



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ADE

Facultad de Administración
y Dirección de Empresas /UPV

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Facultad de Administración y Dirección de Empresas

OPTIMIZACIÓN DE UN ESPACIO 2D BASÁNDOSE EN
EL CUTTING STOCK PROBLEM

Trabajo Fin de Grado

Grado en Administración y Dirección de Empresas

AUTOR/A: Tamarit Núñez, Pedro

Tutor/a: Villa Juliá, María Fulgencia

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen

A lo largo de este Trabajo de Fin de Grado se aborda la optimización del espacio en salones de eventos, aplicado para un caso real. La investigación surge de la necesidad de mejorar los métodos tradicionales y manuales de disposición del espacio, que a menudo resultan ser poco eficientes y un desafío operativo. En el proyecto se emplean técnicas de Investigación Operativa, y se basan las resoluciones en el 2D Cutting Stock Problem, para desarrollar un modelo matemático que optimiza y tiene en cuenta la estética en la disposición de las mesas en un salón de banquetes. Para ello, se debe de minimizar el espacio ocupado por las mesas, teniendo en cuenta requisitos estéticos y normativos. El modelo se implementa utilizando la herramienta Solver de Excel, complementada por Python para la representación gráfica. Los resultados demuestran mejoras significativas en la utilización del espacio y en la eficiencia operativa, así como conseguir preservar la estética, ofreciendo una herramienta práctica para los organizadores de eventos. Este proyecto también se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El trabajo futuro incluye propuestas del modelo para aplicaciones más amplias, como la organización de almacenes o la distribución de oficinas.

Resum

Al llarg d'aquest Treball de Final de Grau s'aborda l'optimització de l'espai en salons d'esdeveniments, aplicat a un cas real. La investigació apareix de la necessitat de millorar els mètodes tradicionals i manuals de disposició de l'espai, que a voltes resulten ser poc eficients i un desafiament operatiu. En el projecte es gasten tècniques d'Investigació Operativa, i les resolucions es basen en el 2D Cutting Stock Problem, per a desenvolupar un model matemàtic que optimitza i té en compte l'estètica en la disposició de les taules en un saló de banquets. Per a això, s'ha de minimitzar l'espai ocupat per les taules, tenint en compte requisits estètics i normatius. El model s'implementa utilitzant la ferramente Solver d'Excel, complementada per Python per a la representació gràfica. Els resultats demostren millores significatives en la utilització de l'espai i en l'eficiència operativa, així com aconseguir preservar l'estètica, oferint una ferramente pràctica per als organitzadors d'esdeveniments. Aquest projecte també s'alinea amb diversos Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS). El treball futur inclou propostes del model per a aplicacions més àmplies, com l'organització de magatzems o la distribució d'oficines.

Abstract

In this Final Degree Project, the optimization of space in event halls is addressed, solving it for a specific case. The research arises from the need to improve traditional and manual methods of space arrangement, which often prove to be inefficient and operationally challenging. The project employs Operational Research techniques, and the solutions are based on the 2D Cutting Stock Problem to develop a mathematical model that optimizes and takes aesthetics into account in the arrangement of tables in a banquet hall. The aim is to minimize the space occupied by tables while considering aesthetic and regulatory requirements. The model is implemented using Excel's Solver tool, complemented by Python for graphical representation. The results demonstrate significant improvements in space utilization and operational efficiency, as well as preserving aesthetics, offering a practical tool for event organizers. This project also aligns with several Sustainable Development Goals (SDGs). Future work includes proposals to apply the model to broader applications, such as warehouse organization or office layout.

Índice General

Capítulo 1	1
Introducción y Objetivos	1
1.1 Introducción	1
1.2 Motivación	2
1.3 Objetivos	3
1.4 Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	4
1.5 Estructura del documento.....	8
Capítulo 2	9
Marco Teórico	9
2.1 Crecimiento del sector de la restauración	9
2.2 Salón Campos	11
2.3 Normativa hostelera.....	12
2.4 Introducción a la Investigación Operativa	13
Capítulo 3	15
Descripción del problema	15
3.1 Definición del problema.....	15
3.2 Toma de decisiones	16
3.3 Parámetros, variables, función objetivo y restricciones.....	17
Capítulo 4	18
2D Cutting Stock Problem	18
4.1 Introducción	18
4.2 Definición del problema.....	18
Capítulo 5	21
Problema I. Determinar el número de mesas	21
5.1 Modelo I.....	21

5.1.1 Modelo matemático.....	21
5.2 Resolución Modelo I.....	23
5.2.1 Parámetros de entrada.....	23
5.2.2 Solución mediante Solver Modelo I.....	24
5.3 Modelo II.....	27
5.3.1 Modelo matemático.....	27
5.4 Resolución Modelo II.....	29
5.4.1 Parámetros de entrada y modificaciones.....	29
5.4.2 Solución mediante Solver Modelo II.....	30
Capítulo 6.....	34
Problema II. Distribución de las mesas.....	34
6.1 Heurísticas.....	34
6.2 Algoritmo para la Estrategia I.....	35
6.3 Representación gráfica Estrategia I.....	38
6.4 Algoritmo para la Estrategia II.....	39
6.5 Representación gráfica Estrategia II.....	40
Capítulo 7.....	42
Conclusiones y propuestas de mejora.....	42
7.1 Conclusiones.....	42
7.2 Posibles mejoras.....	43
Bibliografía.....	44
ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030.....	46
Anexo II. Códigos desarrollados.....	48
II.1 Código distribución optimizada.....	48
II.2 Código distribución estética.....	50

Índice de Figuras

Figura 1. Objetivo de Desarrollo Sostenible 8. Fuente: Naciones Unidas	5
Figura 2. Objetivo de Desarrollo Sostenible 9. Fuente: Naciones Unidas	5
Figura 3. Objetivo de Desarrollo Sostenible 11. Fuente: Naciones Unidas	6
Figura 4. Objetivo de Desarrollo Sostenible 12. Fuente: Naciones Unidas	6
Figura 5. Objetivo de Desarrollo Sostenible 17. Fuente: Naciones Unidas	7
Figura 6. Turistas Internacionales visitantes de España en 2019, 2020. Fuente: UN Tourism.....	9
Figura 7. Turistas Internacionales visitantes de España en 2019, 2020 y 2023. Fuente: UN Tourism	9
Figura 8. Gasto en restauración con tarjeta en 2023. Fuente: CaixaBank.....	10
Figura 9. Vista del salón principal de banquetes. Fuente: Salón Campos	12
Figura 10. Estructura del salón y de los tipos de mesas. Fuente: Elaboración propia.....	19
Figura 11. Círculo inscrito en un cuadrado. Fuente: ResearchGate	20
Figura 12. Representación de las distancias en restaurantes. Fuente: DIAZCARO	20
Figura 13. Solución en Excel mediante Solver del Modelo I. Fuente: Elaboración propia	25
Figura 14. Solución en Excel mediante Solver del Modelo I, 2. Fuente: Elaboración propia.....	25
Figura 15. Solución en Excel mediante Solver del Modelo I, 3. Fuente: Elaboración Propia.....	26
Figura 16. Solución en Excel mediante Solver del caso real I. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 17. Solución en Excel mediante Solver del caso real II. Fuente: Elaboración propia.....	32
Figura 18. Solución en Excel mediante Solver del caso real III. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 19. Diagrama de flujo para el código de la Estrategia I. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 20. Representación gráfica para la Estrategia I. Fuente: Elaboración propia	38
Figura 21. Representación gráfica para la Estrategia II. Fuente: Elaboración propia	40

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros para el Modelo I. Fuente: Elaboración propia	21
Tabla 2. Variables del Modelo I. Fuente: Elaboración propia	21
Tabla 3. Parámetros para el Modelo II. Fuente: Elaboración propia.....	27
Tabla 4. Variables del Modelo II. Fuente: Elaboración propia.....	27

Capítulo 1

Introducción y Objetivos

1.1 Introducción

El sector de la hostelería, donde se encuentra la organización de eventos y ceremonias, es una de las partes de la industria de servicios [1] que en las últimas décadas más crecimiento ha experimentado. Concretamente, los eventos personalizados y experiencias únicas han incrementado su demanda [2] tras el confinamiento provocado por el COVID-19. Además, la relevancia que tienen las redes sociales hoy en día también es un factor a tener en cuenta, ya que la gente tiende a realizar actividades para poder mostrarlo en su perfil y, muchas veces, una de esas actividades es la celebración de eventos.

Es esta creciente demanda lo que provoca una necesidad de mejora de la programación, planificación y optimización de este tipo de eventos. En concreto, la logística que implica la distribución de los espacios es un elemento crítico a la hora de ofrecer una eficiencia operativa, a la vez que una experiencia satisfactoria a los clientes. Es un desafío complejo, ya que influyen muchos factores.

El espacio en cualquier industria es un recurso finito, por lo que la forma en la que se distribuye y organiza es esencial para garantizar el cumplimiento de los objetivos de la forma más eficiente posible. Concretamente, en la hostelería, donde el espacio de los salones es uno de los recursos finitos, se debe de evaluar y decidir con criterio la distribución de las sillas y mesas que disfrutarán los comensales.

Y la disposición de estas mesas no se trata simplemente de un ejercicio de colocación de mobiliario. Dado que se involucran varios factores, como las restricciones físicas del propio local, la normativa hostelera o preferencias estéticas entre otros, se trata de un problema de optimización.

Actualmente, en el salón de ceremonias donde trabajo, esta distribución del espacio se realiza de forma manual. Concretamente, la encargada del salón entrega a los camareros una hoja donde se muestra mediante dibujos realizados a mano la distribución que deben de seguir las mesas para cada evento específico. El problema que surge en muchas ocasiones es que, o bien la distribución dibujada en el papel no se puede llevar a cabo en la realidad porque no cumple con las dimensiones del salón, o bien que las mesas con las que se pensaba abastecer el número de comensales no coinciden con las capacidades reales de éstas, tanto por falta como por exceso de asientos.

Es por ello por lo que nace la necesidad de abarcar este problema de una forma automatizada, realista y optimizada. En este contexto, la Investigación Operativa ofrece las herramientas y técnicas que permiten resolver este tipo de problemas de optimización. Además, como el espacio disponible se puede modelar como una superficie en dos dimensiones, se abordará el problema inspirándose en el “2D Cutting Stock Problem” para resolver este problema y de ese modo ofrecer al salón de ceremonias una herramienta que permita maximizar el espacio y automatiza uno de los procesos que se llevan a cabo.

1.2 Motivación

La motivación de abordar un problema desde el punto de vista de la optimización surge por varios motivos. El primero de ellos, la necesidad de dar un enfoque nuevo a los métodos tradicionales, los cuales se basan tanto en la experiencia adquirida tras años de empleo como en el juicio subjetivo de los organizadores o encargados. Estos métodos en general suelen ser válidos, pero en ocasiones pueden llegar a ser erróneos. Normalmente esto ocurre porque no pueden considerar todas las variables influyentes. Además, si el objetivo realmente es optimizar, se debe de emplear algún modelo matemático para obtener una solución óptima.

Por otro lado, la motivación surge de encontrar soluciones que mejoran la rentabilidad económica de forma totalmente directa. Por un lado, una distribución eficiente de las mesas de un salón de ceremonias reduce costes operativos, ya que se minimiza el tiempo y esfuerzo necesario para realizar el montaje y desmontaje del evento. Esto se traduce directamente en un mejor rendimiento económico, ya que los encargados de montar emplean menos tiempo en esa tarea, por lo que, o bien el coste de ellos es menor, o bien pueden utilizar ese tiempo ganado para realizar otros trabajos.

Además, encontrando una distribución óptima se puede ofrecer un mayor número de invitados posibles al evento, lo que viene siendo un aumento de los ingresos. Y ya no sólo poder acoger a más comensales, sino poder utilizar ese espacio disponible para otro tipo de actividades o trabajos, lo que también se traduce en una mejora del rendimiento, todo ello sin comprometer la comodidad ni la integridad del espacio.

En la preparación de eventos, cada metro cuadrado es importante, por lo que un salón de ceremonias debe de emplear de forma eficiente toda su capacidad. De ese modo, se consigue no sobrecargar ciertas áreas ni dificultar la circulación tanto a los asistentes como al personal de servicio. Estos factores afectan de forma directa en la percepción y satisfacción de los invitados, por lo que una correcta disposición de las mesas se convierte en un factor crítico para una realización exitosa de un evento.

Desde una perspectiva más académica, este trabajo viene motivado por el interés en aplicar y explorar las técnicas de optimización aprendidas a lo largo de la carrera en un contexto que sea práctico y aplicable. Además, aunque el problema esté enfocado a la

resolución para un salón de ceremonias en concreto, este proyecto se puede extrapolar a otros campos parecidos donde la optimización del espacio también sea un componente vital. Por ejemplo, en la organización en almacenes de stock, la distribución de oficinas o en ramas como el diseño de interiores.

Por último, otro de los factores que impulsan a la motivación para realizar este Trabajo Fin de Grado proviene de crear herramientas que sean prácticas y que puedan ser utilizadas por los organizadores de eventos. Implementando un modelo matemático y algoritmos de optimización se puede facilitar la toma de decisiones, proporcionando de ese modo una ventaja competitiva con respecto al resto de organizadores. De ese modo se puede apreciar que no solo tiene potencial para contribuir al campo de la Investigación Operativa, sino también puede tener un impacto positivo en la práctica profesional.

1.3 Objetivos

El presente Trabajo Final de Grado tiene como objetivo principal el desarrollo de un modelo de programación matemática para optimizar la distribución de las mesas de un salón de ceremonias, haciendo uso de técnicas de Investigación Operativa, haciendo énfasis en el “2D Cutting Stock Problem”. Para ello, no solo se buscará maximizar el espacio restante disponible, también se tendrán en cuenta criterios estéticos y normativos. De ese modo, la solución que se ofrece se podrá calificar como eficiente, funcional y atractiva visualmente. Ahora bien, los objetivos específicos que sigue este proyecto son los expuestos a continuación:

- **Caracterizar el salón de ceremonias:**

El primer paso consiste en realizar un análisis detallado de los elementos que tendrán relevancia a la hora de resolver el problema. Se debe detallar el tamaño y dimensiones del salón de ceremonias, así como de las mesas disponibles para los eventos, especificando largo, ancho y forma de cada tipo de mesa, así como analizar la normativa específica por la que se rigen este tipo de negocios. Para crear un modelo que represente fielmente la realidad de esta empresa, es fundamental realizar encarecidamente este apartado.

- **Aplicar técnicas de optimización:**

Una vez conocemos las características de los recursos disponibles, se debe formular el problema de la disposición de las mesas como un problema de optimización, utilizando un enfoque matemático. Además, incorporar al modelo diferentes posibles configuraciones, de ese modo se pueden evaluar diferentes escenarios y ofrecer la solución más adecuada para adaptarse a las necesidades de cada evento.

Respecto a dicha optimización, realizarla construyendo un modelo de programación matemática. Adicionalmente, desarrollar métodos heurísticos para abordar el problema en los casos en los que obtener una solución exacta pueda ser demasiado compleja de obtener.

- **Implementación y pruebas:**

Una vez desarrolladas las técnicas de optimización, implementar los modelos propuestos en un entorno de software adecuado, como Excel, haciendo uso del complemento de Solver. Para la visualización gráfica de los resultados se desarrollan códigos en Python. Con estas herramientas, realizar pruebas con diferentes combinaciones para poder validar la efectividad de los modelos y ver si son aplicables a un contexto real.

Por otro lado, asegurar que estos algoritmos son flexibles y fáciles de modificar, de ese modo permitir a los usuarios ajustar los parámetros a las necesidades que tengan en cada ocasión, además de poder ver gráficamente la solución propuesta.

- **Evaluación de los resultados:**

Analizar los diferentes resultados en función de las configuraciones elegidas para las mesas. Ver cómo afecta la distribución a la funcionalidad del evento, bien sea por la facilidad de acceso de comensales y personal de servicio, como para la interacción entre los asistentes. Validar que las soluciones propuestas sean eficientes no sólo en términos de espacio, sino que cumplan con las expectativas funcionales y operativas del evento a organizar.

- **Contribución académica, práctica y propuestas futuras:**

Con este TFG no solo se pretende desarrollar un modelo específico, sino contribuir al campo de la Investigación Operativa (IO), proporcionando una herramienta práctica que puedan utilizar otros usuarios para la ejecución de sus ceremonias. Adicionalmente, proponer mejoras futuras previamente identificando las limitaciones que tenga el modelo y explorar la posibilidad de adaptar el modelo a otros campos.

1.4 Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

En septiembre de 2015, la Asamblea General de Naciones Unidas creó la **Agenda 2030** para contribuir al Desarrollo Sostenible. Se trata de un plan de acción en favor de las personas y el planeta y está formada por 17 objetivos y 169 metas específicas a desarrollar hasta el año 2030 [3]. El presente Trabajo Fin de Grado se alinea de forma directa e indirecta con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente

con los que mantienen relación con la eficiencia de recursos, sostenibilidad urbana e innovación. A continuación, se detallan las conexiones específicas más relevantes con los ODS:

ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico



Figura 1. Objetivo de Desarrollo Sostenible 8. Fuente: Naciones Unidas

- **Meta 8.2: Lograr niveles más altos de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación:**

Al proponer una nueva forma de planificar eventos, a través de la optimización de la disposición de mesas, se contribuye a mejorar la eficiencia y productividad en el sector de la organización de eventos. El uso de tecnologías y métodos innovadores puede llevar a una reducción en los costos operativos y, probablemente, una mejora en la calidad del servicio, lo cual acaba generando un impacto positivo en el crecimiento económico del sector [4].

ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura



Figura 2. Objetivo de Desarrollo Sostenible 9. Fuente: Naciones Unidas

- **Meta 9.4: Modernización de la infraestructura y la reconversión de industrias para que sean sostenibles:**

De la mano de la meta anterior, implementando nuevos procesos para la planificación y organización de eventos, se impulsa a este sector a adoptar tecnologías que mejoran la eficiencia operativa y reducen el desperdicio de recursos. Por lo tanto, se alinea con los principios de sostenibilidad e innovación en la infraestructura de eventos [5].

ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles



Figura 3. Objetivo de Desarrollo Sostenible 11. Fuente: Naciones Unidas

- **Meta 11.3: Aumentar la urbanización inclusiva y sostenible, y la capacidad para la planificación y gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos:**

Al promover la utilización óptima de los recursos relacionados con espacios, en este caso un salón de ceremonias puede extrapolarse a la gestión eficiente de espacios públicos y privados en ciudades y comunidades. La optimización del espacio en eventos contribuye a la creación de ambientes más organizados y accesibles, lo cual podría llevarse al campo del entorno urbano y acabar mejorando la calidad de vida en esos lugares [6].

ODS 12: Producción y Consumo Responsables



Figura 4. Objetivo de Desarrollo Sostenible 12. Fuente: Naciones Unidas

- **Meta 12.2: Lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales:**

Como bien se ha desarrollado en el apartado de 1.3 Objetivos, uno de ellos es maximizar el uso del espacio disponible, lo cual contribuye de forma directa a una reducción de desperdicio de recursos. Optimizando el espacio se consigue una gestión más eficiente de los recursos físicos, como por ejemplo del mobiliario y del espacio, lo que reduce la necesidad de expansiones innecesarias o el uso excesivo de materiales, lo que en consecuencia provoca una minimización del impacto ambiental que producen este tipo de eventos [7].

ODS 17: Alianzas para Lograr los Objetivos



Figura 5. Objetivo de Desarrollo Sostenible 17. Fuente: Naciones Unidas

- **Meta 17.17: Fomentar las alianzas público-privadas y la colaboración para la innovación tecnológica:**

La realización de este trabajo también puede ayudar a fomentar alianzas entre el sector académico y la industria de eventos. De este modo, se estaría promoviendo la transferencia de conocimiento y tecnología y surgiendo una colaboración entre universidades y empresas [8].

1.5 Estructura del documento

A continuación, se expone la estructura que sigue este documento, así como una breve descripción de cada uno de los capítulos que lo componen.

- **Capítulo 1:**

Este capítulo trata la temática del trabajo, los objetivos que se plantea cumplir y las razones que motivan a realizar este proyecto.

- **Capítulo 2:**

En este capítulo se presenta el contexto teórico que rodea al trabajo. Se trata la evolución del sector hostelero en los últimos años y varias de sus normas. Además, se introduce la Investigación operativa, ya que es la metodología que se emplea en el trabajo.

- **Capítulo 3:**

En este capítulo, se detalla concretamente el problema que se desarrolla. Se explican los datos a utilizar, decisiones a tomar y el enfoque del problema utilizando técnicas de IO.

- **Capítulo 4:**

El capítulo introduce el 2D CUTTING STOCK PROBLEM, problema en el cual se inspira la resolución del primer problema del proyecto.

- **Capítulo 5:**

En este capítulo se desarrolla los modelos matemáticos diseñado para optimizar la disposición de mesas. Se explican los elementos que forman parte del modelo y se introducen en la herramienta Excel.

- **Capítulo 6:**

Este capítulo abarca la representación gráfica de las distribuciones de las mesas. Se explica la lógica que siguen los códigos y se analizan varias de las soluciones.

- **Capítulo 7:**

En el capítulo se resume lo aprendido y realizado a lo largo del proyecto y se proponen algunas ideas para mejorar y expandir este trabajo.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1 Crecimiento del sector de la restauración

En los últimos años, el sector de la restauración ha experimentado un gran crecimiento, gracias al aumento del turismo provocado por la globalización y por el incremento en el interés del ocio y experiencias únicas.

Según datos de la Organización Mundial del Turismo [9], conocida como la **OMT**, el turismo en España tras la crisis provocada por el COVID-19 se ha visto cuadruplicado si comparamos el turismo en el año 2020 y el 2023.

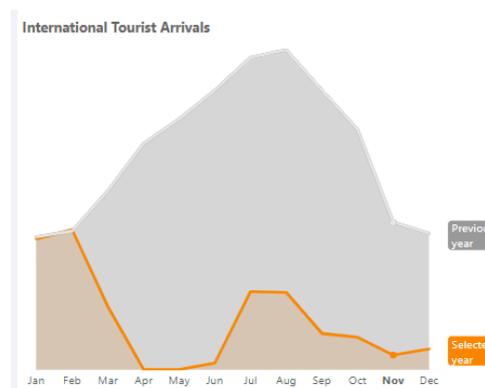


Figura 6. Turistas Internacionales visitantes de España en 2019, 2020. Fuente: UN Tourism



Figura 7. Turistas Internacionales visitantes de España en 2019, 2020 y 2023. Fuente: UN Tourism

En la Figura 6, se puede apreciar en un color gris claro los datos de llegada de turismo a España en el año 2019, mientras que el color naranja representa el año 2020. El eje Y representa el número de turistas internacionales que visitan España distribuidos por cada mes del año, representados estos meses en el eje X del gráfico. Se puede apreciar claramente el impacto de la pandemia, llegando a una tasa de turismo del 0% para algunos meses del año 2020, como abril o mayo. Por otro lado, en la Figura 7, se sigue manteniendo la misma estructura de gráfico, pero ahora el color naranja representa el año 2023, el color gris oscuro el año 2022 y el color gris claro el año 2019. Se puede observar que el 2023 ya logra superar en prácticamente todos los meses del año los niveles de turismo obtenidos en el año 2019. Este aumento en el turismo tiene una repercusión directa en la demanda de servicios de alojamiento, restauración y organización de eventos.

Además, este crecimiento del sector de la restauración no solo es debido al aumento del turismo internacional. Según los indicadores de consumo de los datos de CaixaBank [10], los cuales pueden mostrar los datos internos de gasto con tarjeta específicamente del sector de la restauración, revelan que, en el año 2021, el gasto de las tarjetas españolas ya superaba los niveles de 2019. Para el caso de las tarjetas extranjeras, esa superación no llegaba hasta el año 2022, tal y como se puede observar en la Figura 8.

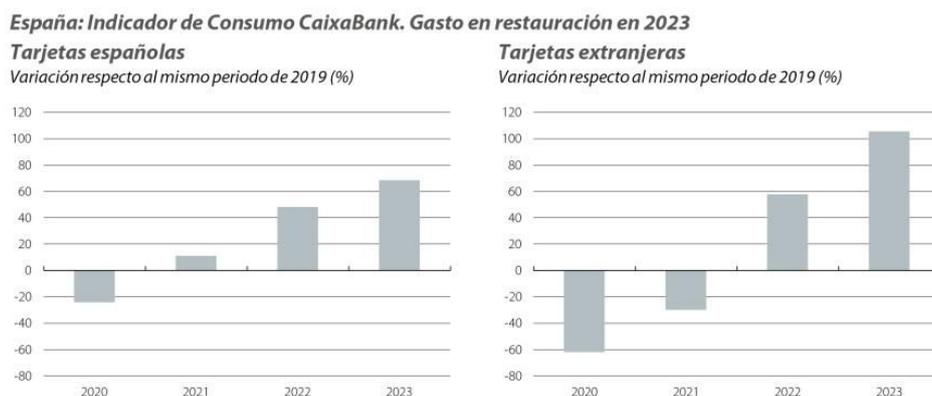


Figura 8. Gasto en restauración con tarjeta en 2023. Fuente: CaixaBank

En la Figura 8 se puede apreciar la variación que ha sufrido el gasto en restauración tanto de españoles como de extranjeros con respecto al 2019. En el eje Y se indica el porcentaje de variación, mientras que en el X se representan los años del 2019 al 2023. Como se puede apreciar, la variación que provocó el COVID-19 fue negativa con respecto al año anterior. No obstante, en la Figura se aprecia como en el año 2022 ya logró recuperar e incluso superar la tasa obtenida en el 2019.

El crecimiento tanto en la demanda como en el gasto en este tipo de servicios, prácticamente obliga a este tipo de establecimientos a adaptarse a las nuevas demandas y actualizar sus métodos tradicionales para poder ofrecer unos servicios de mayor calidad.

Además, en la celebración de eventos, donde los espacios y servicios son especialmente importantes debido al nivel de detalle demandado, su actualización debe ser más frecuente.

En la personalización de eventos, donde el cliente demanda experiencias únicas y específicas, se debe de dar un enfoque más detallada a la planificación del evento, donde la disposición del espacio tiene un papel crucial. No solo por cuestiones de eficiencia, sino también por la percepción recibida por parte de los asistentes del evento.

2.2 Salón Campos

Para poder caracterizar el problema desarrollado en este Trabajo Fin de Grado, las herramientas de optimización propuestas se van a validar a un caso real, para un salón de ceremonias llamado *Salón Campos*.

Registrada como BANQUETES CAMPOS E HIJAS SL, se trata de una empresa familiar, la cual fue fundada en el año 1969 por un matrimonio del municipio de Montserrat, Valencia. Comenzaron ofreciendo su servicio de forma casera, pero poco a poco fueron profesionalizando el servicio. Al principio solo realizaban ceremonias en el propio salón, pero no tardaron en expandir el negocio hacia el sector del catering. Actualmente, el negocio pertenece a las dos hijas que tuvieron el matrimonio fundador del salón de ceremonias [11].

En este salón se realizan todo tipo de eventos, desde celebraciones de bodas, bautizos y comuniones, hasta cumpleaños, cenas de empresa o caterings. Los caterings se puede optar por celebrarlos en el propio salón o en otra ubicación, a la cual se traslada todo el servicio que se ofrecería en el salón.

Desde el año 2022 trabajo ofreciendo el servicio de camarero para este salón, el cual no solo consiste en servir platos y bebida a los comensales. Entre otras tareas, los camareros se encargan de realizar el montaje para cada evento. Para ello, la encargada del salón entrega una hoja que representa la vista de planta del salón. En esa hoja vienen dibujadas a mano el estilo de mesas que se deben de colocar y en qué posición. Como no está hecho a escala ni con las medidas exactas, en ocasiones no puede llevarse a cabo el montaje propuesto, y es por ello por lo que surge la idea de este proyecto.



Figura 9. Vista del salón principal de banquetes. Fuente: Salón Campos

En la Figura 9, se puede apreciar un ejemplo del montaje que se realiza para una ceremonia en el Salón Campos. De ese modo, se puede dar un poco de contexto sobre el estilo que sigue el salón, el tipo de mesas que tiene o la forma en que se distribuyen y así ayudar a visualizar las soluciones que se propongan posteriormente.

2.3 Normativa hostelera

En hostelería, como en muchos otros sectores, los negocios se rigen por unas normativas que deben de cumplirse. En concreto, como el Salón Campos está ubicado en Valencia, se rige por la normativa vigente en la Comunidad Valenciana [12]. En ella, se establecen las normas de la gestión de restaurantes, bares, cafeterías... y se abordan los aspectos que se deben de cumplir en ellos.

Se tratan de normas sobre los alérgenos, los horarios reglamentarios, la normativa contra incendios, la insonorización del local, hojas de reclamaciones...etc. Pero el aspecto que más importa para la resolución de este proyecto es la normativa en cuanto a accesibilidad, distancias mínimas requeridas y demás.

En el Decreto regulador de los establecimientos de restauración de la Comunitat Valenciana se especifican las anchuras mínimas de las puertas, las alturas obligatorias de los lavabos, o la distancia de los grifos. También se marcan protocolos en función del número máximo de asistentes disponible, como por ejemplo cuántos lavabos debe de haber según el aforo. Pero no marca una normativa respecto a la separación entre mesas, simplemente se establece que la distribución de las sillas y las mesas debe permitir la libre circulación a los asistentes. Es decir, utilizar una distancia que asegure un espacio suficiente para la evacuación en caso de emergencia.

No obstante, para ajustar las posibles soluciones al problema, se debe de establecer cuál va a ser esa distancia de separación entre mesas. Este parámetro es variable, ya que depende de varios factores, entre los cuales encontramos el tipo de restaurante, cuál es el cliente objetivo o qué estilo de servicio se ofrece, entre otros. Según expertos del sector, la distancia recomendada entre mesas para permitir la movilidad de los camareros y la comodidad de los clientes es de aproximadamente de 45 a 60 centímetros [13].

Por otro lado, según Hevea, la cual es una empresa que realiza sillas, mesas, sombrillas de terraza... para el sector hostelero, se recomienda dejar al menos 60 centímetros entre las mesas [14]. Por último, tras hacer esta pregunta a las dueñas del Salón Campos, concluimos en que una separación entre mesas óptima son los 60 centímetros propuestos, por lo que será la distancia que se utilizará para la resolución de este proyecto.

2.4 Introducción a la Investigación Operativa

La Investigación Operativa (IO) es una herramienta cuantitativa y analítica que aplica modelos matemáticos, algoritmos avanzados y estadística para la toma de decisiones óptimas en situaciones complejas. Su origen se remonta a la Segunda Guerra Mundial, donde tanto científicos como matemáticos fueron reclutados para la resolución de problemas relacionados con estrategias y tácticas de los ejércitos [15]. Desde aquel momento, su desarrollo ha seguido una gran expansión hasta hoy en día, donde se ha convertido en una herramienta fundamental en campos como la logística, salud o economía.

La importancia de esta herramienta principalmente se basa en la capacidad de ofrecer soluciones optimizadas para problemas donde los recursos son limitados y se tienen en cuenta una serie de restricciones. Es capaz de analizar sistemas complejos y ayudar a tomar decisiones en la que se maximiza o minimiza un objetivo en concreto. A continuación, se definen los elementos que conforman un modelo matemático de IO:

- **Parámetros:**

Los parámetros son aquellos datos que se introducen en el problema. Estos datos pueden influir en el valor que tomarán las variables y, en consecuencia, la función objetivo. Básicamente son constantes que se conocen y que son necesarias para el problema (pueden ser costes, demandas, localizaciones, distancias, disponibilidad de recursos, datos técnicos...)

Muchas veces es necesario estimar los parámetros. Si los datos de entrada pueden ser estimados con certeza, construiremos modelos deterministas. Cuando los

parámetros varían, empleamos otro tipo de modelos (programación estocástica, por ejemplo). Normalmente, los parámetros no pueden ser controlados.

- **Variables:**

Las variables son los aspectos de la realidad que el decisor puede controlar, los aspectos sobre los que se puede decidir. La solución del modelo consiste en encontrar el valor óptimo de estas variables, ya que está directamente relacionado con el valor que tomará la Función Objetivo.

Los valores concretos de las variables no son conocidos a priori, sino que se conocen al resolver el modelo. Existen diferentes tipos de variables en función de la naturaleza de la decisión a tomar, pueden ser variables continuas, discretas o binarias.

Las variables continuas son aquellas que pueden tomar cualquier valor real, mientras que las discretas solo puede ser un valor entero. Por último, las binarias sólo podrán tener los valores o cero o uno.

- **Función Objetivo:**

La Función Objetivo (FO) es aquello que se quiere optimizar en el problema. En función del objetivo que se haya planteado, se puede maximizar o minimizar dicha función, la cual es una expresión matemática. Tanto las variables como los parámetros influyen en el valor que tomará esta función, por lo que es totalmente dependiente.

La FO es más sencilla de abordar si se trata de funciones lineales. Cuando no lo son, su resolución se convierte en un proceso más complejo.

- **Restricciones:**

Las restricciones son las limitaciones que sufren los valores de las variables. Son fundamentales para conseguir un modelo realista. Mediante el uso de ecuaciones, se definen las restricciones deben de satisfacer y cumplir (normalmente la limitación sobre un recurso, dinero, horas...).

Haciendo uso de estos 4 elementos, se pueden resolver problemas gracias a la IO. No obstante, no siempre existen soluciones viables, a veces hay restricciones demasiado restrictivas o con las variables planteadas no se puede encontrar una solución al modelo propuesto. Para el problema que nos ocupa, tendremos que identificar los parámetros necesarios, las variables, las restricciones y la función objetivo que nos ayude a identificar la mejor solución posible.

Capítulo 3

Descripción del problema

En este apartado se describirá el problema que se pretende abordar, especificando los aspectos que se tendrán en cuenta para su resolución. Se tratará la estructura de los datos que utilizamos, las decisiones que se deben tomar y una visión global de los elementos que ayudarán a resolver problema desde el punto de vista de la Investigación Operativa (IO).

3.1 Definición del problema

Las funciones que se llevan a cabo en un salón de ceremonias implican la coordinación de múltiples aspectos para poder ofrecer una buena calidad en los eventos y cumplir con las expectativas que tengan los clientes.

Por un lado, está el aspecto alimentario, el cual necesita una estimación previa de las cantidades que se usarán, contar con unos proveedores confiables, coordinar la elaboración de los diferentes platos, ofrecer una buena presentación...

Por otro lado, está el personal, donde se debe de gestionar la contratación y formación del personal de atención al cliente, cocina, limpieza, seguridad...

En este tipo de negocios, la planificación previa del evento es esencial. Se debe de mantener actualizado el calendario con las reservas ya estipuladas y las fechas y horarios de los eventos contratados, establecer los contratos de los servicios proporcionado, así como definir el número de asistentes al evento.

Una vez se tienen detallados todos los elementos clave, aparece un nuevo problema, el cual va a ser el que se resuelva a lo largo de este proyecto.

El problema del que se trata es la logística del espacio. En este ámbito se debe de poner soluciones al montaje y desmontaje del mobiliario, de la distribución de la decoración, de mantener limpio el espacio antes y después de cada evento y de controlar el aforo de asistentes entre otras. Por lo tanto, el problema que se abarca consiste en resolver 2 problemas que supone la planificación del montaje de las mesas en el Salón Campos.

Como ya se comenta anteriormente en esta memoria, a la hora de realizar el montaje, se entrega una hoja a mano con la distribución que seguirá el evento a organizar. Para que no ocurran los errores provocados por no hacerlo con medidas reales y para obtener soluciones optimizadas, se van a resolver los siguientes problemas.

En primer lugar, el **primer problema** consiste en optimizar el número de mesas que se van a emplear, las cuales en este problema se consideran un recurso el cual hay que tratar de utilizar el mínimo posible. Para ello, se deberá de obtener cuántas mesas hace falta utilizar para abastecer el número de asistentes del evento, intentando afinar lo máximo posible dicho número. Es decir, en función de cuántos comensales asistan, dar el número de mesas que se deben de utilizar para cubrir dicha cantidad. Este problema recibe el nombre de “**Determinar el número de mesas**”.

El **segundo problema** aporta una solución con la forma en la que se distribuyen el número de mesas que se haya obtenido en la primera parte. Ahora bien, en función del objetivo que se quiera obtener se resuelve para dos posibilidades. Por un lado, se puede utilizar la **estrategia 1**, donde se resuelve el problema de hacer uso del mínimo espacio posible. Para ello, se debe de optimizar la distribución, siguiendo las restricciones correspondientes, para que las mesas estén colocadas de tal forma que dejen libre el máximo espacio posible del salón. Por otro lado, se desarrolla una **estrategia 2**, donde se tiene en cuenta el apartado estético, por lo que también se podrá resolver el problema para obtener una distribución lo más estética posible. El nombre para este problema es “**Distribución de las mesas**”.

3.2 Toma de decisiones

Por lo tanto, para resolver ambos problemas se deben de contestar a dos preguntas, o lo que es lo mismo, se deben de tomar dos decisiones.

La primera de ellas es, ¿cuántas mesas se van a utilizar para cubrir el número de asistentes a la ceremonia?, y, concretamente, ¿cuántas mesas de cada tipo?, ya que la capacidad de cada mesa es distinta. En esta decisión se deben de tener en cuenta factores como el espacio disponible del salón, debido a que la superficie física de éste influye en la cantidad de mesas que se pueden acomodar sin comprometer la comodidad y accesibilidad. También puede haber preferencias y demandas de los comensales, como por ejemplo utilizar unas mesas específicamente para los novios o incluso para los niños. Además, como la resolución del problema está inspirada en el 2DCSP, la optimización del uso del espacio para maximizar el rendimiento es crucial, por lo que se buscará emplear el mínimo número de mesas necesario. Para este tipo de decisiones el uso de modelos matemáticos de optimización y los métodos de programación lineal pueden resultar herramientas muy útiles para encontrar una solución óptima.

La segunda de las decisiones va totalmente de la mano de la primera, ya que consistirá en la colocación de las mesas que se hayan decidido anteriormente dentro del espacio del

salón. En esta parte, el problema se convierte en un problema multiobjetivo, ya que en función de lo que busquemos se deberá de valorar o bien la optimización del espacio o bien la estética.

Uno de los objetivos que se pretende conseguir si nos basamos estrictamente en el problema de Cutting Stock es que se desperdicie el mínimo espacio posible, que visto desde otro punto de vista es que las mesas hagan uso del mínimo área del salón posible, para de ese modo dejar libre gran parte del espacio y poder usarlo para otros disfrutes.

El otro objetivo que puede buscarse es la estética, ya que puede que, si solo nos centramos en optimizar el espacio, el resultado que se obtenga no sea funcional ni estéticamente agradable. Para estas decisiones se deben de considerar factores como la normativa de hostelería para distribución de las mesas, así como la accesibilidad de éstas, así como el tamaño del recinto disponible. La colocación óptima se puede alcanzar haciendo uso de técnicas de optimización 2D como el algoritmo de corte del 2DCSP y técnicas de simulación.

3.3 Parámetros, variables, función objetivo y restricciones

Para poder abordar el **Problema 1. Determinar el número de mesas**, se emplea la Investigación Operativa. Por lo tanto, una vez definido el problema, se pueden especificar los elementos para abordarlo desde un punto de vista de modelo de programación matemática, concretamente definiendo los parámetros, las variables, la función objetivo y las restricciones. De esta forma podremos obtener el número óptimo de mesas que se deberán emplear para cubrir la demanda de asistentes al salón.

- Los **parámetros** que se deberán de proporcionar como datos de entrada al problema serán tanto las dimensiones del salón, como las dimensiones de cada tipo de mesa, así como el número de comensales que pueden ocupar dichas mesas. Estos datos se obtienen realizando mediciones reales en el Salón Campos.
- Como la decisión que se debe tomar es cuántas mesas se deben usar, las **variables** serán el número de mesas que se van a colocar de cada tipo. Se tratará de variables de número entero, ya que las mesas son indivisibles y se deben de considerar como variables discretas.
- El objetivo a conseguir es que las mesas ocupen el menor espacio posible, por lo que la **función objetivo** será minimizar el número de mesas a utilizar, para que quede el mayor espacio disponible para otros disfrutes.
- El problema contendrá algunas **restricciones**, como la capacidad física del propio salón y la demanda de comensales a cubrir. Se podrán añadir restricciones específicas como que se utilice una mesa específica para los niños o para los novios.

Capítulo 4

2D Cutting Stock Problem

Para poder resolver el **Problema II. Distribución de las mesas**, nos inspiramos en el 2D Cutting Stock Problem, el cual se explica en este capítulo.

4.1 Introducción

El problema de corte de stock en dos dimensiones se trata de una optimización combinatoria que se usa en el sector de la industria debido a su amplia aplicabilidad y su practicidad. El problema surge en contextos donde se tiene que dividir una gran pieza en piezas más pequeñas, con el objetivo de minimizar los desperdicios y maximizar la utilización del material disponible.

El 2DCSP consiste en encontrar la mejor forma de cortar un número de piezas a partir de una pieza más grande, teniendo en cuenta ciertas restricciones y objetivos. Es muy frecuente su uso en la industria textil, donde los rollos de tela deben de ser cortados en piezas más pequeñas para confeccionar otros productos y donde toda la tela que se desperdicie supone una pérdida económica que a gran escala puede ser muy significativa. También se emplea mucho en la industria metalúrgica y maderera, donde las grandes placas o láminas se deben de cortar para la fabricación de muebles, tableros, piezas...etc. Y en este caso ya no es solo por lo que pueda perjudicar económicamente dichos desperdicios, sino también por la gestión del stock sobrante que acarrea y por la contribución al medioambiente [16].

Resumiendo, gracias al uso de técnicas como el Cutting Stock no solo se obtienen beneficios económicos significativos al reducir costos y mejorar la eficiencia, sino que también se contribuye de una forma positiva a la sostenibilidad ambiental, haciendo un uso responsable de los recursos que tenemos.

4.2 Definición del problema

La decisión que se debe tomar para resolver el Problema II es cómo colocar las mesas, y los objetivos pueden ser dos, o bien priorizar la estética, o bien buscar optimizar al

máximo el espacio y que las mesas ocupen lo mínimo posible para poder usar ese recinto disponible para otras actividades. Por ello, se particulariza el 2DCSP para el problema que se quiere abordar.

Por lo tanto, si nos fijamos en el último de los objetivos nombrados anteriormente, podemos observar la relación directa con el 2DCSP. Vamos a tener una pieza grande (el área del salón) y vamos a tener que cortarla en piezas pequeñas (en nuestro caso colocar las mesas dentro del recinto del salón).

Las mesas pertenecerán al conjunto $T = \{M_1, M_2, M_3, M_4\}$, donde el i -ésimo tipo M_i es una mesa de dimensiones $L_i \times A_i$ (Largo x Ancho), donde el área que ocupe dicha mesa será el coste que supone y el beneficio será la superficie que quede disponible en el salón, por lo que a cada tipo de M_i se le asocia un coste C_i .

Con estas consideraciones, se debe de encontrar una solución realizable, es decir, que no se superen las dimensiones del salón y que las mesas no se solapen entre ellas.

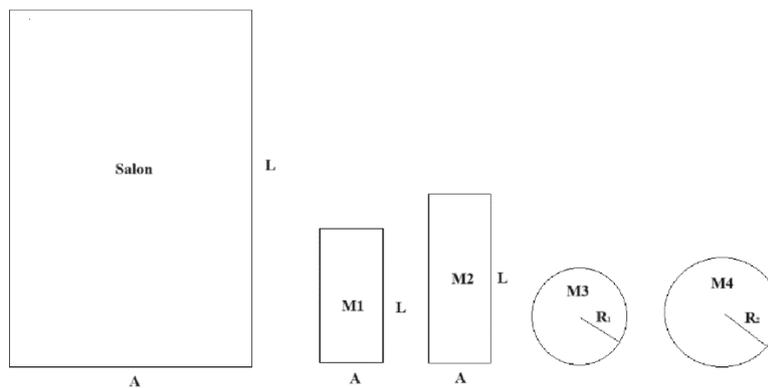


Figura 10. Estructura del salón y de los tipos de mesas. Fuente: Elaboración propia

La producción de unos cortes que no sean guillotinales pueden aumentar el grado de complejidad del problema. Es por ello por lo que las mesas redondas se tratarán como cuadradas, teniendo en cuenta que el lado del cuadrado será igual al diámetro que tenga cada tipo de mesa, es decir, simulando un círculo inscrito en un cuadrado tal y como se muestra en la Figura 11.

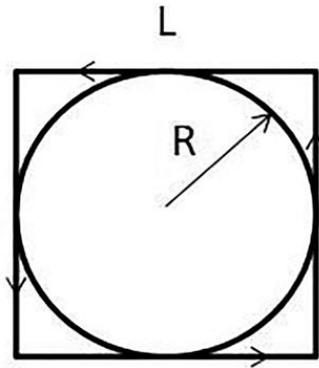


Figura 11. Círculo inscrito en un cuadrado. Fuente: ResearchGate

Además, de forma homogénea para todos los estilos de mesa a las dimensiones reales, tanto en el ancho como en el largo, se les añadirán unas distancias extra.

El primer aumento vendrá dado por las medidas del espacio que ocupa una persona promedio cuando se sienta en una silla, tomando como punto de inicio el final de la mesa y como punto final el lugar donde termina la silla. Esta expansión se tendrá en cuenta en los dos ejes, tanto el X como el Y, y el valor de esta ampliación viene dado por el Arquitecto Erst Neufert, el cual proponía que para encontrarse en una situación cómoda, de la punta de la mesa hasta el extremo contrario de la silla debía de haber entre 40 y 55 centímetros, ya que para el momento de levantarse, corremos la silla un poco hacia atrás. [17] Por lo tanto, para asegurarnos de que cubrimos ese espacio, para la resolución del problema se ampliará 60 cm el tamaño de las mesas, para que se tenga en cuenta el espacio que ocupa un comensal sentado.

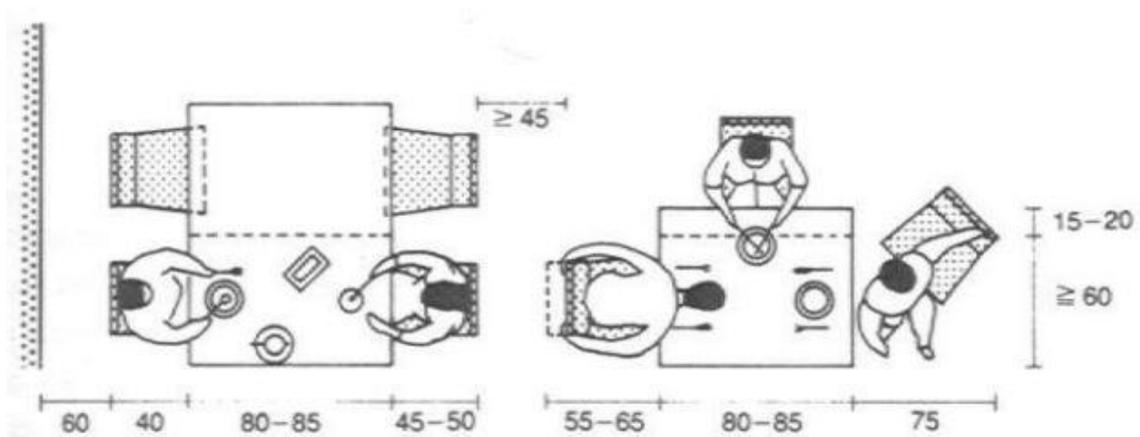


Figura 12. Representación de las distancias en restaurantes. Fuente: DIAZCARO

El segundo de los aumentos viene dado por la normativa hostelera comentada anteriormente en la memoria, en el Capítulo 2, Apartado 2.3, donde se acordaba utilizar una separación mínima entre mesas de 60 centímetros. Con todo esto, el área que ocuparán las mesas será teniendo en cuenta el crecimiento producido por tener en cuenta el espacio que suponen las sillas.

Capítulo 5

Problema I. Determinar el número de mesas

En este apartado se tratará el desarrollo seguido para plasmar el modelo matemático del primer problema, añadiendo su resolución y un análisis de estos.

Se divide en dos partes, un **modelo 1**, más simple a modo de una primera aproximación, en el que no se le da margen al usuario a poner restricciones de forma que simplifique y facilite el planteamiento y posteriormente se desarrolla un **modelo 2**, más realista, donde los comensales tienen cierta libertad a la hora de influir en la distribución de los comensales en las mesas.

5.1 Modelo I

En esta primera aproximación se desarrolla el análisis, planteamiento y resolución del modelo I.

5.1.1 Modelo matemático

Datos	
S	Superficie total del salón
P_i	Número de personas que ofrece la mesa de tipo i , siendo $i = \{1, \dots, n\}$
A_i	Área que ocupa una mesa de tipo $i = \{1, \dots, n\}$
C	Número de comensales que se deben de atender

Tabla 1. Parámetros para el Modelo I. Fuente: Elaboración propia

Los parámetros recogidos en la Tabla 1, son los datos de entrada que se necesitan para poder resolverlo. El único parámetro que variará será el C , es decir, el número de comensales que asistirán, ya que para cada evento es lo que irá variando, los demás parámetros son invariables.

Variables	
M_i	Número de mesas que se utilizarán del tipo i , siendo $i = \{1, \dots, n\}$

Tabla 2. Variables del Modelo I. Fuente: Elaboración propia

Respecto a las variables mostradas en la Tabla 2, vemos que se trata de calcular cuántas mesas se utilizarán de cada tipo.

Por lo tanto, para poder plantear el modelo se deben de introducir los parámetros y variables incluidos en las Tablas 1 y 2. El modelo matemático sería el siguiente:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n A_i M_i \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_{i=1}^n P_i M_i \geq C \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n A_i M_i \leq S \quad (3)$$

$$M_i \in \mathbb{Z}^+ \quad (4)$$

Los parámetros recogidos en la tabla de datos son los datos de entrada que se necesitan para poder resolverlo. El único parámetro que variará será el C , es decir, el número de comensales que asistirán, ya que para cada evento es lo que irá variando, los demás parámetros son invariables. Respecto a las variables vemos que se trata de calcular cuántas mesas habrá de cada uno de los cuatro tipos.

Seguidamente, en la expresión (1) vemos la F.O. la cual pretende minimizar el área de ocupación de las mesas que se usarán.

Por último, nos encontramos con las restricciones. La restricción contenida en la expresión (2) simplemente pretende asegurar que como mínimo la capacidad que proporcionan todas las mesas es igual a la demanda de comensales que se tendrá, ya que todos deben de tener un sitio para sentarse. Por otro lado, la restricción (3) se encarga de que el número de mesas total a utilizar caben en el salón, es decir, que el área que utilizan sea igual o menor a la superficie que ofrece el salón. Por último, se encuentra la restricción (4), que indica la naturaleza de la variable, que en este caso son las mesas que usan de cada tipo y son números enteros positivos.

5.2 Resolución Modelo I

Tras plantear el modelo matemático, se particulariza para el caso del Salón Campos.

5.2.1 Parámetros de entrada

Partimos de unos datos reales, los cuales se han obtenido del propio salón de ceremonias.

El Salón Campos está compuesto por diversas zonas, las cuales se pueden concentrar en tres áreas principales, la cocina, el jardín o salón exterior y el salón interior. El problema que se va a resolver se particulariza en el salón interior ya que en este recinto es donde surge la necesidad de colocar correctamente las mesas para los comensales, dado que es donde tiene lugar el banquete y se trata de una superficie totalmente rectangular. Respecto a las mesas, hay diferentes tipos en función del número de personas que se deben de sentar en ella.

Por un lado, tenemos mesas rectangulares, de dos tamaños. La primera de ellas puede acoger a 10 comensales, teniendo en cuenta que en los extremos pueden asignar sitios, no solamente en los laterales. El tamaño de esta mesa es de 3 x 1,5 m. La segunda tiene una capacidad de 12 personas, siendo un poco más larga, concretamente cuenta con unas dimensiones de 3,6 x 1,5 m.

Por otro lado, el Salón cuenta con unas mesas redondas, también de dos posibles tamaños. La primera de ellas está hecha para 6 personas y tiene un diámetro de \varnothing 1,5 metros. En este caso, como no cuenta con esquinas los comensales se colocan de forma equidistante, rellenando todos los huecos de la mesa. La segunda de ellas pueden usarla 8 personas, ya que cuenta con un diámetro mayor, concretamente \varnothing 1,8 metros. No obstante, nos inspiramos en el 2D Cutting Stock Problem (2DCSP), el cual se desarrolla su funcionamiento en la memoria en el Capítulo 4, los cortes deben de ser guillotinales.

Teniendo esto en cuenta, la forma de interpretar las mesas redondas será como cuadrados en vez de círculos, lo cual nos permite realizar “cortes” ortogonales, yendo de un lado del rectángulo o cuadrado hasta su lado opuesto, de forma paralela a los otros dos extremos.

Además, el Salón Principal también sigue una forma rectangular, donde las dimensiones que presenta son 25 x 15 metros.

Los parámetros por lo tanto son los tamaños del propio salón y de cada estilo de mesa. Para el modelo matemático nos importa el valor de la superficie que ocupa cada

parámetro, no tanto sus tamaños perimetrales, por lo que los datos a definir son los siguientes:

- **Superficie del salón:** Realizando las medidas correspondientes se obtiene que la zona de banquetes del salón tiene 25 metros de largo y 15 metros de ancho. Por lo tanto, utilizando la fórmula del área de un rectángulo obtenemos una superficie disponible de 375 m².
- **Tamaños mesas:** Tras realizar las mediciones obtenemos las distancias de cada tipo de mesa.
 - **Mesa 1:** Sus dimensiones son de 3 x 1,5 metros, pero añadiéndole la distancia de ocupación de las sillas en todos los lados del rectángulo, la cual se establece en 70 centímetros, obtenemos una superficie total de 12,76 m² (4,4 x 2,9).
 - **Mesa 2:** Sus dimensiones son de 3,6 x 1,5 metros y siguiendo el mismo procedimiento que anteriormente obtenemos un área de 14,5 m².
 - **Mesa 3:** Su diámetro son 1,5 metros, por lo que se transforma en un cuadrado de ese tamaño de lado. Añadiendo de igual forma que en las mesas anteriores la distancia correspondiente, obtenemos una superficie de 8,41 m².
 - **Mesa 4:** El diámetro es de 1,8 metros y siguiendo el mismo procedimiento sabemos que su área será de 10,24 m².
- **Capacidad mesas:** En función del tamaño de las mesas, el número de personas que pueden sentarse en ella varía.
 - **Mesa 1:** Dispone de una capacidad para 10 personas, sabiendo que también se colocarán en los extremos.
 - **Mesa 2:** Capacidad para dar lugar a 12 personas.
 - **Mesa 3:** Pueden utilizarla 6 personas sentadas de forma equidistante.
 - **Mesa 4:** El número de personas que pueden hacer uso de ella es de 8.

5.2.2 Solución mediante Solver Modelo I

Una vez hemos definido todos los elementos del modelo, es necesario contar con un software de optimización procedemos a introducirlos en el programa Excel, donde

haremos uso de la herramienta *Solver*, la cual nos permite resolver problemas de optimización lineal, entera y mixta.

Para ello, se introducen los parámetros, variables, función objetivo y restricciones en el software. En esta primera versión simplificada se puede variar el número de comensales que van a asistir a la ceremonia. A continuación, se exponen dos casos hipotéticos.

Optimización Modelo I				
Superficie del salón	375			
Nº de comensales	125			
	Mesa 1	Mesa 2	Mesa 3	Mesa 4
Cantidad de mesas	0	10	1	0
Función Objetivo	153,41			
Restricciones				
Cubrir el nº de asistentes	126	=>	125	R1
No superar el área del salón	45,06	<=	375	R2

Figura 13. Solución en Excel mediante Solver del Modelo I. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13, podemos ver en color verde la solución de las variables y en color azul la solución minimizada de la función objetivo. En este primer caso, vemos como la restricción 1 no coincide exactamente con el número de comensales. La conclusión que sacamos de aquí es que al contar con mesas en las que el número de ocupantes es par, siempre que el número total de asistentes sea impar, contaremos con algún sitio extra, ya que no hay combinación de una multiplicación de números pares por números enteros que de como resultado un número impar.

Optimización Modelo I				
Superficie del salón	375			
Nº de comensales	104			
	Mesa 1	Mesa 2	Mesa 3	Mesa 4
Cantidad de mesas	0	8	0	1
Función Objetivo	126,24			
Restricciones				
Cubrir el nº de asistentes	104	=>	104	R1
No superar el área del salón	35,85	<=	375	R2

Figura 14. Solución en Excel mediante Solver del Modelo I, 2. Fuente: Elaboración propia

En este caso mostrado en la Figura 14, análogamente al anterior se observa como la restricción 1 coincide exactamente. Esto es porque ahora el número de comensales es par, por lo que sí que existe una combinación exacta. Ahora bien, se extrae otra conclusión la cual se debe de agregar al modelo para que se cumpla otra condición. Si nos centramos en el resultado de las variables vemos como tiene total preferencia por utilizar la Mesa 2, ya que en relación con el área que ocupa, el número de personas que puede abastecer es mayor, por lo que interesa más usar esa mesa. No obstante, el Salón Campos cuenta con un número finito de cada mesa, por lo que habrá que añadir esas condiciones al modelo, es decir, limitar el uso máximo de mesas de cada tipo a las que dispone el Salón realmente.

Por último, dado que una de las conclusiones que se obtienen es que las variables tienen total preferencia por utilizar la Mesa 2, por que el ratio (área ocupada/número de personas que puede abastecer) es mayor y el objetivo también es utilizar el mínimo de mesas posibles, surge la siguiente duda. ¿Qué pasa si no se tiene en cuenta el área de la mesa? Es decir, que el objetivo solamente sea utilizar el mínimo número de mesas posible.

Para ello, se debe de modificar el modelo matemático propuesto en el Modelo I, concretamente la Función Objetivo, la cual modifica quedaría tal y como muestra la siguiente expresión:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n M_i \quad (1)$$

De este modo, solo se tiene en cuenta el número de mesas de cada tipo a utilizar, sin influencia del área que ocupan. Por lo tanto, aplicando esta modificación en la herramienta Solver obtenemos el resultado que muestra la Figura 15.

Optimización Modelo I				
Superficie del salón	375			
Nº de comensales	104			
	Mesa 1	Mesa 2	Mesa 3	Mesa 4
Cantidad de mesas	2	7	0	0
Función Objetivo	9			
Restricciones				
Cubrir el nº de asistentes	104	=>	104	R1
No superar el área del salón	36,9	<=	375	R2

Figura 15. Solución en Excel mediante Solver del Modelo I, 3. Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la Figura 15, se ha introducido el mismo número de comensales que en la Figura 14, para poder comparar los resultados. Las mesas a emplear han cambiado, pero no el número total, es decir, ahora se utilizan otros tipos de mesa, pero el total sigue siendo el mismo, de 9 mesas. Por lo tanto, la conclusión que se obtiene es que si se pondera por el área que ocupan, no solo se consigue minimizar el espacio que ocuparán, sino que de forma indirecta se consigue utilizar el mínimo número de mesas posible.

5.3 Modelo II

Una vez realizado el Modelo I simplificado a modo de aproximación, se debe de modificar para adaptarlo a las conclusiones obtenidas tras la resolución del caso simplificado para de ese modo crear un modelo más completo y ajustado a la realidad del Salón de Ceremonias en cuestión. Para ello, se desarrolla el Modelo II.

5.3.1 Modelo matemático

Datos	
S	Superficie total del salón
P_i	Número de personas que ofrece la mesa de tipo i , siendo $i = \{1, \dots, n\}$
A_i	Área que ocupa cada mesa, siendo $i = \{1, \dots, n\}$
C	Número de comensales adultos que se deben de atender
K	Número de comensales niños que se deben de atender
$MAXK$	Número máximo de mesas que se ofrecen para los niños
MAX_i	Número de mesas que se ofrecen de mesa tipo i , siendo $i = \{1, \dots, n\}$
PK	Número de personas que ofrece la mesa de niños
MN	1 si se utiliza mesa de novios, 0 en otro caso
AN	Área que ocupa la mesa de novios
PN	Número de personas que ofrece la mesa de novios

Tabla 3. Parámetros para el Modelo II. Fuente: Elaboración propia

Variables	
M_i	Número de mesas que se utilizarán del tipo i , siendo $i = \{1, \dots, n\}$
MK	Número de mesas que se utilizarán para los niños.

Tabla 4. Variables del Modelo II. Fuente: Elaboración propia

$$\text{Minimizar } ANMN + \sum_{i=1}^n A_i M_i \quad (1)$$

s.a.

$$PNMN + \sum_{i=1}^n P_i M_i \geq C \quad (2)$$

$$ANMN + \sum_{i=1}^n A_i M_i \leq S \quad (3)$$

$$M_i \leq MAX_i \quad \forall i \quad (4)$$

$$PKMK \geq K \quad (5)$$

$$MK \leq MAXK \quad (6)$$

$$M_i, MK \in Z^+ \quad (7)$$

Al modelo anterior se ha añadido un nuevo dato de entrada, el cual se corresponde con cuántos comensales niños asisten a la ceremonia. A este nuevo parámetro se le ha asignado la letra K , haciendo alusión a la traducción de niños al inglés, *kids*. Además, ahora se cuenta con más tipos de mesa se corresponde con la de novios y las mesas específicas para los niños.

Respecto a las variables, ahora entran en juego una posibilidad más, las mesas de los niños. Además, se deben de actualizar las restricciones y la Función Objetivo. A ambas se les debe de añadir el factor mesa de novios. Aparece un nuevo parámetro que dice si se utiliza o no la mesa para los novios, por lo tanto, en la Función Objetivo se debe de tener en cuenta el área que ocupa esa mesa en concreto (1). Además, esta mesa también ofrece una cierta capacidad de comensales, por lo que en la primera restricción la (2), se añade el número de personas que puede ofrecer tomar un asiento la mesa de novios. Por último, tal y como pasa para la función Objetivo, en la restricción (3) se contabiliza el

área que ocupa la mesa de novios en el caso de que se coloque, ya que el total de superficie ocupada por las mesas no puede superar la superficie del salón.

A partir de ahí todas las restricciones son nuevas. La restricción (4) limita el número de mesas de los diferentes tipos al número de mesas reales que un salón puede ofrecer, para que sea un modelo matemático realista y práctico. De este modo conseguimos 2 cosas, la primera es que el modelo se adapte a la realidad del problema, ya que físicamente existe un número finito de cada tipo de mesa y la segunda cosa que se logra conseguir es que el modelo por mucho que tenga preferencia de uso por un tipo de mesa debido al ratio que pueda tener de capacidad de personas/superficie ocupada, llega un punto en el que no puede seguir usando un estilo de mesa y debe de realizar otras combinaciones con el resto de los estilos.

Por último, las restricciones (5) y (6) se relacionan con las mesas de los niños. La restricción (5) se asegura de que el número de asistentes niños a la ceremonia sea cubierto. Esto se consigue multiplicando el estilo de mesa de niños, MK , por el número de personas que caben en ellas. Además, la restricción (6) tiene como objetivo limitar el número de mesas que se pueden utilizar para los niños, siguiendo el mismo concepto que la restricción (4). Además, del mismo modo que en el Modelo I, se encuentra la restricción (7), que indica la naturaleza de las variables M_i y MK , que en este caso son las mesas que usan de cada tipo y son números enteros positivos.

5.4 Resolución Modelo II

Tras plantear el modelo matemático, se particulariza para el caso del Salón Campos.

5.4.1 Parámetros de entrada y modificaciones

La primera de las modificaciones trata de proporcionar cierto grado de libertad a los usuarios que vayan a organizar el evento, brindándoles la oportunidad de designar unas mesas en concreto.

Por un lado, en el caso de que se trate de una celebración de boda, como es habitual, se podrá disponer de una mesa específica para los novios. Esta mesa tiene una capacidad máxima de 6 personas, que en situaciones normales corresponderá a los novios y a sus padres. Además, las dimensiones de esta mesa son de 2,4 x 1,5 metros, y también es una mesa rectangular, por lo que la superficie que ocupa es de 11,02 m².

Por otro lado, como también es frecuente la celebración de comuniones y bautizo, se podrán asignar unas mesas concretamente para los niños, ya que es frecuente que tengan un menú especial y diferente al de los adultos. Para este caso, se podrán usar un máximo

de 3 mesas específicas en las que en cada una de ellas pueden sentarse 10 personas, por lo que como mucho se podrá ofrecer una mesa para 30 niños, lo cual es un número razonable. Cada una de estas mesas ocupa un total de 12,76 m², desglosado en unas dimensiones iguales a 3 x 1,5 metros, correspondiendo la primera de estas al largo y la segunda al ancho.

Como cabe esperar, estas dos nuevas características pasarán a formar parte de las variables, dado que son valores que cambiarán en función de las necesidades que plantee el problema. Respecto a la variable del número de mesa de niños, se añade a una variable más como las anteriores, teniendo como restricción que sea una variable de un número entero, dado que no se puede dividir la mesa. No obstante, la variable de la mesa de los novios tomará una condición particular dentro de las variables discretas, concretamente se considerará una variable binaria. Este tipo de variables solo pueden tomar los valores 1 ó 0. Esto es debido a que solo existen dos posibilidades, o se coloca mesa de novios (equivalente a 1) o no se coloca (equivalente a 0).

Además, otra de las conclusiones extraídas tras realizar el Modelo I es la limitación de mesas de cada tipo que existe, ya que hay un número finito de cada estilo de mesa. Concretamente el Salón cuenta con 7 mesas tipo 1, 8 mesas tipo 2, 10 mesas tipo 3 y 7 mesas tipo 4. Estas condiciones pasarán a formar parte de las restricciones, ya que son valores que no pueden ser superados, o de lo contrario, la solución hallada por *Solver* no podrá llevarse a término en la realidad.

Una vez hemos planteado el modelo matemático II, podemos implementarlo en la herramienta *Solver* para que encuentre una solución óptima al problema.

5.4.2 Solución mediante Solver Modelo II

Tal y como se realizó para la primera aproximación al problema con el Modelo I, se introduce el modelo matemático en la herramienta de Excel *Solver*. Para ello debemos de establecer las variables, la función objetivo y las restricciones en la hoja de Excel, así como dejar a modo de variables de entrada los parámetros que se deban de establecer.

Caso con mesa de novios y con margen

Optimización Modelo II						
Superficie del salón	375		¿Hay mesa de novios?	Sí		
Nº de comensales adultos	120		Nº de comensales niños	15		
	Mesa 1	Mesa 2	Mesa 3	Mesa 4	Mesa novios	Mesa niños
Cantidad de mesas	1	2	10	0	1	2
Función Objetivo	162,4					
Restricciones						
Cubrir el nº de asistentes adultos	120	=>	120	R1		
No superar el área del salón	162,4	<=	375	R2		
Máximo nº mesas de tipo 1	1	<=	7	R3		
Máximo nº mesas de tipo 2	2	<=	8	R4		
Máximo nº mesas de tipo 3	10	<=	10	R5		
Máximo nº mesas de tipo 4	0	<=	7	R6		
Mesa de novios se usa o no se usa	1	=	1	R7		
Cubrir el nº de asistentes niños	20	=>	15	R8		
Máximo nº mesas para niños	2	<=	3	R9		

Figura 16. Solución en Excel mediante Solver del caso real I. Fuente: Elaboración propia

En el caso que se adjunta primeramente vemos que la distribución contará con una mesa para los novios, por lo que la variable binaria N tomará el valor de 1.

Además, contará con la asistencia de 15 niños, por lo que como las mesas destinadas a los niños son de 10 personas y son variables enteras no negativas, vemos que se establecen 2 mesas para los niños. Por otro lado, vemos como la R5 está en su límite máximo, ya que como mucho se pueden colocar diez mesas tipo 2, y es justo el valor que propone el modelo. Por lo demás el resto de las condiciones cuentan con bastante margen, incluso el valor de la función objetivo se queda muy alejado de su restricción, obteniendo un valor de 162,4 m² mientras que su límite se establece en 375 m².

Por último, como el número de asistentes adultos es par, vemos que R1 coincide exactamente con esta solución, por el mismo motivo por el que ocurría en el caso simplificado.

Capítulo 6

Problema II. Distribución de las mesas

En este capítulo se aborda el segundo problema, la colocación óptima del número de mesas que se hayan obtenido gracias al modelo matemático planteado en el apartado anterior. Como ya se planteó en el apartado 3.2, esta decisión puede variar en función de lo que se quiera conseguir. Se podrá optar por buscar la mejor solución posible, donde simplemente se tendrá en cuenta el área disponible resultante o se podrá buscar una cierta estética, donde la solución no será óptima en términos de superficie, pero a la vista será mejor.

6. 1 Heurísticas

Las heurísticas son una técnica de resolución de problema que mediante métodos empíricos y prácticos encuentran unas soluciones suficientemente buenas, reduciendo el tiempo de cálculo de dichas soluciones. Se emplean para abordar problemas complejos donde encontrar una solución exacta puede ser una tarea muy costosa o difícil de obtener.

Algunos ejemplos de heurísticas serían:

- *Algoritmo de Greedy*, el cual se caracteriza por tomar decisiones óptimas en cada paso con la esperanza de encontrar una solución global óptima.
- *Algoritmo de búsqueda local*, este algoritmo encuentra una solución inicial y va modificando poco a poco con cada iteración con el objetivo de mejorar la solución anterior.
- *Algoritmos genéticos*, los cuales se basan principios como la selección natural y la genética para generar sus soluciones mediante procesos de evolución y recombinación.

Estas herramientas proporcionan rapidez, simplicidad y versatilidad a la hora de resolver problemas, a la vez que no garantizan una solución óptima y presentan una gran dependencia al problema. Es por ello por lo que su aplicación es frecuente en problemas como el Problema de la Mochila o el Problema de Corte de Stock en el cual nos basaremos para encontrar nuestras soluciones, así como su uso en la Inteligencia Artificial a la hora de reconocer patrones o en sistemas de recomendación y proporciona un gran uso en logística y planificación a la hora de diseñar rutas o planificar la producción. Es por ello que para la decisión de cómo colocar las mesas haremos uso de heurísticas.

6.2 Algoritmo para la Estrategia I

Una vez hemos planteado la segunda de las decisiones a tomar, se debe de poder plantear haciendo uso de alguna herramienta que nos ayude a encontrar las soluciones que buscamos. La propuesta para realizar estas heurísticas y encontrar una herramienta que consiga mostrar por pantalla un resultado será haciendo uso del lenguaje de programación de *Python*. Este lenguaje puede ser una herramienta muy poderosa para resolver problemas de estas características, dada la simplicidad a la hora de implementar y comprender algoritmos heurísticos. También cuenta con una gran cantidad de bibliotecas que nos pueden ser útiles para la optimización de problemas, además de que el rendimiento que ofrece es de los más rápidos en términos de ejecución. Por último, *Python* se integra muy bien con otros lenguajes y herramientas, por lo que su capacidad de combinación lo hace un lenguaje muy completo.

Por lo tanto, una vez hemos decidido con que programa se va a resolver el problema, hay que definir bien las características que se deben de cumplir. A continuación, se va a hacer una explicación de la estructura que seguirá el código de *Python*.

Lo primero que se debe de indicar son las bibliotecas que se van a implementar en el programa. En este caso en concreto se utilizarán bibliotecas importadas de *Matlab*.

El objetivo final del código será que muestre un gráfico que simule la vista de planta del salón con todas las mesas colocadas de forma optimizada, por lo tanto necesitaremos importar **bibliotecas** las cuales permitan crear una gran variedad de gráficos, así como agregarles títulos a los ejes, establecer la leyenda, etiquetar los ejes y personalizar varios aspectos del propio gráfico. Además, también deberemos añadir una biblioteca que nos posibilite representar formas geométricas, concretamente cuadrados y rectángulos para poder simular los tipos de mesas. Es por ello por lo que las bibliotecas que se utilizan son:

- `import matplotlib.pyplot`
- `import matplotlib.patches`

A continuación, se deben de introducir los **datos de entrada** con los que deberá trabajar el programa, que en este caso serán las dimensiones tanto del salón, de la separación mínima de 60cm, como de cada tipo de mesa, proporcionándole el largo y el ancho de cada una de ellas, para que posteriormente cuando deba de representarlo pueda tomar dichos valores. Ahora bien, para no tener que variar el código cada vez que se quiera hacer una combinación de mesas en función de la solución que nos haya proporcionado la decisión 1 mediante *Solver* debemos de introducir una función que cuando el programa se ejecute pregunte cuántas mesas se desean colocar de cada tipo, por lo que se deberá **introducir parámetros** como dato de entrada los valores de las variables que hayamos obtenido con *Solver*. De este modo, el programa ya tendrá todos los datos que necesita saber para poder colocar correctamente todo.

El siguiente paso ahora es cumplir el objetivo del problema, que consistirá en colocar ortogonalmente las n mesas rectangulares y cuadradas sin superponerse a lo ancho del salón, de forma que se minimice el largo del mismo. Se tomará como referencia de origen del plano xy la esquina inferior izquierda, siendo el eje x el ancho del salón y el eje y el largo de éste. La justificación de esta decisión es por la distribución real del Salón Campos, donde si viéramos la vista de planta del mismo, vemos que la zona de la cocina está en ese eje, por lo que la ubicación más lógica de las mesas es lo más cerca posible de la cocina, de ese modo los camareros deben caminar menos y pueden ofrecer un servicio más rápido. Por lo tanto, debemos de asegurarnos que se cumplan ambas condiciones nombradas, por lo que antes de colocar cada mesa se deberá **comprobar si hay solapamiento**. Si sí que hay solapamiento, debe desplazar la mesa en el eje x y si no hay solapamiento, debe **comprobar si cabe en esa fila**. Si aún hay espacio en dicha fila, se procede a colocarla, en cambio, si ya no cabe, debe de desplazarla en el eje y a la fila adyacente superior y repetir el proceso de comprobaciones.

Paralelamente a las comprobaciones se deben de ir colocando las mesas e ir representándolas gráficamente. Para ello, se le asignará un nombre y un color a cada estilo de mesa, de esa forma visualmente quedará muy claro de qué mesa se trata. Por lo tanto, en este paso se llevan a cabo los **plot**, tanto del propio salón como de cada una de las mesas que se van colocando.

Por último, para poder cuantificar ese provecho obtenido tras haber colocado las mesas de forma óptima, se procede a **calcular el área disponible**, la cual en nuestro caso se debe de interpretar como un beneficio. Para ello, se debe de establecer qué se considerará como área disponible. Todo lo que quede por encima del perímetro de la mesa más alejada del origen de coordenadas se considerará beneficio. Esto es debido a que si por ejemplo quedaran dos metros cuadrados “suelos” entre algunas mesas porque no cabe ninguna mesa en dicha ubicación, tampoco se podrá utilizar para otras actividades, por lo que no se puede considerar un beneficio, se considera como un coste más. Con todo esto, se **representará el área disponible** también gráficamente para que se vea clara la zona que se puede aprovechar para otros disfrutes.

Para poder entender mejor el procedimiento del código a continuación se muestra el diagrama de flujo que sigue el programa, de esta forma se puede estructurar mejor el código y el representarlo de forma esquemática facilita su comprensión y ayuda a asentar mejor el concepto.

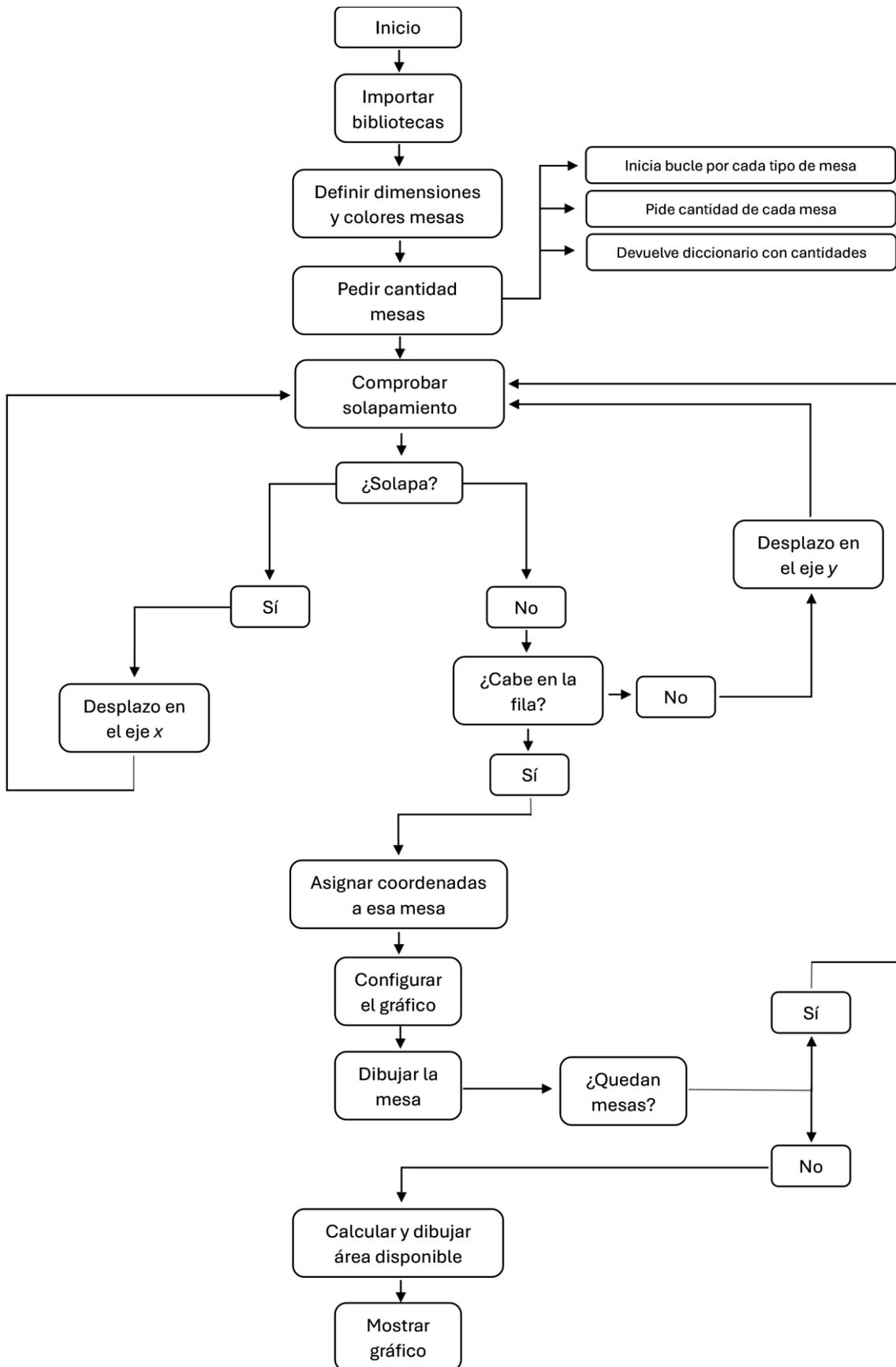


Figura 19. Diagrama de flujo para el código de la Estrategia I. Fuente: Elaboración propia

6.3 Representación gráfica Estrategia I

Tras ejecutar el código explicado anteriormente en Python, obtenemos la representación gráfica de la distribución que deben de seguir las mesas para ocupar el mínimo espacio posible. A continuación, se muestra un ejemplo de configuración cualquiera.

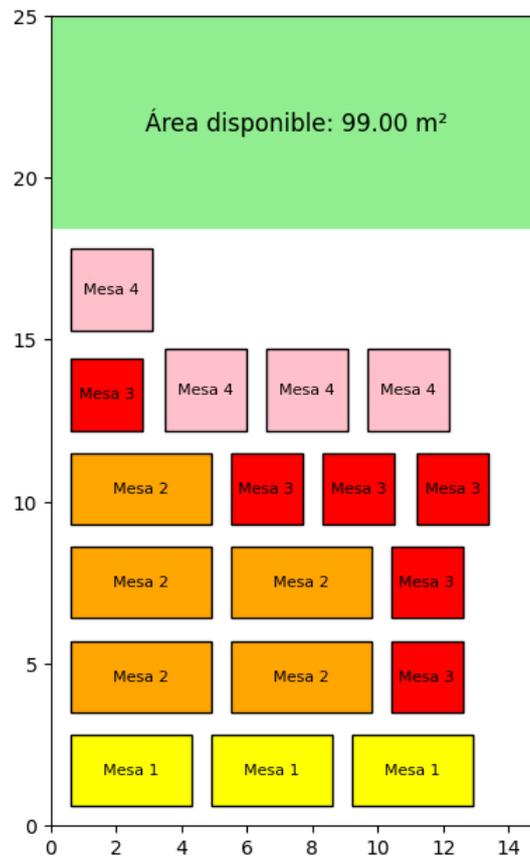


Figura 20. Representación gráfica para la Estrategia I. Fuente: Elaboración propia

En la imagen se pueden apreciar las siguientes características. La primera de ellas es el tamaño del salón, ya que tanto en el eje X como en el Y están marcados los metros del largo y ancho. La segunda característica es que cada mesa indica su tipo, además de emplear colores distintos para poder diferenciarlos sin ninguna complicación.

También, con respecto a las mesas, como bien se explica anteriormente en la memoria tanto las Mesas 3 como las Mesas 4 aparecen como cuadrados, aunque en la realidad se trate de las mesas circulares. Recaltar también que en la superficie dibujada para cada mesa se está teniendo en cuenta el espacio de 70 centímetros establecido para la ocupación de la silla con un comensal sentado en ella.

Otra de las características que se aprecia es la separación entre las mesas, la cual se establece en 60 centímetros. Esta separación se lleva a cabo tanto en los extremos del salón, para separar las mesas de las paredes, como en las 4 direcciones de las mesas.

Por último, otra característica que se puede destacar de esta representación es el apartado del área disponible. Se considera toda la superficie que se encuentre por encima de la última mesa colocada, a partir de la separación de 60 cm. Está pintada en color verde y además muestra de forma numérica su valor. En el contexto de este problema, este valor representaría el beneficio, ya que el objetivo es colocar las mesas de forma que ocupen el mínimo espacio del salón posible, para que el área disponible sea lo más grande posible y poder hacer uso de ella para otros disfrutes.

6.4 Algoritmo para la Estrategia II

Para desarrollar la representación del segundo de los posibles objetivos también se emplean códigos en Python, de forma relativamente similar al caso anterior. A continuación, se detalla la estructura y lógica que sigue el código desarrollado.

De la misma forma que para el caso anterior, se importan las bibliotecas para poder generar los gráficos, formas geométricas y visualizarlo. Seguidamente, se establecen los datos de entrada, comenzando por las dimensiones del salón, seguido de la condición de separación mínima de 60 centímetros y por último las dimensiones de las propias mesas. Además, en esta sección se establecen también los colores en los que será representado cada tipo de mesa.

A continuación, se encuentra la lógica que sigue el código para la distribución estética. A diferencia de cómo se realizaba para el caso óptimo, ahora la posición inicial se establece desde la parte superior del salón. Además, en vez de comenzar por una de las esquinas, se empieza desde el centro, ya que se busca disponer las mesas de una forma simétrica respecto al centro del salón. Se le otorga preferencia a colocar las mesas en orden de mayor a menor ancho, es decir, las mesas más anchas se colocan primero y las más estrechas las últimas.

Una vez establecido el orden, comienza el cálculo. Por un lado, se calculan cuántas mesas caben de un tipo en concreto en una sola fila, teniendo en cuenta también la separación de 60 cm y el ancho del salón. Además, para ofrecer esa simetría que buscamos, las mesas se colocan a partir del centro del salón a la izquierda y a la derecha de forma equilibrada.

Cuando ya no caben más mesas en la misma fila, simplemente se rellena en la fila adyacente inferior. En el caso en el que el número de mesas a colocar sea impar, la mesa

restante se coloca en la fila de abajo. Por último, antes de establecer la posición de cada una de las mesas se comprueba que se encuentra dentro de los límites del salón y también que no se solapa con ninguna de las otras mesas.

El último paso que realiza el código es el encargado de mostrar la distribución de las mesas gráficamente. Se establecen las figuras tanto del salón como de las mesas y posteriormente se colocan según las posiciones calculadas en el paso anterior. A diferencia de para el caso óptimo, en este no es necesario calcular ni representar el área disponible restante, ya que el objetivo no es el mismo, ahora lo que se pretende es ofrecer una distribución estética.

6.5 Representación gráfica Estrategia II

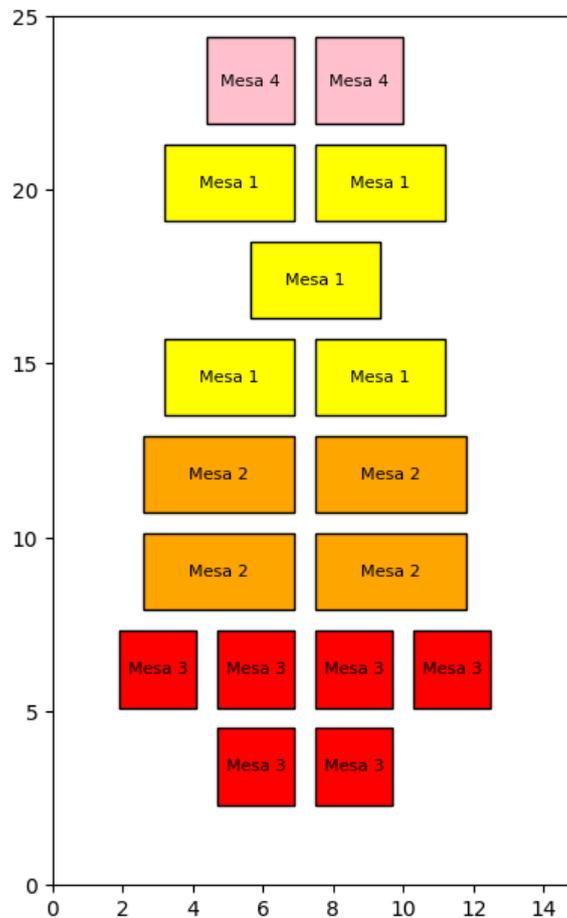


Figura 21. Representación gráfica para la Estrategia II. Fuente: Elaboración propia

La imagen anterior nos muestra la distribución propuesta por el código desarrollado en el apartado 6.4 de esta memoria. A continuación, se comentan las características más relevantes que se pueden apreciar de esta representación.

Del mismo modo que para el caso optimizado, se pueden observar los límites de las dimensiones del Salón Campos, ya que en los ejes X e Y se muestra el tamaño. Además, en función del tipo de mesa que se deba de colocar, se muestra el nombre y en un color en concreto para cada tipo.

Además, se aprecia la simetría buscada respecto al eje Y, partiendo desde el centro del salón. Cuando el número de mesas de un tipo se trata de un impar, como es el caso de la Mesa 1, donde se quieren colocar cinco mesas, se aprecia el funcionamiento descrito en el apartado anterior. Como no se pueden colocar simétricamente las mesas impares, la restante se coloca en la fila adyacente inferior.

Otra de las características que se puede apreciar es el orden de prioridad que sigue la colocación de las mesas, empezando por las más anchas. En este caso, la única mesa más ancha es la Mesa 4, mientras que las Mesas 1, 2 y 3 tienen el mismo ancho.

También se puede apreciar la comprobación de cuántas mesas caben en la misma fila. Por ejemplo, para la mesa tipo 3, como su largo es más pequeño, en una sola fila caben 4 mesas, mientras que de la mesa tipo 2, tan solo caben 2 por fila.

Capítulo 7

Conclusiones y propuestas de mejora

7.1 Conclusiones

A lo largo del presente Trabajo Final de Grado, se ha logrado desarrollar el modelo propuesto utilizando las técnicas aprendidas en la asignatura de Investigación Operativa y la programación de códigos que ayudan a mostrar las soluciones encontradas.

Este TFG aporta una contribución relevante al campo de la optimización de recursos en la hostelería y la organización de eventos. La optimización de la disposición de mesas es un problema común en la planificación de eventos, y la metodología desarrollada en este trabajo proporciona una herramienta eficaz para enfrentarlo. Además, el no solo puede emplearse este método en el contexto de la hostelería, sino que se puede extrapolar a otros campos donde la optimización y gestión del espacio sea importante.

A nivel personal, durante el desarrollo del TFG he tenido la oportunidad de aplicar conocimientos adquiridos realizando el Doble Grado a un problema real y tangible. Uno de los aspectos más gratificantes de este trabajo ha sido ver cómo un problema concreto puede descomponerse en elementos más manejables y, abarcándolos por separado, se puede acabar resolviendo. Con otras palabras, he aprendido a valorar la importancia de un enfoque sistemático para resolver problemas complejos.

El desarrollo del presente trabajo ha supuesto un desafío, pero este desafío lo interpreto como una posibilidad de crecer, no solo en habilidades técnicas, sino de brindarme la capacidad de adaptación y resiliencia. Aprender a resolver problemas que surgen, a cambiar el rumbo del camino a seguir cuando algo no funciona como se espera son experiencias que al realizar este proyecto he interiorizado.

A modo de conclusión, el desarrollo de este proyecto ha sido una experiencia que no solo me ha ayudado a expandir mis conocimientos técnicos, sino que también me ha ofrecido la oportunidad de contribuir con una solución a un problema real y extrapolable.

7.2 Posibles mejoras

Para finalizar, se plantea una serie de mejoras que se podrían implementar en el proyecto y de ese modo complementar lo desarrollado en este trabajo.

Primero de todo, una mejora que se podría aplicar al modelo matemático sería que la función objetivo pudiera tener en cuenta de algún modo la suma total de las separaciones entre mesas. Con el modelo actual, la F.O. minimiza el valor del sumatorio de la superficie que ocupan todas las mesas, pero no tiene en cuenta las separaciones que habrá entre ellas. Realmente no supone un problema para el correcto funcionamiento del programa, ya que en el apartado de Python se calcula el área disponible nuevamente, pero sería una posible mejora.

Por otro lado, del mismo modo que se ofrece poner mesas específicas para los novios y niños en el modelo matemático, se podría aplicar también en la resolución gráfica. Es decir, que además de poder representar los 4 tipos de mesa que hay, que se pudieran seleccionar y representar también los otros dos estilos.

Por último, de forma similar al aviso que realiza Solver, el cual cuando no encuentra una solución muestra un aviso, se podría implementar un aviso en Python el cual te avisara de que con el número de mesas que se ha introducido, no es posible que quepan todas. Cuando se introduce un número muy alto de mesas, el programa simplemente las coloca por fuera del perímetro del salón, por lo que aplicando un aviso previo se podría evitar este tipo de confusiones.

Bibliografía

- [1] ¿Qué es el sector de la hostelería? | 2024. *Maestrías y MBA* [en línea]. [consultado el 9 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.cesuma.mx/blog/que-es-el-sector-de-la-hosteleria.html>
- [2] El negocio de los eventos, en alza. ELLE [en línea]. 28 de mayo de 2024 [consultado el 9 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.elle.com/es/living/trabajo-finanzas/a60568418/los-eventos-360-un-buen-negocio/>
- [3] ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible | Pacto Mundial ONU. Pacto Mundial [en línea]. [consultado el 11 de julio de 2024]. Disponible en: https://www.pactomundial.org/que-puedes-hacer-tu/ods/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwoJa2BhBPEiwA0l0ImOI0j0ocDZx9BwRT6-KMtnWHJj-TgLaEHkbruNSg1HxegcRRLWnxxoCzNoQAvD_BwE
- [4] ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible | Crecimiento económico. Objetivo 8 [en línea]. [consultado el 11 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/economic-growth/>
- [5] ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible | Infraestructura. Objetivo 9 [en línea]. [consultado el 11 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- [6] ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible | Ciudades. Objetivo 11 [en línea]. [consultado el 11 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- [7] ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible | Consumo y producción sostenible. Objetivo 12 [en línea]. [consultado el 11 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- [8] ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible | Alianzas. Objetivo 17 [en línea]. [consultado el 11 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/globalpartnerships/>
- [9] International Tourism and Covid-19 | Tourism Dashboard. UN Tourism | Bringing the world closer [en línea]. [consultado el 16 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.unwto.org/tourism-data/international-tourism-and-covid-19>
- [10] Un año excepcional para el sector de la restauración en España. CaixaBank Research [en línea]. [consultado el 19 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.caixabankresearch.com/es/analisis-sectorial/turismo/ano-excepcional-sector-restauracion-espana#:~:text=El%20sector%20facturó%20cerca%20de,5%%20más%20que%20en%202022.>

[11] Saló Campos - Hacemos que tu boda sea Perfecta. Hacemos que tu boda sea Perfecta [en línea]. [consultado el 4 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://saloncampos.es/>

[12] Inici - Generalitat Valenciana [en línea]. [consultado el 6 de agosto de 2024]. Disponible en: https://dogv.gva.es/auto/dogv/docvpub/rlgv/2009/D_2009_007_ca_D_2010_054.pdf

[13] Mesas para restaurante: ¿cuál es la distancia adecuada? | Feyma. Feyma [en línea]. [consultado el 6 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://feyma.com/blog/como-saber-cual-es-distancia-adecuada-entre-las-mesas-de-un-restaurante/#:~:text=Seg%C3%BAAn%20expertos%20del%20sector%2C%20la,aproximadamente%2045%20a%2060%20cent%C3%ADmetros.>

[14] Medidas para mesas de restaurante: Altura, espacio... - Hevea Jardín. Hevea Jardín [en línea]. [consultado el 6 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://hevea.es/blog/medidas-para-mesas-de-restaurante-altura-espacio/>

[15] SciELO - Brasil [en línea]. [consultado el 10 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/bolema/a/Vbm7ZdpKvyysHsWHwHNqksS/?format=pdf#:~:text=La%20investigaci3n%20operacional%20tuvo%20sus,determinar%20cu3les%20t3cticas%20militares%20funcionaban.>

[16] J. A. Adrián, “Problemas de corte: métodos exactos y aproximados para formulaciones mono y multi-objetivo”, Universidad de la Laguna, curso 2011/2012.

[17] Distancia de seguridad. De tablero de mesa y respaldo de silla. – DIAZCARO. DIAZCARO – Consultoría técnica de arquitectura y Licencias urbanísticas [en línea]. [consultado el 12 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.diazcaro.com/distancia-de-seguridad-de-tablero-de-mesa-y-respaldo-de-silla/>

ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster: Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.		X		
ODS 4. Educación de calidad.			X	
ODS 5. Igualdad de género.			X	
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.	X			
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.	X			
ODS 12. Producción y consumo responsables.	X			
ODS 13. Acción por el clima.			X	
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.	X			

Descripción de la alineación del TFG/TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico. Optimiza la disposición de mesas en eventos, mejorando la eficiencia, productividad y calidad del servicio, lo que impulsa el crecimiento económico del sector.

ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura. Promueve la modernización del sector de eventos mediante la adopción de tecnologías que aumentan la eficiencia y reducen el desperdicio de recursos.

ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles. Fomenta la gestión eficiente de espacios, mejorando la organización y accesibilidad, con potencial para aplicarse en entornos urbanos y elevar la calidad de vida.

ODS 12: Producción y Consumo Responsables. Optimiza el uso del espacio y recursos físicos en eventos, reduciendo el impacto ambiental al minimizar el uso excesivo de materiales.

ODS 17: Alianzas para Lograr los Objetivos. Facilita la colaboración entre academia e industria, promoviendo la transferencia de conocimiento y tecnología a través de alianzas.

Anexo II. Códigos desarrollados

II.1 Código distribución optimizada

```
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.patches as patches

# Definir las dimensiones del salón y las mesas
salon_length = 15 # metros
salon_width = 25 # metros

# Definir la separación entre mesas y los bordes en metros
separacion = 0.6 # 60 cm

mesa_dimensiones = {
    "Mesa 1": (3.7 , 2.2),
    "Mesa 2": (4.3, 2.2),
    "Mesa 3": (2.2, 2.2),
    "Mesa 4": (2.5, 2.5)
}

mesa_colores = {
    "Mesa 1": 'yellow',
    "Mesa 2": 'orange',
    "Mesa 3": 'red',
    "Mesa 4": 'pink'
}

# Función para pedir la cantidad de cada tipo de mesa
def pedir_cantidad_mesas():
    cantidad_mesas = {}
    for mesa in mesa_dimensiones:
        cantidad_mesas[mesa] = int(input(f"Introduce la cantidad de
{mesa}: "))
    return cantidad_mesas

# Función para comprobar si hay solapamiento
def hay_solapamiento(ocupacion, x, y, largo, ancho):
    for (ox, oy, olargo, oancho, _) in ocupacion:
        if not (x + largo <= ox or x >= ox + olargo or y + ancho <= oy or
y >= oy + oancho):
            return True
    return False

# Función para colocar las mesas en el salón con prioridad horizontal
```

```

def colocar_mesas(salon_length, salon_width, mesa_dimensiones,
cantidad_mesas):
    ocupacion = []
    for mesa, (largo, ancho) in mesa_dimensiones.items():
        largo_total = largo + separacion
        ancho_total = ancho + separacion
        for _ in range(cantidad_mesas[mesa]):
            colocado = False
            for y in range(int(separacion * 10), int(salon_width *
10)): # Iniciar y desde separacion
                for x in range(int(separacion * 10), int(salon_length *
10)): # Iniciar x desde separacion
                    x_pos = x / 10
                    y_pos = y / 10
                    if (x_pos + largo_total <= salon_length and
                        y_pos + ancho_total <= salon_width and
                        not hay_solapamiento(ocupacion, x_pos, y_pos,
largo_total, ancho_total)):
                        ocupacion.append((x_pos, y_pos, largo_total,
ancho_total, mesa))
                            colocado = True
                            break
                    if colocado:
                        break
            return ocupacion

# Función para mostrar la distribución de las mesas y áreas disponibles
def mostrar_distribucion(salon_length, salon_width, ocupacion):
    fig, ax = plt.subplots()
    ax.set_xlim(0, salon_length)
    ax.set_ylim(0, salon_width)

    # Pintar el fondo del salón de blanco
    rect_salon = patches.Rectangle((0, 0), salon_length, salon_width,
linewidth=0, edgecolor='none', facecolor='white')
    ax.add_patch(rect_salon)

    # Colocar las mesas sobre el área
    max_y = 0
    for (x, y, largo, ancho, mesa) in ocupacion:
        rect = patches.Rectangle((x, y), largo-separacion, ancho-
separacion, linewidth=1, edgecolor='black', facecolor=mesa_colores[mesa])
        ax.add_patch(rect)
        ax.text(x + (largo - separacion) / 2, y + (ancho - separacion) /
2, mesa, ha='center', va='center', fontsize=8)
        if y + ancho > max_y: # Encontrar la posición máxima en y de la
última mesa
            max_y = y + ancho

```

```

    # Calcular y pintar la zona por encima de la última mesa, comenzando
    a 60 cm después de la última mesa
    max_y += 0 # No agregar cm adicionales después de la última mesa
    if max_y < salon_width:
        rect_green = patches.Rectangle((0, max_y), salon_length,
salon_width - max_y, linewidth=0, edgecolor='none',
facecolor='lightgreen')
        ax.add_patch(rect_green)
        area_disponible = salon_length * (salon_width - max_y)
        ax.text(salon_length / 2, max_y + (salon_width - max_y) / 2,
f'Área disponible: {area_disponible:.2f} m²', ha='center', va='center',
fontsize=12, color='black')

plt.gca().set_aspect('equal', adjustable='box')
plt.show()

# Ejecución del programa
if __name__ == "__main__":
    cantidad_mesas = pedir_cantidad_mesas()
    ocupacion = colocar_mesas(salon_length, salon_width,
mesa_dimensiones, cantidad_mesas)
    mostrar_distribucion(salon_length, salon_width, ocupacion)

```

II.2 Código distribución estética

```

import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.patches as patches

# Definir las dimensiones del salón y las mesas
salon_length = 15 # metros
salon_width = 25 # metros

# Definir la separación mínima entre mesas en metros
separacion_minima = 0.6 # 60 cm

mesa_dimensiones = {
    "Mesa 1": (3.7 , 2.2),
    "Mesa 2": (4.3, 2.2),
    "Mesa 3": (2.2, 2.2),
    "Mesa 4": (2.5, 2.5)
}

mesa_colores = {

```

```

    "Mesa 1": 'yellow',
    "Mesa 2": 'orange',
    "Mesa 3": 'red',
    "Mesa 4": 'pink'
}

# Cantidades predeterminadas de mesas (puedes ajustar estos valores)
cantidad_mesas = {
    "Mesa 1": 5,
    "Mesa 2": 4,
    "Mesa 3": 6,
    "Mesa 4": 2 # Puedes probar con números impares
}

# Función para asegurar que las mesas no se solapen y que se coloquen en
# filas adicionales si es necesario
def colocar_mesas_sin_solapamiento(salon_length, salon_width,
    mesa_dimensiones, cantidad_mesas, separacion_minima):
    ocupacion = []
    centro_x = salon_length / 2
    y_pos_actual = salon_width - separacion_minima # Empezar desde
    arriba del salón

    for mesa, (largo, ancho) in sorted(mesa_dimensiones.items(),
    key=lambda x: -x[1][1]):
        mesas_restantes = cantidad_mesas[mesa]
        while mesas_restantes > 0:
            # Calcular la cantidad de mesas que caben en una fila
            mesas_por_fila = int((salon_length - 2 * separacion_minima)
            // (largo + separacion_minima))
            mesas_a_colocar = min(mesas_restantes, mesas_por_fila)

            # Colocar mesas de manera simétrica
            for i in range(mesas_a_colocar // 2):
                x_pos_izquierda = centro_x - (i + 1) * (largo +
                separacion_minima)
                x_pos_derecha = centro_x + i * (largo +
                separacion_minima)

                # Asegurarse de que las mesas están dentro del salón
                if x_pos_izquierda >= separacion_minima and x_pos_derecha
                + largo <= salon_length - separacion_minima:
                    ocupacion.append((x_pos_izquierda, y_pos_actual -
                    ancho, largo, ancho, mesa))
                    ocupacion.append((x_pos_derecha, y_pos_actual -
                    ancho, largo, ancho, mesa))
                    mesas_restantes -= 2

```

```

        # Si queda una mesa por colocar y no cabe simétricamente,
colocarla en la siguiente fila
        if mesas_restantes % 2 == 1:
            if mesas_a_colocar % 2 == 1:
                y_pos_actual -= ancho + separacion_minima # Bajar a
la siguiente fila
                ocupacion.append((centro_x - largo / 2, y_pos_actual -
ancho, largo, ancho, mesa))
                mesas_restantes -= 1

        y_pos_actual -= ancho + separacion_minima # Bajar a la
siguiente fila

    return ocupacion

# Función para mostrar la distribución de las mesas
def mostrar_distribucion_salon_final(salon_length, salon_width,
ocupacion):
    fig, ax = plt.subplots()
    ax.set_xlim(0, salon_length)
    ax.set_ylim(0, salon_width)

    # Pintar el fondo del salón de blanco
    rect_salon = patches.Rectangle((0, 0), salon_length, salon_width,
linewidth=0, edgecolor='none', facecolor='white')
    ax.add_patch(rect_salon)

    # Colocar las mesas sobre el área
    for (x, y, largo, ancho, mesa) in ocupacion:
        rect = patches.Rectangle((x, y), largo, ancho, linewidth=1,
edgecolor='black', facecolor=mesa_colores[mesa])
        ax.add_patch(rect)
        ax.text(x + largo / 2, y + ancho / 2, mesa, ha='center',
va='center', fontsize=8)

    plt.gca().set_aspect('equal', adjustable='box')
    plt.show()

# Colocar y mostrar las mesas de forma simétrica sin solapamientos y con
ajuste para números impares
ocupacion_sin_solapamiento = colocar_mesas_sin_solapamiento(salon_length,
salon_width, mesa dimensiones, cantidad_mesas, separacion_minima)
mostrar_distribucion_salon_final(salon_length, salon_width,
ocupacion_sin_solapamiento)

```