ESCISSION
STOCHASTIC OPTIMIZATION

aTurnos

PLANIFICACIÓN DE TURNOS Y ASIGNACIÓN DE PERSONAL EN FÁBRICAS

CIUDAD REAL, 2 de noviembre de 2020

Planificación Turnos y Asignación de Tareas en Fábricas

Introducción

El desarrollo de la Industria 4.0 está permitiendo una mejora significativa en la automatización de procesos en fábricas: digitalización de documentación, monitorización de procesos, ... En esta línea, surgió la empresa **aTurnos** que ofrece servicios en la nube de gestión de personal, muy útiles en entornos con plantillas numerosas, y que permiten el acceso rápido y sencillo tanto a planificadores como al personal a sus horarios, gestionar ausencias, control de presencia, horas trabajadas, gestión de nóminas, e incluso tienen herramientas que permiten la generación automática de turnos. Todo ello con una interfaz agradable accesible para los usuarios vía web o móvil. Sin duda es una herramienta muy útil que impacta de forma directa en la cuenta de resultados de las empresas que los emplean, reduciendo considerablemente el tiempo que tradicionalmente se dedicaba para la gestión de los turnos del personal.

Sin embargo, uno de los aspectos que quieren mejorar es la automatización de turnos y cuadrantes cuando la gestión de turnos es compleja y/o hay un número elevado de trabajadores. En estos casos, los algoritmos que emplean para este tipo de tareas tienen muchas dificultades para la creación de cuadrantes de turnos que cumplan con los requisitos exigidos por los clientes. Este hecho es común en entornos de fabricación con un alto número de trabajadores. En estos casos los problemas para la planificación de turnos se tornan en problemas muy complejos que requieren de herramientas matemáticas de modelado y resolución igualmente complejas.

En aras de resolver esta problemática, surgió la colaboración **aTurnos**-ESCISSION . Este documento muestra un ejemplo del tipo de problemas que se pueden plantear y resolver empleando programación matemática y técnicas de descomposición [1]. Con este tipo de herramientas se pueden hacer:

- Planificaciones de turnos de personal a largo plazo que cumplan con las restricciones que provienen tanto de la legislación vigente como por convenio.
- Comprobaciones para detectar si se pueden cumplir todas las necesidades con el personal del que se dispone.
- Modificaciones de la planificación para adaptarse a las circunstancias diarias.

- Se puede resolver de forma conjunta no sólo la planificación de turnos, sino también la asignación de tareas. Es habitual que en entornos de fabricación los empleados puedan realizar tareas de distinto tipo, y que haya empleados polivalentes que puedan realizar más de una tarea. Este hecho es beneficioso para el aprovechamiento máximo de los recursos de mano de obra disponibles pero dificulta el proceso de planificación.
- Estudios de dimensionamiento de la plantilla. Impacto de reducciones y/o ampliaciones de plantilla. Análisis de la conveniencia de cubrir ciertos turnos con empresas de trabajo temporal versus incorporar plantilla propia, etc.

Descripción del problema de planificación y asignación de tareas

Supongamos que tratamos de planificar el personal de una fábrica con una línea de producción con dos productos diferentes que requieren cierta especialización, cuyos puestos denominaremos como *producto 1* y *producto 2*, también se requiere de operarios para mover los productos generados hasta la línea de envasado, por lo tanto tenemos personal *toros* y *envasadores*, y por último los *supervisores* de la línea de producción.

Si los empleados sólo pudieran realizar una única tarea dentro del proceso de fabricación, el procedimiento de asignación de tareas sería más sencillo, aunque igualmente complejo, y únicamente habría que gestionar la planificación de los turnos. Sin embargo, en este caso hay empleados polivalentes que tienen un puesto preferente por su mayor experiencia, pero llegado el caso, podrían realizar otro trabajo dentro de la línea de producción. Estos empleados polivalentes proporcionan mayor versatilidad para lograr una planificación que se ajuste lo más posible a las necesidades de cada línea, pero suponen una complejidad añadida.

A continuación pasamos a describir los condicionantes que vamos a emplear para la planificación de los turnos, que atienden por un lado a unas necesidades de personal mínimas y máximas por línea, y a los condicionantes legales impuestos por la legislación vigente y/o los convenios específicos. La ventaja del modelado que proponemos es que nos podemos adaptar fácilmente a otro tipo de planificaciones y desarrollar algoritmos *ad hoc* para cada problema y/o fábrica. El desarrollo de un algoritmo para “todo” en este contexto, que es precisamente lo que ofrecen las empresas con productos de gestión de personal, es sumamente complejo.

MATRIZ DE POLIVALENCIA

X	Puesto principal
A	Puesto alternativo

Puesto	Producto 1	Producto 2	Torero	Supervisor
EMPLEADO 1	X	0	0	0
EMPLEADO 2	0	X	0	0
EMPLEADO 3	0	X	A	0
EMPLEADO 4	X	0	0	0
EMPLEADO 5	A	X	0	0
EMPLEADO 6	A	X	0	0
EMPLEADO 7	X	0	A	0
EMPLEADO 8	0	X	0	0
EMPLEADO 9	0	X	0	0
EMPLEADO 10	X	0	0	0
EMPLEADO 11	0	X	0	0
EMPLEADO 12	0	X	0	0
EMPLEADO 13	X	0	0	0
EMPLEADO 14	0	X	0	0
EMPLEADO 15	0	X	0	0
EMPLEADO 16	X	0	A	0
EMPLEADO 17	0	X	0	0
EMPLEADO 18	0	X	0	0
EMPLEADO 19	X	0	0	0
EMPLEADO 20	0	X	0	0
EMPLEADO 21	0	X	0	0
EMPLEADO 22	X	0	0	0
EMPLEADO 23	0	X	0	0
EMPLEADO 24	0	X	0	0
EMPLEADO 25	X	0	0	0
EMPLEADO 26	0	X	0	0
EMPLEADO 27	0	X	0	0
EMPLEADO 28	X	0	0	0
EMPLEADO 29	0	X	0	0
EMPLEADO 30	0	X	0	0
EMPLEADO 31	X	0	A	0
EMPLEADO 32	0	X	0	0
EMPLEADO 33	0	X	0	0
EMPLEADO 34	X	0	0	0
EMPLEADO 35	0	X	0	0
EMPLEADO 36	X	0	0	0
EMPLEADO 37	X	0	A	0
EMPLEADO 38	0	X	0	0
EMPLEADO 39	0	X	0	0
EMPLEADO 40	0	X	0	0
EMPLEADO 41	A	X	0	0
EMPLEADO 42	0	X	0	0
EMPLEADO 43	0	A	X	0
EMPLEADO 44	0	0	X	0
EMPLEADO 45	0	0	X	0
EMPLEADO 46	0	0	X	0
EMPLEADO 47	0	0	0	X
EMPLEADO 48	0	0	0	X
EMPLEADO 49	0	0	0	X
EMPLEADO 50	0	0	0	X
EMPLEADO 51	0	0	0	X
EMPLEADO 52	0	0	0	X
EMPLEADO 53	0	0	0	X

Figura 1: Matriz con la información de las polivalencias de los empleados.

Condicionantes de la planificación

Vamos a asumir que los requerimientos que han de cumplir la planificación y asignación de tareas son los siguientes:

1. **Alcance de la planificación:** Se desea hacer una planificación anual completa.
2. **Horas al año:** Todos los trabajadores deben cumplir con una planificación de 1952 horas anuales.
3. **Vacaciones:** Los días de vacaciones son un dato en el modelado y ya están registradas para todos los trabajadores.
4. **Festivos:** Los días festivos no se planifican porque no trabajan en festivos, y cuando lo hacen se registran como horas extra. Estos días no cuentan como descansos.
5. **Días de Reserva:** Hay unos días pre-establecidos que ni se asignan, ni se computan como días trabajados. Se reservan para que los trabajadores sepan que esos días, según la necesidad de producción, podrían ser llamados a hacer horas extra. Los días de reserva sí cuentan como descanso y puede haber cambio de turnos tras esos días.
6. **Especialidades:** Como comentamos previamente, algunos trabajadores tienen polivalencias y pueden hacer turnos en otra localización diferente a la que tienen por defecto, que constituyen puestos alternativos, tal y como se muestra en la Figura 1. Estas polivalencias se toman en cuenta para la planificación para tratar de asignar la tarea preferente y en su defecto la alternativa en caso de que sea necesario por las necesidades del servicio.
7. **Demandas por localización y especialidad:** Para cada una de las localizaciones o tipos de tareas y para cada turno, tienen que tener un mínimo y un máximo de trabajadores para cubrir las necesidades diarias de producción. Los límites a considerar son los mostrados en la Tabla 1, excepto para las semanas de la 28 a la 31 de 2020 en las que la demanda mínima se reduce a la mitad y nunca puede haber menos de un trabajador por línea, y por lo tanto los mínimos se corresponden con 3 y 1 para esas fechas en los productos 1 y 2, respectivamente.

Localización	Turnos	Mínimo de trabajadores/ Turno	Máximo de trabajadores/Turno
Producto 1	M T N	6	9
Producto 2	M T N	2	3
Torero	M T N	1	1
Envases	M T N	1	1
Supervisor	M T N	1	2

Tabla 1: Matriz con las restricciones de personal por turno y localización.

8. **No trabajar más de 28 fines de semana al año:** Los trabajadores no deben tener más de 28 fines de semana planificados en el año. Para administrarlos bien siempre deben estar planificados los dos días del fin de semana, es decir, si hay un turno, por ejemplo, el sábado también debe haber turno el domingo.

9. **Fines de semana continuos de trabajo:** No deben trabajar más de 3 fines de semana continuos.

10. **Turnos posibles:** La fábrica produce las 24 horas del día, por ese motivo hay 3 turnos de 8 horas, denominados mañanas (M), tardes (T) y noches(N), y no se puede planificar dos turnos en el mismo día para el mismo trabajador. Estos turnos durante los fines de semana se denominan como FM, FT y FN.

    Definición 1 (Secuencia). *Se define como una secuencia al conjunto de turnos entre días libres, festivos, o días reservados.* ∎

11. **Secuencia máxima:** Una secuencia no puede tener más de 10 turnos seguidos.

12. **Descansos:** Los trabajadores han de tener al menos 2 días de descanso continuos entre secuencias. Ej. M, M, M, M, M, L, L, T, T, T, T, T, T, T, T, T, L, L, L.

13. **Secuencias de un mismo turno:** No debe existir mezcla de turnos en una misma secuencia. Por ejemplo, la siguiente secuencia es incorrecta: M, M, N, N, T, L, L, T, T, T, T, N. Lo correcto sería, por ejemplo: M, M, M, M, M, L, L, T, T, T, T, T, T, T, T, T, L, L, L. Sí se pueden combinar en la misma secuencia el mismo turno entre semana y el fin de semana.

14. Restricciones de conciliación familiar: Algunos trabajadores tienen sus singularidades en la planificación:

    - Hay limitaciones específicas para algunos trabajadores que no pueden hacer turnos concretos, tal y como se muestra en la Figura 2
    - El empleado 2 y el empleado 3 descansan el mismo día.
    - El empleado 30 y el 41 no coinciden nunca en el mismo turno.
    - El empleado 33 y el 39 no coinciden en el mismo turno, y si 33 hace noches el 39 sólo puede hacer tardes.
    - El empleado 38 y el 42 no coinciden nunca en el mismo turno, y además ninguno de los dos hace noches.

15. **Turnos semanales de envasado:** Los trabajadores de la sección de envasado tiene turnos preestablecidos semanales de acuerdo con la información de la Tabla 2.

Modelado y solución

Hemos desarrollado dos modelos diferentes:

TURNOS DE CADA EMPLEADO

	Trabajador \ Puesto	M	T	N	FM	FT	FN
1	EMPLEADO 1	1	1	1	1	1	1
2	EMPLEADO 2	1	1	1	1	1	1
3	EMPLEADO 3	1	1	1	1	1	1
4	EMPLEADO 4	1	1	1	1	1	1
5	EMPLEADO 5	1	1	1	1	1	1
6	EMPLEADO 6	1	1	1	1	1	1
7	EMPLEADO 7	1	1	1	1	1	1
8	EMPLEADO 8	1	1	1	1	1	1
9	EMPLEADO 9	1	1	1	1	1	1
10	EMPLEADO 10	0	1	1	0	1	1
11	EMPLEADO 11	1	1	1	1	1	1
12	EMPLEADO 12	1	1	1	1	1	1
13	EMPLEADO 13	1	1	1	1	1	1
14	EMPLEADO 14	1	1	1	1	1	1
15	EMPLEADO 15	1	1	1	1	1	1
16	EMPLEADO 16	1	1	1	1	1	1
17	EMPLEADO 17	1	1	1	1	1	1
18	EMPLEADO 18	1	1	1	1	1	1
19	EMPLEADO 19	1	1	1	1	1	1
20	EMPLEADO 20	1	1	1	1	1	1
21	EMPLEADO 21	1	1	1	1	1	1
22	EMPLEADO 22	1	1	1	1	1	1
23	EMPLEADO 23	1	1	1	1	1	1
24	EMPLEADO 24	1	1	1	1	1	1
25	EMPLEADO 25	1	1	1	1	1	1
26	EMPLEADO 26	1	1	1	1	1	1
27	EMPLEADO 27	1	1	1	1	1	1
28	EMPLEADO 28	1	1	1	1	1	1
29	EMPLEADO 29	1	1	1	1	1	1
30	EMPLEADO 30	1	1	1	1	1	1
31	EMPLEADO 31	1	1	1	1	1	1
32	EMPLEADO 32	1	1	1	1	1	1
33	EMPLEADO 33	1	1	1	1	1	1
34	EMPLEADO 34	1	1	1	1	1	1
35	EMPLEADO 35	1	1	1	0	0	0
36	EMPLEADO 36	1	1	1	1	1	1
37	EMPLEADO 37	1	1	1	0	0	0
38	EMPLEADO 38	1	1	0	1	1	0
39	EMPLEADO 39	1	1	0	1	1	0
40	EMPLEADO 40	1	0	0	0	0	0
41	EMPLEADO 41	1	1	0	1	1	0
42	EMPLEADO 42	1	1	0	1	1	0
43	EMPLEADO 43	1	1	1	1	1	1
44	EMPLEADO 44	1	1	1	1	1	1
45	EMPLEADO 45	1	1	1	1	1	1
46	EMPLEADO 46	1	1	1	1	1	1
47	EMPLEADO 47	1	1	1	0	0	0
48	EMPLEADO 48	1	0	0	1	1	1
49	EMPLEADO 49	1	1	1	1	1	1
50	EMPLEADO 50	1	1	1	1	1	1
51	EMPLEADO 51	1	1	1	1	1	1
52	EMPLEADO 52	1	1	1	1	1	1
53	EMPLEADO 53	1	1	1	1	1	1

Figura 2: Matriz con los posibles turnos que puede hacer cada empleado para satisfacer las restricciones de conciliación laboral.

1. Uno que se puede emplear de forma independiente para supervisores por un lado, y producto 1, producto 2, y toro por otro. Nótese que no hay polivalencias que afecten a los supervisores.

2. El segundo para la sección de envasado ya que la casuística de turnos es dife-

		LUNES			MARTES			MIERCOLES			JUEVES			VIERNES			SABADO			DOMINGO		
	Turno / Trabajador	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N
1	Turno 1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Turno 2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
3	Turno 3	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0

Tabla 2: Matriz con los posibles turnos semanales de envasado.

rente y no se ven afectados tampoco por las polivalencias.

Ambos modelos constituyen modelos de programación lineal entera-mixta, que se han resuelto mediante estrategias de optimización por descomposición y "solvers" específicos para la resolución de este tipo de problemas. No vamos a describir de forma precisa los detalles del modelado, únicamente diremos que la función objetivo trata de maximizar la ocupación mínima anual del personal para que alcancen todos el valor de 1952 horas, y además tratar de que las restricciones de personal mínimo por línea y turno definidas en la condición 7 se incumplan en el menor número de turnos posible. Nótese que incumplir esta restricción implica que hay déficit de personal que habría que cubrir con personal externo u horas extras. A continuación vamos a describir los resultados obtenidos en cada caso.

Planificación de envasado

La planificación de envasado para todo el 2020 está disponible en el fichero ***ejemploEnvases.xlsx***, en el que está disponible el turno asignado para cada empleado cada día, tal y como se muestra en la tabla 3 para las 5 primeras semanas del año. Del resultado obtenido caben resaltar las siguientes particularidades:

	Semana 1					Semana 2							Semana 3							Semana 4							Semana 5						
	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1	25-1	26-1	27-1	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2	2-2
CODIGO EMPLEADO	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
Festivos	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EMPLEADO 54	F	L	L	M	T	F	N	T	L	L	M	M	M	N	T	T	M	L	L	N	N	T	L	L	T	T	T	T	N	L	L	T	T
EMPLEADO 55	F	M	M	L	L	F	L	L	L	L	L	L	N	M	M	M	T	T	M	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M	T	M	L	L
EMPLEADO 56	F	L	L	L	L	F	T	N	M	M	T	T	T	T	N	L	L	M	T	M	M	N	M	T	M	M	L	L	L	L	L	L	L
EMPLEADO 57	F	T	T	T	M	F	M	M	T	T	L	L	L	L	L	L	L	L	L	T	T	M	T	M	L	L	N	N	T	M	T	M	M

Tabla 3: Asignación óptima de turnos de envasado

1. Las limitaciones de la planificación semanal sólo permiten asignar 1568, 1544, 1544 y 1544 horas a cada empleado, lejos de las 1752. Nótese que este resultado es razonable porque sólo puede haber un empleado por turno, y por lo tanto no pueden trabajar más que tres empleados a la semana. Es decir, que de media descansan una semana cada 4 semanas. Nótese que eso supone que aproximadamente trabajen $52\frac{3}{4} = 39$ semanas, que multiplicado por 40 horas/semanales resulta un total de 1560 horas, aproximadamente lo asignado a cada empleado.

2. No se llega a completar el máximo de 28 fines de semana trabajados, alcanzando 26, 19, 25 y 21 fines de semana respectivamente.

En la tabla 4 se muestra el cuadro resumen de la asignación de turnos para la sección de *envasado*. Como puede comprobarse el número potencial de días que se les puede asignar a los 4 empleados dista de los 219 que se han impuesto como límite y se debe principalmente a las restricciones impuestas, que se cumplen para la planificación generada, incluyendo que no pueden trabajar más de 3 fines de semanas seguidos.

Resumen de Asignación de turnos por empleado

NOMBRES	CODIGO EMPLEADO	Festivos	Mañanas	Tardes	Noches	FM	FT	FN	Total días trabajados	Total fines de semana	Vacaciones	Reservados	Libres
1	EMPLEADO 54	14	55	49	41	22	29	0	196	25.5	30	10	116
2	EMPLEADO 55	14	65	49	41	22	16	0	193	19	28	10	121
3	EMPLEADO 56	14	64	53	26	27	23	0	193	25	28	10	121
4	EMPLEADO 57	14	51	74	27	18	23	0	193	20.5	28	10	121
	Maximos permitidos								225	28			

Tabla 4: Resumen de la asignación de turnos para envasado.

Obviamente esto indica que el procedimiento de asignación de la sección de envasado no es adecuado, y se podría plantear aumentar el máximo de trabajadores por turno a 2, o incluso formar a estos trabajadores para que en su semana de descanso sirvan de apoyo al resto de líneas de trabajo.

Planificación de supervisores

La planificación de supervisores para todo el 2020 está disponible en el fichero ***ejemploSupervisor.xlsx***. Del resultado obtenido cabe resaltar que en este caso se aprovecha al máximo la capacidad de cada supervisor, asignándose a cada uno el máximo de 1752 horas (219 días).

En la tabla 5 se muestra el cuadro resumen de la asignación de turnos para la sección de *supervisión*. Como puede comprobarse el número de días que se les puede asignar a los empleados es el máximo de 219 en todos los casos, y sólo dos de ellos llegan al límite de 28 fines de semana trabajados impuesto como límite.

Resumen de Asignación de turnos por empleado

NOMBRES	CODIGO EMPLEADO	Festivos	Mañanas	Tardes	Noches	FM	FT	FN	Total días trabajados	Total fines de semana	Vacaciones	Reservados	Libres
1	EMPLEADO 47	14	57	86	76	0	0	0	219	0	30	10	93
2	EMPLEADO 48	14	166	0	0	45	4	4	219	26.5	30	10	93
3	EMPLEADO 49	14	45	62	60	14	14	24	219	26	28	10	95
4	EMPLEADO 50	14	44	60	59	14	18	24	219	28	28	10	95
5	EMPLEADO 51	14	46	58	60	10	23	22	219	27.5	30	10	93
6	EMPLEADO 52	14	42	60	67	12	20	18	219	25	28	10	95
7	EMPLEADO 53	14	51	54	61	18	22	13	219	26.5	30	10	93
	Maximos permitidos								225	28			

Tabla 5: Resumen de la asignación de turnos para los supervisores.

En este caso se cumplen todas las restricciones impuestas a excepción de la condición de demandas por localización y especialidad, que se incumple porque del 30 de julio al 4 de agosto no es posible llegar al mínimo de 1 supervisor por turno en 6 de los turnos. La explicación es clara, en esa época sólo hay tres supervisores que no estén de vacaciones y deberían trabajar más de 10 días consecutivos para cubrir ellos esos turnos, incumpliendo la condición de la secuencia máxima. Por ese motivo resulta que hay una infactibilidad o un déficit de supervisores que habría que cubrir de otra manera, tal y como se muestra en la table 6.

	30			Semana 31							Semana 32							semana 3			
	24-7	25-7	26-7	27-7	28-7	29-7	30-7	31-7	1-8	2-8	3-8	4-8	5-8	6-8	7-8	8-8	9-8	10-8	11-8	12-8	13-8
NOMBRES	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	M	M	M	M
2	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	L1	M	M	M
3	V	V	V	M	M	M	M	M	FM	FM	M	L	L1	M	M	FM	FM	L	L1	N	N
4	V	V	V	N	N	L	L1	N	FN	FN	N	N	N	N	N	FN	FN	L	L1	T	T
5	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	T	T	L	L1
6	V	V	V	T	T	T	T	T	FT	FT	L	L1	T	T	T	FT	FT	L	L1	T	T
7	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	N	N	L	L1
	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226

Tabla 6: Detalle de la infactibilidad de satisfacción del número mínimo de supervisores por turno debido a las vacaciones.

Planificación de producto 1, producto 2 y toros

En este caso los trabajadores de las líneas de producto 1, producto 2, y toros no se pueden separar por línea porque hay trabajadores que pueden trabajar en dos líneas debido a las polivalencias. Sin embargo, sí hay una preferencia de línea para cada empleado. Por ese motivo vamos a hacer una primera planificación por líneas independientes para tener una idea de si la plantilla disponible es suficiente para cumplir las necesidades del servicio cumpliendo con las restricciones.

1. **Planificación de producto 1:** Si efectuamos la planificación de turnos de la línea de producto 1 de forma independiente se obtienen los resultados mostrados en la tabla 7. Como puede comprobarse la línea tiene exceso de personal, se rellenan los fines de semana anuales al máximo posible y además no hay ningún turno en el que no se llegue al mínimo de empleados requeridos, sin embargo no se asignan todos los turnos posibles en el año. Y eso que si analizamos los turnos de mañana, tarde y noche resulta que en el 91 % de los turnos de mañana se tiene el máximo de 3 empleados, en el 89 % de los turnos de tarde se tiene el máximo de 3 empleados, y finalmente, en el 93 % de los turnos de noche se tiene el máximo de 3 empleados. Eso deja mucha margen para ceder empleados a otras líneas en caso de necesidad, pero sólo entre semana.

2. **Planificación de producto 2:** Si efectuamos la planificación de turnos de la línea de producto 2 de forma independiente se obtienen los resultados mostrados en la tabla 8. En este caso ocurre lo contrario que en la línea de producto 1. Todos los empleados tienen asignados el máximo número de turnos

Resumen de Asignación de turnos por empleado													
NOMBRES	CODIGO EMPLEADO	Festivos	Mañanas	Tardes	Noches	FM	FT	FN	Total días trabajados	Total fines de semana	Vacaciones	Reservados	Libres
1	EMPLEADO 1	14	30	33	84	16	12	28	203	28	29	10	110
2	EMPLEADO 4	14	41	50	71	14	22	20	218	28	30	10	94
3	EMPLEADO 7	14	34	36	65	10	16	30	191	28	30	10	121
4	EMPLEADO 10	14	0	137	14	0	48	8	207	28	28	10	107
5	EMPLEADO 13	14	35	57	51	12	20	24	199	28	30	10	113
6	EMPLEADO 16	14	23	58	58	12	26	17	194	27.5	28	10	120
7	EMPLEADO 19	14	67	48	27	28	15	12	197	27.5	28	10	117
8	EMPLEADO 22	14	72	33	52	34	4	18	213	28	30	10	99
9	EMPLEADO 25	14	52	42	56	24	14	17	205	27.5	28	10	109
10	EMPLEADO 28	14	77	28	40	19	12	24	200	27.5	30	10	112
11	EMPLEADO 31	14	48	63	40	19	18	18	206	27.5	30	10	106
12	EMPLEADO 34	14	54	32	68	27	8	20	209	27.5	30	10	103
13	EMPLEADO 36	14	75	36	32	26	21	8	198	27.5	28	10	116
14	EMPLEADO 37	14	88	33	40	0	0	0	161	0	28	10	153
	Maximos permitidos								225	28			

Tabla 7: Resumen de la asignación de turnos para los trabajadores de la línea de producto 1.

(219) y de fines de semana (28) anuales trabajados, sin embargo aún quedan 129 turnos sin cubrir, 128 de ellos durante los fines de semana. Si analizamos los turnos de mañana, tarde y noche resulta que el 52 %, 59 % y 62 % de los turnos se cubren con el mínimo de 6 empleados o menos, respectivamente. Claramente esta línea necesita del apoyo de las otras líneas para cubrir los requerimientos mínimos.

3. **Planificación de toros:** Si efectuamos la planificación de turnos de la línea de toros de forma independiente se obtienen los resultados mostrados en la tabla 9. En este caso ocurre algo análogo a la línea de producto 2. Todos los empleados tienen asignados casi el máximo número de turnos (218-219) y de fines de semana (28) anuales trabajados, sin embargo aún quedan 104 turnos sin cubrir, 54 entre semana y 50 los fines de semana. Esta línea también necesita del apoyo de las otras líneas para cubrir los requerimientos mínimos.

Resumen de Asignación de turnos por empleado

NOMBRES	CODIGO EMPLEADO	Festivos	Mañanas	Tardes	Noches	FM	FT	FN	Total días trabajados	Total fines de semana	Vacaciones	Reservados	Libres
1	EMPLEADO 2	14	53	52	58	24	12	20	219	28	30	10	93
2	EMPLEADO 3	14	46	68	49	14	20	22	219	28	30	10	93
3	EMPLEADO 5	14	34	71	58	14	26	16	219	28	30	10	93
4	EMPLEADO 6	14	75	41	47	30	14	12	219	28	30	10	93
5	EMPLEADO 8	14	78	51	34	26	16	14	219	28	28	10	95
6	EMPLEADO 9	14	63	53	47	24	16	16	219	28	28	10	95
7	EMPLEADO 11	14	50	48	65	22	20	14	219	28	29	10	94
8	EMPLEADO 12	14	27	76	60	8	22	26	219	28	30	10	93
9	EMPLEADO 14	14	69	47	47	26	14	16	219	28	30	10	93
10	EMPLEADO 15	14	55	52	56	18	22	16	219	28	28	10	95
11	EMPLEADO 17	14	45	61	57	18	14	24	219	28	30	10	93
12	EMPLEADO 18	14	50	49	64	22	14	20	219	28	30	10	93
13	EMPLEADO 20	14	36	53	74	12	18	26	219	28	30	10	93
14	EMPLEADO 21	14	55	41	67	16	18	22	219	28	28	10	95
15	EMPLEADO 23	14	45	55	63	12	18	26	219	28	28	10	95
16	EMPLEADO 24	14	36	48	79	12	16	28	219	28	30	10	93
17	EMPLEADO 26	14	80	45	38	30	14	12	219	28	28	10	95
18	EMPLEADO 27	14	41	59	63	14	22	20	219	28	30	10	93
19	EMPLEADO 29	14	55	47	61	18	16	22	219	28	30	10	93
20	EMPLEADO 30	14	16	26	121	10	6	40	219	28	30	10	93
21	EMPLEADO 32	14	66	27	70	22	14	20	219	28	28	10	95
22	EMPLEADO 33	14	1	0	162	0	0	56	219	28	30	10	93
23	EMPLEADO 35	14	61	62	96	0	0	0	219	0	30	10	93
24	EMPLEADO 38	14	68	95	0	30	26	0	219	28	28	10	95
25	EMPLEADO 39	14	1	162	0	0	56	0	219	28	30	10	93
26	EMPLEADO 40	14	219	0	0	0	0	0	219	0	28	10	95
27	EMPLEADO 41	14	82	81	0	28	28	0	219	28	30	10	93
28	EMPLEADO 42	14	93	70	0	28	28	0	219	28	28	10	95
	Maximos permitidos								225	28			

Tabla 8: Resumen de la asignación de turnos para los trabajadores de la línea de producto 2.

Resumen de Asignación de turnos por empleado

NOMBRES	CODIGO EMPLEADO	Festivos	Mañanas	Tardes	Noches	FM	FT	FN	Total días trabajados	Total fines de semana	Vacaciones	Reservados	Libres
1	EMPLEADO 43	14	51	55	57	18	20	18	219	28	30	10	93
2	EMPLEADO 44	14	62	63	37	28	16	12	218	28	28	10	96
3	EMPLEADO 45	14	47	54	63	14	12	29	219	27.5	30	10	93
4	EMPLEADO 46	14	55	58	49	18	22	16	218	28	28	10	96
	Maximos permitidos								225	28			

Tabla 9: Resumen de la asignación de turnos para los trabajadores de la línea de toros.

El resumen de las tres planificaciones es que quedan 128 turnos de fin de semana por cubrir en la línea de producto 2 y 1 entre semana, y 104 turnos en la línea de toros. En total hay un déficit de 232 turnos si se planifica de forma independiente y sin tener en cuenta las polivalencias. A continuación trataremos de reducir esos déficits haciendo una **planificación conjunta**, cuyos resultados están en el fichero *ejemploSinEnvases.xlsx*. Si efectuamos la planificación de turnos de las tres líneas de forma simultánea se obtienen los resultados mostrados en la tabla 10. En este caso se llegan a las siguientes conclusiones:

1. Todos los empleados están al máximo de 28 fines de semana al año. Nótese que hay ciertos empleados que tiene 27.5 turnos de fin de semana, esta circunstancia se debe a que hay algún fin de semana con festivos en el que sólo trabajan uno de los dos días.

2. Todos los empleados de la línea de producto 2, la más saturada, están al máximo de 219 días.

3. De los empleados de las líneas de producto 1 y toros, ninguno llega al máximo de 219 días, siendo el mínimo de turnos asignados de 213. Esos turnos no asignados se podrían emplear para los días reservados.

4. Quedan 49 turnos sin cubrir en la línea de producto 2 y siempre en fin de semana. Hemos logrado bajar de los 233 turnos sin cubrir de forma individual a los 49 considerando polivalencias. No hay turnos de fin de semana suficientes para cubrir las necesidades mínimas de la línea de producto 2. Del resto de líneas están las necesidades mínimas siempre cubiertas.

5. Además, se cumplen a la perfección las restricciones de conciliación familiar y personales, tal y como se muestra en la tabla 11 para las dos primeras semanas y para las restricciones más complejas.

Comparación con la planificación real

Este problema se ha solucionado en una compañía con facturación anual de más de 200 millones de € en 2019 y con una plantilla en una de sus fábricas de más de 120 trabajadores donde hicimos el análisis. Los beneficios obtenidos en la planificación de los cuadrantes de turnos son:

1. Reducción del 65 % de los turnos que no cumplían con las restricciones de mínimo y número máximo de trabajadores por turno en las líneas de producción, toreros y los supervisores.

2. Mejora de la productividad al asignar los recursos teniendo en cuenta su expertise en las diferentes líneas de producción.

3. Hay en la planta ciertos trabajadores que no pueden realizar turnos por temas de conciliación familiar (no pueden hacer noches el mismo día que su pareja o si hacen fines de semana los hacen juntos). En la planificación del año 2020 hecha por la compañía había más de 300 conflictos en relación a esa conciliación que se han eliminado completamente con esta planificación.

Resumen de Asignación de turnos por empleado

NOMBRES	CODIGO EMPLEADO	Festivos	Mañanas	Tardes	Noches	FM	FT	FN	Total días trabajados	Total fines de semana	Vacaciones	Reservados	Libres	Producto 1	Producto 2	Torero
1	EMPLEADO 1	14	43	54	60	20	22	14	213	28	29	10	100	X	0	0
2	EMPLEADO 2	14	30	44	89	16	14	26	219	28	30	10	93	0	X	0
3	EMPLEADO 3	14	40	68	55	18	22	16	219	28	30	10	93	0	X	A
4	EMPLEADO 4	14	56	29	73	16	16	24	214	28	30	10	98	X	0	0
5	EMPLEADO 5	14	60	37	66	12	14	30	219	28	30	10	93	A	X	0
6	EMPLEADO 6	14	17	13	133	8	6	42	219	28	30	10	93	A	X	0
7	EMPLEADO 7	14	57	37	64	25	10	20	213	27.5	30	10	99	X	0	A
8	EMPLEADO 8	14	30	46	87	10	20	26	219	28	28	10	95	0	X	0
9	EMPLEADO 9	14	47	62	54	22	18	16	219	28	28	10	95	0	X	0
10	EMPLEADO 10	14	0	107	50	0	36	20	213	28	28	10	101	X	0	0
11	EMPLEADO 11	14	31	51	81	14	14	28	219	28	29	10	94	0	X	0
12	EMPLEADO 12	14	33	37	93	14	8	34	219	28	30	10	93	0	X	0
13	EMPLEADO 13	14	39	44	76	12	17	26	214	27.5	30	10	98	X	0	0
14	EMPLEADO 14	14	79	14	70	30	6	20	219	28	30	10	93	0	X	0
15	EMPLEADO 15	14	59	72	32	26	22	8	219	28	28	10	95	0	X	0
16	EMPLEADO 16	14	45	59	54	20	14	21	213	27.5	28	10	101	X	0	A
17	EMPLEADO 17	14	53	87	23	18	28	10	219	28	30	10	93	0	X	0
18	EMPLEADO 18	14	56	29	78	18	4	34	219	28	30	10	93	0	X	0
19	EMPLEADO 19	14	33	60	64	14	18	24	213	28	28	10	101	X	0	0
20	EMPLEADO 20	14	46	61	56	18	18	20	219	28	30	10	93	0	X	0
21	EMPLEADO 21	14	66	55	42	26	18	12	219	28	28	10	95	0	X	0
22	EMPLEADO 22	14	30	54	75	11	10	34	214	27.5	30	10	98	X	0	0
23	EMPLEADO 23	14	48	55	60	20	20	16	219	28	28	10	95	0	X	0
24	EMPLEADO 24	14	56	24	83	16	12	28	219	28	30	10	93	0	X	0
25	EMPLEADO 25	14	69	43	45	20	16	20	213	28	28	10	101	X	0	0
26	EMPLEADO 26	14	50	65	48	16	20	20	219	28	28	10	95	0	X	0
27	EMPLEADO 27	14	51	65	47	18	24	14	219	28	30	10	93	0	X	0
28	EMPLEADO 28	14	58	62	38	20	19	16	213	27.5	30	10	99	X	0	0
29	EMPLEADO 29	14	40	79	44	10	28	18	219	28	30	10	93	0	X	0
30	EMPLEADO 30	14	16	112	35	6	38	12	219	28	30	10	93	0	X	0
31	EMPLEADO 31	14	90	51	17	27	24	4	213	27.5	30	10	99	X	0	A
32	EMPLEADO 32	14	52	39	72	18	14	24	219	28	28	10	95	0	X	0
33	EMPLEADO 33	14	5	57	101	2	22	32	219	28	30	10	93	0	X	0
34	EMPLEADO 34	14	86	29	43	34	10	11	213	27.5	30	10	99	X	0	0
35	EMPLEADO 35	14	36	77	106	0	0	0	219	0	30	10	93	0	X	0
36	EMPLEADO 36	14	75	62	21	24	28	3	213	27.5	28	10	101	X	0	0
37	EMPLEADO 37	14	58	70	85	0	0	0	213	0	28	10	101	X	0	A
38	EMPLEADO 38	14	79	84	0	32	24	0	219	28	28	10	95	0	X	0
39	EMPLEADO 39	14	62	101	0	24	32	0	219	28	30	10	93	0	X	0
40	EMPLEADO 40	14	219	0	0	0	0	0	219	0	28	10	95	0	X	0
41	EMPLEADO 41	14	128	35	0	42	14	0	219	28	30	10	93	A	X	0
42	EMPLEADO 42	14	87	76	0	32	24	0	219	28	28	10	95	0	X	0
43	EMPLEADO 43	14	101	35	27	20	18	18	219	28	30	10	93	0	A	X
44	EMPLEADO 44	14	56	38	64	16	12	28	214	28	28	10	100	0	0	X
45	EMPLEADO 45	14	46	42	70	16	23	16	213	27.5	30	10	99	0	0	X
46	EMPLEADO 46	14	55	76	27	16	22	18	214	28	28	10	100	0	0	X
	Maximos permitidos								225	28						

Tabla 10: Resumen de la asignación de turnos para los trabajadores de las líneas de producto 1, producto 2 y toros.

4. El 50 % de los trabajadores tienen planificados más de los 28 fines de semana que tienen acordados por convenio, con nuestra planificación ningún trabajador realiza más de esos 28 fines de semana acordados.

5. Además hay tres operarios y un supervisor que sobrepasan el número máximo de días permitidos de 225 mientras que otros tienen asignados menos de 210. En nuestro caso todos los trabajadores realizan 219. Aumentar la utilización de los trabajadores nos ha permitido reducir el número de horas extras y de las contrataciones de operarios a través de empresas de trabajo temporal para suplir las necesidades no cubiertas por personal fijo.

6. Algunos trabajadores además tenían otras restricciones como no trabajar fines de semana o no trabajar noches o incluso preferencias algo imposible a tener en cuenta de manera manual como se hacía en la compañía. En la planificación realizada por la compañía se incumplía en 275 turnos que nosotros

	Semana 1					Semana 2								
	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1
CODIGO EMPLEADO	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M
Festivos	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
EMPLEADO 2	F	N	L	L1	L1	F	N	N	N	N	FN	FN	N	N
EMPLEADO 3	F	M	L	L1	L1	F	N	N	N	N	FN	FN	N	N
Restricciones	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Librar mismo día			Ok	Ok	Ok									

	Semana 1					Semana 2								
	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1
CODIGO EMPLEADO	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M
Festivos	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
EMPLEADO 42	F	T	T	FT	FT	F	M	M	M	M	L	L1	T	T
EMPLEADO 38	F	M	M	FM	FM	F	T	T	L	L1	FM	FM	M	M
Restricciones	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Distinto turno		OK	OK	OK	OK		OK	OK	OK	OK			OK	OK
Antonia no hace noches	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Patricia no hace noches	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

	Semana 1					Semana 2								
	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-
CODIGO EMPLEADO	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M
Festivos	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
EMPLEADO 30	F	M	L	L1	L1	F	M	L	L1	T	FT	FT	T	T
EMPLEADO 41	F	T	T	FT	FT	F	T	T	L	L1	FM	FM	M	M
Restricciones	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
No mismo turno		OK					OK			OK	OK	OK	OK	OK
Ella no hace noche	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

	Semana 1					Semana 2								
	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1
CODIGO EMPLEADO	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M
Festivos	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
EMPLEADO 33	F	T	T	FT	FT	F	M	L	L1	T	L	L1	T	T
EMPLEADO 39	F	L1	M	L	L1	F	L1	M	M	M	FM	FM	L	L1
Restricciones	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Distinto turno		OK	OK	OK	OK		OK			OK			OK	OK
Ella no hace noches	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
El noches/ella tardes														

Tabla 11: Ejemplo de las dos primeras semanas de planificación de los empleados con restricciones de conciliación familiar.

hemos reducido a 0 cumpliéndose todas esas restricciones.

Conclusiones

En definitiva, con los modelos basados en programación matemática lineal entera-mixta somos capaces de generar planificaciones que cumplan todos los requisitos exigidos sacando el mayor aprovechamiento de la plantilla. Pero eso no es todo, el mismo modelo permitiría además:

1. Hacer análisis más detallados sobre la adecuación de la plantilla en términos de dimensionamiento para encontrar el número óptimo de trabajadores.
2. Diseñar una estrategia de formación que aumente la polivalencia maximizando el aprovechamiento de la plantilla.
3. Mejora del aprovechamiento de los recursos propios y reducción del número de horas pagadas a empresas de ETT's para cubrir las necesidades de la empresa.

4. Anticipación de problemas por falta de personal gracias a poder realizar una planificación anual completa que sería imposible hacer con algoritmos utilizados hoy en día por las compañías del sector.

5. Reducción de posibles incumplimientos legales gracias a que el algoritmo está diseñado para que respeten todas las condiciones tanto legales como del convenio específico.

En conclusión y como ya hemos dicho con anterioridad, automatizar el procedimiento de creación de turnos nos permite reducir las fricciones con los trabajadores al cumplir tanto con la legislación como con el convenio, reducir al máximo el tiempo que la persona encargada de hacer los turnos puede dedicar su tiempo a tareas de mayor valor, en este caso se calculó que la persona dedicada a hacer turnos dedicaba entre un 10 % y un 15 % de su tiempo anual a realizar este cuadrante más el tiempo dedicado en reajustarlo por algún contratiempo.

En este caso y por necesidades de cliente ellos buscaban realizar una planificación anual pero si el procedimiento tuviera que tener otra granularidad temporal no sería ningún problema y se seguirían cumpliendo todas las restricciones como horas trabajadas en el año, días de vacaciones, turnos realizados, restricciones por conciliación...y todo en un proceso completamente automatizado.

Bibliografía

[1] A. J. Conejo, E. Castillo, R. Mínguez, and R. García-Bertrand. *Decomposition techniques in mathematical programming. Engineering and science applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 2006.

ESCISSION

STOCHASTIC OPTIMIZATION

aTurnos

escission.com