

# Proyecto 1

## Modelado con Programación Lineal y Diseño de Metaheurísticas

---

### Objetivos e Instrucciones generales

---

Los objetivos de este proyecto son:

- 1) Practicar y evaluar la capacidad de modelado con programación lineal entera y la obtención e interpretación de soluciones,
- 2) Analizar algunas metaheurísticas clásicas e implementar al menos dos para el problema del agente viajero.

Puntos específicos a evaluar son:

- a) la habilidad para explicar modelos y realizar un análisis detallado de las soluciones,
- b) la capacidad de diseñar metaheurísticas y programar algoritmos,
- c) la habilidad en generar escritos claros a distintos niveles.

Para cumplir los objetivos se solicita que entreguen documentos concisos que expliquen claramente el modelo (variables, restricciones, y función objetivo), y que realicen una interpretación adecuada de la solución. Las metaheurísticas empleadas deben ser explicadas claramente y con detalle, así como los resultados obtenidos.

- La fecha de entrega de los documentos impresos será el **Jueves 8 de Octubre, 2020**. Esto incluye los modelos, análisis de resultados, sugerencias, reportes y documentos sobre las metaheurísticas, así como la copia de la presentación.
- Este proyecto deberá ser entregado en equipos de no más de 5 estudiantes.
- Los equipos deberán preparar una presentación corta (máximo 12 diapositivas) con una explicación de su metaheurística y los resultados de aplicarla al conjunto de instancias que se subieron a canvas. Se seleccionará equipos al azar para presentar sus resultados en clase. Se tiene apartado dos días, 8 y 13 de Octubre, de 16:00-17:30 para las presentaciones. No olviden incluir en su entrega un pdf de su presentación.
- La evaluación del proyecto se basará un 70% en los documentos escritos entregados (Problema 1, 2 y Metaheurísticas), un 15% en la programación de la metaheurística y su ejecución sobre las instancias, finalmente un 15 % de la presentación (Metaheurísticas).

---

## Problema de Modelado 1

---

El señor Márquez posee una pequeña granja que trabaja junto con su hijo y la ayuda de un tractor. Actualmente el tractor tiene 2 años de antigüedad y el precio en el mercado de uno nuevo es de \$43,000 USD. El señor Márquez está pensando en vender el tractor, sin embargo su hijo le sugiere esperar mientras el tractor no genere demasiados gastos. Un día mientras discutían qué hacer con el tractor, su hija Julieta Márquez, que estudia matemáticas en el ITAM, les sugiere hacer una política completa hasta el momento de la jubilación del señor Márquez, dentro de 17 años. Tanto a padre como a hijo les parece una buena idea no discutir cada año si deben cambiar de tractor o no, y deciden colaborar con Julieta para realizar dicha política.

Ambos están de acuerdo que no tiene sentido vender un tractor antes de los 2 años de uso, pues el tractor actual tiene esa edad y trabaja bastante bien. Sin embargo, dada la carga de trabajo, y la experiencia del señor Márquez, ambos están de acuerdo en que al cumplir los 5 años, lo mejor es venderlo. También están de acuerdo en que al final de los 17 años, cuando el señor Márquez se jubile, el tractor se venderá sin importar si ha cumplido o no los 2 años.

Después de un pequeño estudio, Julieta ve que, en promedio, los precios de los tractores nuevos aumentan un 5% anual con respecto al precio del año anterior. También, hablando con la agencia de ventas de tractores, le informan que en cuanto se compra un tractor nuevo, su precio de venta se deprecia inmediatamente un 10% con respecto a su precio de compra, y cada año que pasa, la depreciación es del 7% con respecto al año anterior.

El hermano de Julieta le informa que los gastos de mantenimiento y operación del tractor son de \$1,300 al año, pero por el coste de los carburantes, refracciones y reparaciones, se estima que cada año este coste aumente. Con un pequeño estudio, Julieta pronostica que este aumento será del 15% anual con respecto al coste de operación del año anterior.

Julieta les pide ayuda en el modelado y presentación de los resultados frente a su familia, pues así cree que le prestarán más atención si los resultados no son los esperados por su padre y su hermano. Para ello, haga lo siguiente:

1. Diseñe un modelo de programación lineal (mixto-entero) para resolver este problema. Explique claramente el significado de las variables, restricciones y constantes utilizadas en el modelo.
2. Resuelva el problema de programación lineal anterior y muestre en diferentes tablas que le enseñarán al Sr. Márquez cómo varían los costes y precios de venta, del tractor en cada año, así como los costes de mantenimiento. Explique dichas tablas e indique cómo se calcularía el coste total de mantenimiento del tractor a lo largo de los 17 años.
3. El hermano de Julieta, cree que ella malinterpretó el coste de operación del tractor, al considerarlo constante respecto al año en cuestión sin tener en cuenta la edad del tractor. Así, aunado al 15% anual correspondiente al aumento de carburante y refacciones, Martín, el hermano de Julieta, cree que el coste de mantenimiento del tractor

depende de la edad del tractor, y así los dos primeros años de vida del tractor su mantenimiento será del 1% con respecto al precio de compra del tractor, y aumentará un 3% con respecto al coste de mantenimiento del año anterior, para tractores de 3, 4, y 5 años de antigüedad. ¿De qué manera afecta este cambio a la política de reemplazo del tractor?

4. Muestre cómo el cambio anterior en el coste del tractor afectaría en el modelo de programación lineal.
5. Martín tiene pensado continuar con el trabajo en la granja una vez que su padre se retire. El quiere aprovechar el trabajo de su hermana y evitarse problemas con el tractor una vez que su padre se jubile. Así le pide a su hermana que investigue si cambiarán las políticas de reemplazo cuando el cambio del tractor se realice de forma periódica en el tiempo. Para de esta manera poder seguir esa política periódica siempre y cuando los precios se ajusten a esos valores sin importar cuántos años esté al frente de la granja.

---

## Problema de Modelado 2

---

Cosméticos *Mac Bella* produce en su línea de fabricación de pintalabios 10 diferentes tonos, desde el Rosa Pálido hasta el Negro Gótico. La planeación se hace la semana anterior en base al pedido de la próxima semana. El jefe de la planta de producción se ha dado cuenta que aun con pedidos idénticos los tiempos de entrega final de la producción varía dependiendo de cómo se haya organizado la producción. Esto se debe principalmente a que los tiempos de preparación para pasar de un color a otro cambian en base a los colores involucrados. Por ejemplo, el tiempo de limpieza y preparación de la línea de producción entre el Rosa Pálido y el Rosa Pop es mucho menor que entre el Rosa Pálido y el Rojo Ruso o el Negro Gótico. Nos han dado la siguiente tabla con los tiempos promedios en horas para la preparación entre distintos colores:

Pinta Labios	Código	R1	R2	R6	RW	RR	SS	SP2	S12	T3	NG	T.P.*
Rosa Pálido	R1	0	2	2	3	4	5	4	3	5	6	60
Rosa Pop	R2	2	0	1	3	3	4	6	4	3	5	31
Rosa Discreto	R6	2	1	0	4	5	3	2	4	1	7	45
Ruby Woo	RW	3	3	4	0	2	4	5	3	5	2	60
Rojo Ruso	RR	4	3	5	2	0	2	4	1	2	2	71
Saigon Summer	SS	5	4	3	4	2	0	3	2	1	3	82
Sheer Plum	SP2	4	6	2	5	4	3	0	3	2	1	52
Snob	S12	3	4	4	3	1	2	3	0	5	3	44
Tanarama	T3	5	3	1	5	2	1	2	5	0	4	74
Negro Gótico	NG	6	5	7	2	2	3	1	3	4	0	100

\* Donde T.P. es el tiempo de procesamiento para ese tipo de pintalabios demandado en el periodo

Se contrató a Consultores McKinfinty para estudiar el problema, lugar dónde usted trabaja, y su jefe, que ya ha trabajado en este tipo de proyectos, le pide que formule el problema como un problema de programación lineal, además que intente ver si se puede modelarlo como un problema del agente viajero y que lo resuelva con Solver de Excel o algún otro paquete de acceso libre (Gurobi, MPL, R, etc.), respondiendo y entregado los siguiente:

- a) Un reporte técnico donde se presente un formulación de programación lineal que incluya una demostración de la equivalencia entre este problema y el del agente viajero explicando las variables de decisión, función objetivo, supuestos y lo necesario para aclarar a los consultores junior a su cargo las razones técnicas de la equivalencia.
- b) La solución del problema explicada de tal forma que el cliente (gerente de planta) pueda implementarla.
- c) El gerente de la planta indicó que posiblemente amplíen su gama de colores, por lo que también, es necesario elaborar un documento donde se presente la formulación del agente viajero que se utilizó, justificando porque se prefirió esta formulación y qué tanto colores adicionales pueden fabricar sin que Consultores McKinfinty tenga que pagar una versión profesional de un paquete que resuelva problemas de programación lineal.
- d) El día siguiente a al entrega de proyecto de consultoría el encargado de la planta le habla por teléfono y le pide de favor si pudiera darle el mejor plan de producción sabiendo que el día anterior el último pintalabios producido fue el negro gótico. ¿cambia esta solicitud su respuesta del inciso b)?

---

## Programación de Metaheurísticas

---

Considere en el modelo del problema 2 sobre la producción de pintalabios (*Mc Bella*), en particular proponga un modelo del agente viajero que resuelva el problema. Revise en qué consisten las siguientes metaheurísticas y alguna otra:

- i) Heurística de Búsqueda local
- ii) Búsqueda Tabú
- iii) Algoritmos Genéticos
- iv) Recocido Simulado (simulated annealing)

Se sugiere, como referencia, el Capítulo 13 del libro "Introducción a la Investigación de Operaciones" de Frederick S. Hillier y Gerald J. Lieberman, 9ª Edición. McGrawHill, 2010. Ediciones más antiguas no consideran ese tema. También se sugiere revisar el documento de Christian Nilsson (subido en Canvas) con una breve descripción de Heurísticas para el problema del agente viajero (TSP), entre otros documentos que pueden ser relevantes.

Adapte dos de las metaheurísticas (i) (ii), (iii) o (iv) para resolver en general problema del agente viajero. Proponga y programe al menos dos metaheurísticas, entregando:

- Un explicación de la adaptación de la metaheurística para resolver el problema del agente viajero (evite copiar información de textos sugeridos). Procure complementar con alguna lectura adicional (citando referencias).
- Incluir el pseudocódigo de cada una de las dos (o más) metaheurística implementada.
- Utilice las metaheurística para resolver el problema de la producción de pintalabios *Mc Bella* y compare los dos resultados con los resultados obtenidos de resolver con programación lineal al instancia.
- Utilice sus metaheurísticas para resolver las 5 instancias del TSP que se subieron a canvas en la descripción del proyecto dando la mejor solución obtendia por cada programa para cada instancia. También resumir en un tabla (tanto en el documento entregado como en la presentación) el valor de la mejor solución obtenida por cada metahuerística y el tiempo que se tardó en obtenerlo. El formato de la instancias tiene en cada renglón el número de ciudad y luego las coordenadas  $x$ ,  $y$  en el plan cartesiano, utilice distancias euclidianas para generar las distancias entre ciudades, y correr su metaheurística.
- Incluya en sus conclusiones un análisis comparando ambas metaheurísticas. Por ejemplo puede incluir una tabla de la siguiente forma:

Instancia	Programación Lineal		Metaheurística 1		Metahuerística 2	
	Solución	Tiempo	Solución	Tiempo	Solución	Tiempo
Inst1-29						
Inst2-48						
Inst3-51						
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Recuerde hacer lo mismo para la solución que entregue sobre la producción de pintalabios de *Mc Bella*.