prioridades diferenciadas:

Cientes Urgentes: Productores que entregan sus alzas durante la mañana y requieren el retiro del producto final en la misma jornada.

Cientes Extraordinarios: Aquellos que cuentan con una reserva de turno excepcional y deben ser atendidos con la mayor celeridad posible.

Cientes Comunes: Productores sujetos a la planificación estándar de la planta.

De este modo, la asignación de prioridades en los turnos queda personalizada según el criterio gerencial.

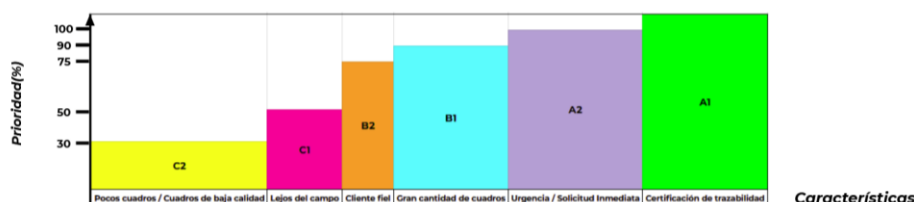


Fig. 2: Definición de prioridades en la asignación de turnos.

Siguiendo la metodología de puntos de penalización (Donti et al, 2021; Shahbazi, 2005), el algoritmo de ApiTurn prioriza las soluciones con menor puntaje total, asignando valores significativamente más altos a las restricciones que comprometen la viabilidad operativa (Duras) frente a las de conveniencia logística (Blandas).

1. Restricciones Duras (Prioridad Crítica): El incumplimiento de estas condiciones genera las siguientes penalizaciones severas para forzar al Algoritmo AG a evitarlas durante la evolución:
 - a. Integridad del Proceso (1000 - 3000 pts): Es imperativo que todas las alzas de un mismo cliente se procesen de manera secuencial; su fragmentación o la omisión de un turno para un cliente registrado se penaliza con hasta 3000 puntos.
 - b. Saturación de Infraestructura (3000 pts): El sistema impide que el depósito supere el límite de 600 alzas llenas y 600 vacías, evitando el colapso logístico de la planta.
 - c. Gestión de Compromisos (1000 - 4000 pts): Ante bloqueos de agenda por parte de la gerencia, el sistema protege con mayor rigor los turnos de clientes urgentes (4000 pts) y extraordinarios (2000 pts) sobre los comunes.
2. Restricciones Blandas (Optimización de Calidad): Las siguientes reglas buscan la excelencia operativa sin invalidar el cronograma:
 - a. Compactación del Horario (300 pts): Se incentiva la reducción de tiempos muertos entre extracciones para maximizar el uso de la maquinaria.
 - b. Afinidad de Producto: Siempre que sea posible, el sistema agrupa de forma contigua a clientes con el mismo tipo de miel.
 - c. Conveniencia del Cliente (500 pts): Se busca alinear la asignación con el calendario preferente del productor.

Así, el problema se convierte en un ejercicio de minimización de penalizaciones. La ventaja crítica de este enfoque para el sector apícola es su capacidad de respuesta ante la incertidumbre. Si la planta alcanza su capacidad máxima diaria, el algoritmo automáticamente reprograma los turnos para la semana siguiente, garantizando que ningún

cliente quede fuera del sistema, pero respetando siempre los límites físicos de procesamiento de la planta.

4 Metodología de optimización

El concepto de Algoritmos Genéticos (AGs) fue propuesto por primera vez por Holland (1975). Constituyen un enfoque global para resolver problemas de toma de decisiones, inspirado en los principios de la selección natural y la genética. Estos algoritmos pertenecen a la categoría de los algoritmos evolutivos y utilizan mecanismos que emulan los procesos de selección natural para mejorar gradualmente las soluciones a problemas complejos. En definitiva, simulan el principio de la “ley del más fuerte”. Se inspira metodológicamente en la genética de poblaciones (Fig. 3).

Cada solución posible está representada por un «individuo digital». Tras la generación de un conjunto inicial de soluciones viables, los individuos se recombinan o mutan aleatoriamente. Los individuos resultantes se someten a un proceso de selección natural, que favorece la supervivencia de los más aptos (las mejores soluciones). El objetivo de cualquier AG es identificar al individuo con la capacidad ideal (o casi ideal). Los individuos con mejores puntuaciones tienen una mayor probabilidad de ser seleccionados para reproducirse. Esto provoca que las nuevas generaciones presenten soluciones más avanzadas que las anteriores. La evaluación se realiza mediante un valor de aptitud (fitness), que puntúa algunos aspectos característicos, fórmula que en nuestro caso permite obtener los beneficios económicos de un dado diagrama de Gantt. El fitness es un sinónimo de la capacidad de adaptación de cada individuo. La puntuación de fitness de un individuo indica su nivel de competitividad. Además, hemos construido la fórmula de fitness abordando la estructuración jerárquica de las solicitudes. Permite identificar de forma fácil y eficaz la relevancia de un cliente (Fig. 2) a través de un archivo que ayuda a priorizar las urgencias y los clientes clave.

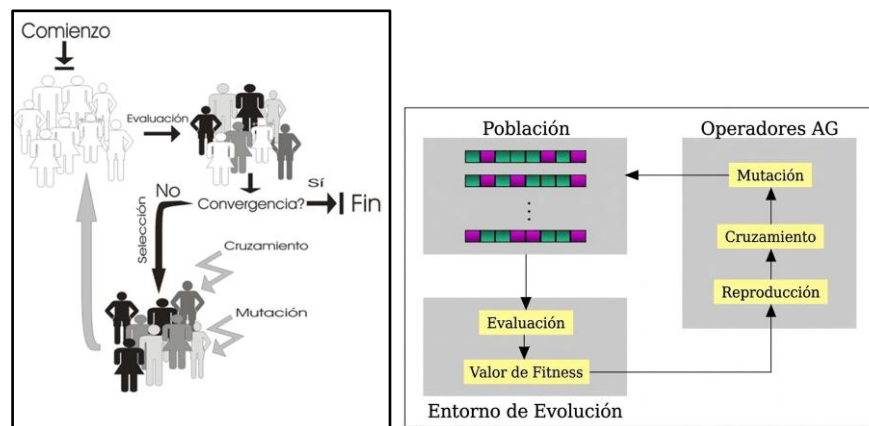


Fig. 3: Diagrama de flujo de un Algoritmo Genético canónico

Aunque la idea original de los AGs proponía codificar la información en valores binarios (0 y 1), en los últimos años se ha prestado mucha atención a los algoritmos genéticos con codificación real, en los que la información se codifica en números reales en función de la formulación del problema. Esto se debe a que el algoritmo genético original con codificación binaria no resulta adecuado para realizar búsquedas precisas en espacios de búsqueda complejos.

Gracias a su gran capacidad para abordar problemas de optimización del mundo real, el AG con codificación real (RCGA) se ha consolidado como un algoritmo evolutivo muy eficaz y de uso generalizado. La bibliografía reciente ha presentado numerosas aplicaciones exitosas de los RCGA en diversos campos, lo que subraya su importancia en las prácticas de optimización actuales. Inspirándose en los principios de la selección natural y la supervivencia del más apto observados en el mundo biológico, los algoritmos genéticos con codificación real (RCGA) funcionan esencialmente como esquemas de búsqueda estocástica basados en poblaciones. Incorporan una secuencia estructurada de operadores de selección, cruce y mutación para explorar y optimizar soluciones. En las últimas décadas se han logrado avances significativos para mejorar la eficiencia de las soluciones de los RCGA (El-Hassani et al., 2024).

Li y Gonsalvez (2020) utilizaron una representación cromosómica directa en su modelo. Para satisfacer las restricciones duras y blandas, implementaron una operación de inicialización basada en restricciones, una operación de cruce basada en restricciones y un sistema de puntos de penalización. Con el fin de mejorar aún más la calidad de los resultados del algoritmo, diseñaron una mejora denominada «preentrenamiento de la población inicial». La arquitectura lógica implementada resulta directamente transferible a la gestión de turnos en plantas de extracción de miel, donde la competencia por recursos físicos limitados exige una optimización rigurosa. En el sistema de gestión de turnos, hemos redefinido el cromosoma mediante una representación directa donde cada gen constituye una ventana temporal dedicada al procesamiento de una cantidad específica de cuadros o alzas (m cajones).

4.1 Representación Inicial: Basada en Turnos Fijos

Siguiendo a Li y Gonsalvez (2020), podría definirse el cromosoma mediante una secuencia donde cada gen representa un turno individual.

- Valor del gen: ID del cliente asignado a ese turno específico.
- Tiempos muertos: Representados por el valor 0.
- Longitud del cromosoma: Determinada directamente por la cantidad total de turnos disponibles en un día laboral.

Aunque funcional, esta estructura genera cromosomas extensos y una gestión rígida, ya que un mismo cliente debe repetirse en múltiples genes consecutivos para cubrir su tiempo de procesamiento. Por ende, hemos adoptado una nueva representación.

Ejemplo de interpretación. En este modelo, el cromosoma es una cadena demasiado larga, donde el orden de los genes dicta la cronología exacta. Si cada gen representa, por ejemplo, un turno de trabajo, la estructura se vería como en la Fig. 4.

5 5 5 5 0	0 0 0 11 11 11	...	0 3 0 4 4 0
Lunes	Martes	...	Sábado

Fig. 4: Representación cromosómica básica: ejemplo

Reservas de turno: El lunes el cliente 5 reservó 5 turnos y luego apareció un tiempo muerto (turno no reservado). El martes hubo un tiempo muerto ya que no reservaron tres turnos, y luego apareció el cliente 11 con tres turnos. Por último, el sábado se vieron intercalados los tiempos muertos y activos, teniendo en total tres turnos reservados de seis donde el cliente 3 reservó un turno y el cliente 4 reservó dos turnos.

4.2 Nueva Representación: Basada en Bloques Cliente-Duración

La representación actual adopta un enfoque de codificación por bloques, donde cada unidad de información en el cromosoma es un conjunto de 4 dígitos. Esta estructura permite que el cromosoma sea más denso y semánticamente más rico. Cada bloque de 4 dígitos se descompone de la siguiente manera:

- Dígitos 1 y 2 (ID del Cliente): Identifican al cliente asignado (por ejemplo, 05 para el Cliente 5). El 00 sigue reservado para identificar tiempos muertos o vacíos en la agenda.
- Dígitos 3 y 4 (Cantidad de Turnos): Indican la duración o el número de turnos consecutivos que ocupa ese cliente (por ejemplo, 03 indica que el cliente ocupará 3 unidades de tiempo).

Ejemplo de interpretación. La Fig. 5 ilustra una representación alternativa para las mismas reservas de turno. Si observamos el bloque 0505, ya no se necesitan 5 genes individuales con el número 5. Ahora, un solo bloque nos indica que el Cliente 05 tiene asignados 05 turnos de procesamiento.

0505 0001	0003 1103	...	0001 0301 0001 0402 0001
Lunes	Martes	...	Sábado

Fig. 5: Representación cromosómica para ApiTurn

El cambio tiene las siguientes ventajas:

- Compactación de Datos: Se reduce significativamente la longitud del cromosoma, lo que agiliza los procesos de cruce (crossover) y mutación.
- Flexibilidad Operativa: Facilita la asignación de bloques de trabajo variables (alzas/cajones) sin fragmentar la estructura del cromosoma.

- Mejor Lectura de la Solución: La interpretación del calendario semanal (Lunes a Viernes) se vuelve más intuitiva al visualizar directamente la carga de trabajo por cliente.

5 Arquitectura General del Sistema

El desarrollo de ApiTurn (Fig. 6) se fundamenta en una arquitectura de Aplicación de Página Única (Single Page Application-SPA) acoplada a un modelo de cliente-servidor estrictamente desacoplado. Bajo este paradigma, la capa de presentación (Frontend) y la lógica de negocio (Backend) operan como entidades independientes, garantizando la escalabilidad y mantenibilidad del código. La interoperabilidad entre ambas capas se resuelve de manera exclusiva mediante una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de tipo RESTful, asegurando una comunicación estandarizada y sin estado (stateless).

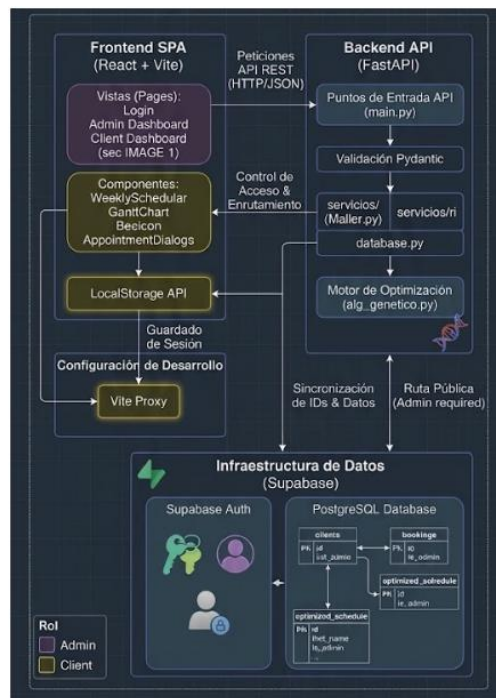


Fig. 6: Arquitectura de ApiTurn

5.1 Capa de Presentación (Frontend)

Para la interfaz de usuario, se adoptó React como biblioteca principal para la construcción de vistas basadas en componentes, gestionado a través de Vite, herramienta de

empaquetado (bundler) seleccionada por su alta eficiencia en los tiempos de compilación y recarga en caliente (Hot Module Replacement).

El enrutamiento del lado del cliente es administrado por React Router Dom, permitiendo transiciones fluidas entre los distintos módulos del sistema (Autenticación, Panel de Administración y Panel de Cliente). El diseño visual se implementó mediante Tailwind CSS combinado con la biblioteca de iconografía Lucide React, lo que facilita un diseño responsivo y coherente. Adicionalmente, se emplea la API de LocalStorage para la persistencia de sesión a nivel de navegador, mitigando la pérdida de datos de autenticación y estado frente a recargas de la aplicación.

5.2 Lógica de Servidor (Backend)

El núcleo operativo del sistema fue desarrollado utilizando FastAPI, un framework web moderno y de alto rendimiento para la construcción de APIs en Python. La ejecución del servidor se delega a Uvicorn, una implementación de servidor web ASGI (Asynchronous Server Gateway Interface). La validación y serialización de los datos entrantes (por ejemplo, credenciales de acceso) se garantiza mediante Pydantic, proveyendo un tipado estricto que reduce significativamente la vulnerabilidad a inyecciones de datos maliciosos o malformados.

5.3 Infraestructura de Datos y Autenticación

Como plataforma de Base de Datos como Servicio (DBaaS), se integró Supabase, el cual provee un entorno robusto basado en PostgreSQL. Esta infraestructura se divide en dos dominios lógicos:

- a. Módulo de Autenticación (Auth): Encargado de la gestión de identidades, emisión de tokens criptográficos y hashing de contraseñas.
- b. Base de Datos Relacional: Estructura que almacena el modelo de dominio, incluyendo tablas para clientes (clients), tipos de mieles (honey_types), reservas de turnos (bookings) y la planificación optimizada (optimized_schedule).

Motor de Optimización Computacional. El valor diferencial de la plataforma reside en su núcleo de procesamiento algorítmico integrado en el Panel de Administración. Este módulo consta de tres fases:

- a. Extracción de Datos: Recuperación de los turnos en estado pendiente (pending).
- b. Procesamiento Heurístico: Implementación de un Algoritmo Genético (alg_genetico.py) diseñado para explorar el espacio de soluciones y determinar la secuencia de atención más eficiente, minimizando tiempos de inactividad y respetando las restricciones de la lógica de negocio.
- c. Planificación (Scheduler): Un submódulo que traduce la secuencia abstracta generada por el algoritmo genético en una asignación de franjas horarias concretas y operativas.

Jerarquía, Control de Acceso y Flujo de Datos. El modelo de datos y la experiencia de usuario están supeditados a un Control de Acceso Basado en Roles (RBAC), diferenciando principalmente entre administradores y clientes regulares. (Fig. 7)

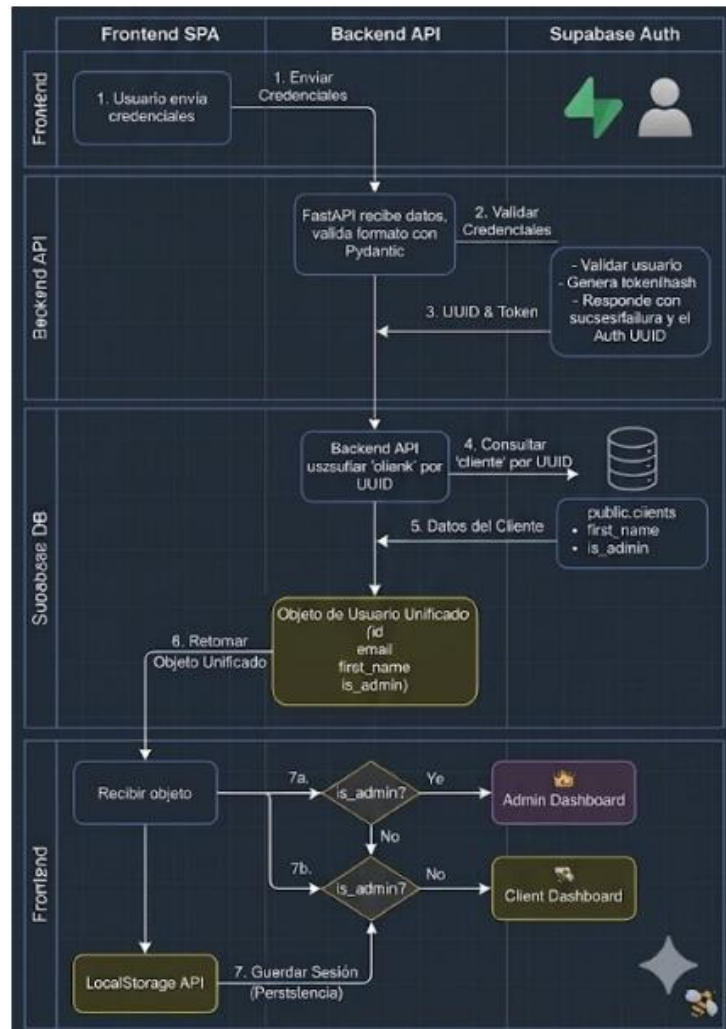


Fig. 7: Diagrama de flujo de datos y jerarquía de autenticación

6 Conclusiones

Se presenta un sistema general de gestión de turnos denominado ApiTurn que es una herramienta de planificación online de fácil acceso. Su objetivo es maximizar la

productividad. Es un sistema inteligente de apoyo a la toma de decisiones, pues el responsable siempre puede tomar las decisiones finales sobre su calendario. Ayuda a tomar las decisiones relacionadas con la creación y gestión de turnos. Así se logra la optimización del uso de la sala de extracción durante la semana laboral. Se implementó para teléfonos móviles. Es una aplicación flexible y fácil de usar tanto para clientes como para gestores de salas de extracción de miel.

ApiTurn permitirá la minimización del tiempo de entrega y espera de las solicitudes teniendo en cuenta las restricciones del sistema. El enfoque del diseño está orientado hacia el área de IA, pues la turnera será vinculada a un módulo optimizador basado en Algoritmos Genéticos y adaptado a la realidad del sector apícola. El optimizador podrá identificar ineficiencias en la programación de turnos, reajustando el diagrama de Gantt correspondiente. Así, el RCGA propone un reacomodamiento de horarios más rentable. Luego, el gerente podrá visualizar aquellas áreas que podrían mejorarse y elegir el calendario más conveniente.

La implementación de un Algoritmo Genético basado en un sistema de puntos de penalización demuestra ser una solución robusta y altamente adaptable para el problema de programación de turnos en plantas de extracción de miel. Al integrar una función de aptitud que discrimina entre restricciones duras e innegociables, como la capacidad máxima de procesamiento y la integridad de los turnos de clientes urgentes, y restricciones blandas orientadas a la optimización logística, el sistema garantiza la viabilidad operativa incluso en periodos de alta demanda o saturación del depósito.

La traslación del modelo de optimización utilizado en el ámbito académico japonés hacia el sector apícola evidencia que problemas de naturaleza NP-hard comparten estructuras isomórficas que pueden ser resueltas mediante representaciones cromosómicas directas y un manejo jerárquico de prioridades. En el caso del ApiTurn, esta metodología no solo optimiza el flujo de trabajo de la planta, sino que también aporta resiliencia frente a imprevistos o bloqueos de agenda, permitiendo una reprogramación automática que prioriza la continuidad del servicio y el cumplimiento de los compromisos con los productores extraordinarios y urgentes.

En definitiva, la arquitectura desacoplada propuesta, sumada al motor de optimización heurística, establece una base sólida para la digitalización de procesos en la industria apícola argentina. Los resultados obtenidos sugieren que la automatización del scheduling reduce significativamente los tiempos ociosos y los conflictos de agenda, transformando la gestión manual en un sistema de soporte de decisiones eficiente, escalable y centrado en la capacidad real de procesamiento de la instalación.

La estrategia de ApiTurn es innovadora como herramienta de modelización/diagnóstico, pues apoya las decisiones apícolas ante problemas cambiantes que no son fáciles de diagnosticar con antelación. Sus módulos pueden adaptarse fácilmente a las necesidades locales, lo que permite un ahorro significativo en los costes de gestión de turnos.

Para facilitar la detección de errores y la incorporación de cambios, es fundamental realizar el despliegue de ApiTurn, es decir el proceso de ponerlo en producción para comprobar si se han cumplido las metas de impacto. Se planifica llevar a cabo pruebas realistas durante la próxima temporada de verano en la empresa Tomiel®.

Declaración de intereses. Los autores declaran que no tienen intereses contrapuestos relevantes para el contenido de este artículo.

Referencias

Donti, P. L., Rolnick, D., Kolter, J. Z. (2021). DC3: A learning method for optimization with hard constraints. *arXiv preprint arXiv:2104.12225*.

El-Hassani, F. Z., Amri, M., Joudar, N. E., Haddouch, K. (2024). A new optimization model for MLP hyperparameter tuning: modeling and resolution by real-coded genetic algorithm. *Neural processing letters* 56(2), 105.

Ferro, V. (2023). Fortaleza de colonias de abejas melíferas (*apis mellifera*, L.) en la zona auto estimulante del bosque de La Plata, Buenos Aires. Trabajo Final de Carrera, FCAyF, UNLP, Argentina.

Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*. MIT press.

Jiawei, L., Gonsalves, T. (2020). Genetic algorithm for exam timetabling problem - a specific case for japanese university final presentation timetabling. Natarajan Meghanathan et al. (Eds), CS & IT.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (2026) “Apicultura: Políticas públicas para fortalecer el desarrollo de la cadena apícola.” <https://magyp.gob.ar/apicultura> , último acceso 27/6/2026

Shahbazi, K. (2005). An explicit expression for the penalty parameter of the interior penalty method. *Journal of Computational Physics*, 205(2), 401-407.

Tomiel S.R.L. (2005). “Una década en la actividad apícola” <https://www.la-nueva.com/nota/2005-12-24-9-0-0-una-decada-en-la-actividad-apicola> , último acceso 25/3/2026