

[193017] Diseño de modelo de asignación de trabajadores que  
minimice la exposición a riesgos higiénicos, caso de estudio:  
**Muebles Casa Quinta**

Valentina Salamanca Moreno<sup>a,c</sup> , Maria Paula Sanabria Holguín<sup>a,c</sup> , Nicolas Zamora  
Sanabria <sup>a,c</sup>,

Yenny Alexandra Paredes<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial

<sup>b</sup>Profesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

<sup>c</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

---

**Abstract**

PYMESs, Micro, Small and medium-sized companies, represent 60% of production and generate 67% of employment in Colombia. That is why the interest of generating strategies that support their growth constantly, with implementation of strategies to order and control of its workers, resources and supplies materials, focusing on reducing waste and time management to avoid extra cost on production. There are many hazards around every industry, for example, in the furniture-manufacturing sector, workers are exposed to some of them, such as noise, dust and chemical substances that are potentially harmful to humans. Exposure to these hazards can have short and long-term consequences which employers are accountable for. Therefore, the need to come up with a work and health management plan, to minimize the impact of these hazards to workers. By implementing a Tabu Search algorithm to assist operations within the production area, the exposure to these risks was reduced by 29.17% preventing future chronic diseases that workers may have.

---

**1. Justificación y planteamiento del problema**

Las PYMES, en Colombia constituidas micro, pequeñas y medianas empresas se clasifican según el número de trabajadores y de sus activos totales. Gran parte se dedican a la manufactura proveniente del aprovechamiento de los recursos naturales, este grupo representa, aproximadamente el 60% de la producción industrial del país. Principalmente se encuentra en los sectores de alimentos, textil, calzado, muebles, plástico, metalúrgico, metalmecánico, entre otros (Ramírez, 2006). En Colombia, las PYMES generan el 67% del empleo, lo cual demuestra su influencia en el sistema productivo del país y más del 31% de las exportaciones no tradicionales provienen de estas empresas (Ortega, 2019). Teniendo en cuenta su impacto, se hace necesario que el gobierno incentive a este tipo de compañías, tal como se establece en la ley 590 del 10 de julio del 2000, literal b “estimular la promoción y formación de mercados altamente competitivos mediante el fomento a la permanente creación y funcionamiento de la mayor cantidad de micro, pequeñas y medianas empresas, MiPymes”.

Hoy en día, las decisiones que se toman en las PYMES son por datos históricos o por la experiencia de las personas que ahí laboran. Para evitar inconvenientes es importante obtener todos los datos involucrados en el contexto de la decisión que se tome, sin embargo, esto no sucede ya que muchas empresas de este tipo no cuentan con gestión o inteligencia empresarial. Este tipo de tecnologías son de gran ayuda porque integran la información necesaria y unifican criterios para la toma de decisiones (Peirano & Suarez, 2005). Estas empresas, por la falta de inversión, en algunas ocasiones cuentan con riesgos para la salud de los trabajadores aún no controlados; por tal

razón, es importante tener una correcta programación y control de la producción. Con frecuencia, lo que se hace, en este tipo de compañías, es que no se genera un correcto plan para mejorar la productividad ni para llevar un control en tiempo real de sus órdenes (Vergara, 2007).

El caso de estudio será realizado en la PYME, Muebles Casa Quinta, la cual tiene una trayectoria de más de 20 años en el sector de comercialización y manufactura de mobiliario. Dentro del portafolio de servicios se contempla la manufactura de muebles a partir de maderas macizas y terminación en pinturas y lacas. Actualmente la empresa cuenta con 11 trabajadores de planta, dividido en ebanistas, quienes trabajan la madera y elaboran el producto final, y pintores que se encargan de la terminación de color y superficie. Para la fabricación de muebles se requiere el uso de maquinaria como la sierra, planeadora, cepillo, compresor y, además, productos de pintura con sustancias químicas en su composición. Basado en lo anterior surge la necesidad de minimizar los riesgos que surgen en la fabricación de muebles y a los cuales se encuentran expuestos los trabajadores de la empresa.

Con el fin de realizar un diagnóstico de las condiciones actuales de la empresa se realizaron algunas mediciones ambientales del nivel de ruido de ciertas operaciones. Estas medidas fueron tomadas con un sonómetro, regido por la norma IEC 61672- 1:2002, la cual detalla sus respectivas especificaciones de rendimiento, haciendo de este un instrumento de medición acústica confiable. Estas medidas se tomaron en determinados lugares donde el trabajador realiza alguna actividad del día. Es necesario mencionar que según las resoluciones 8321 de 1983 expedida por el Ministerio de Salud y la 1792 de 1990 expedida por los Ministerios de Salud, Trabajo y Seguridad Social, establecen que el ruido fluctuante en una jornada de 8 horas no debe ser mayor a 85 decibeles, medidos desde el oído del trabajador, en estas resoluciones también se menciona que, si este nivel es mayor, el tiempo de exposición se debe disminuir. A continuación, en la tabla número 1 se encuentran consignadas las medidas de emisión de ruido encontradas en la empresa Muebles Casa Quinta:

Tabla No. 1 Emisión de ruido encontrado en Muebles Casa Quinta.

Operación	Fuente de ruido	Nivel máximo de ruido encontrado (dB)	Tiempo promedio diario de la operación (horas)
Planear pieza de madera	Planeadora	105.3	3.5
Cortar pieza	Sierra de inglete, radial	95.6	1.5
Pintar	Compresor (Pistola de aire)	93.8	3
Lijar superficie de madera	Orbital	93.6	2.5
Martillar	Martillo	87.1	0.3
Pintar	Brocha	75.9	2

Fuente: elaboración propia

Para la fabricación del mobiliario, en Muebles Casa Quinta, se requiere que el trabajador esté en contacto con sustancias como thinner, varsol, lacas, pinturas, sellantes entre otras. Estas sustancias pueden llegar a tener tolueno entre 4- 50%, cetonas y alcoholes 4-50%. De acuerdo con la información obtenida de las fichas técnicas, la mayoría de estas sustancias se componen de los Bencenos, Toluenos y Xilenos, también llamados BTX. Los trabajadores están en contacto por largos periodos de tiempo (turnos de 8 horas) y por lo recurrente no usan protección ni se mantiene un plan de control para dichas exposiciones. A las compañías que trabajan con este tipo de sustancias se les recomienda la implementación de un programa de protección a trabajadores que incluya la protección adecuada (Ministerio del Trabajo, 2019). Los trabajadores, debido a esto, pueden contraer dos tipos de

enfermedades, agudas y crónicas. Las primeras son aquellas que se desarrollan rápidamente y suele ser fácil de diagnosticar y por lo general se centran solamente en un órgano o área del cuerpo. Las segundas, se desenvuelven a largo plazo lo cual permite que pasen desapercibidas (Ibarra-Ibarra & de Oca-Domínguez, 2014).

La mayor implicación, a corto plazo, se da por el contacto y por la inhalación. Por contacto puede causar irritación y sequedad en la piel. Por inhalación puede causar mareo, náuseas, inconsciencia, dolor de cabeza entre otros (Schenk et al., 2008). Teniendo en cuentas dichas enfermedades es importante entender que para las empresas es más económico tener personal sano que tener que pagar incapacidades o un reemplazo laboral (Domínguez, 1997.). A largo plazo, las enfermedades que se pueden desarrollar pueden ser mortales para el ser humano. Se sabe que las poblaciones expuestas a sustancias como el benceno y tolueno pueden llegar a desarrollar enfermedades cancerígenas (Cárdenas et al., 2007). Los efectos a largo plazo de la alta exposición al ruido son la disminución de la capacidad auditiva, estrés, trastornos en el sistema neurosensorial y efectos en el rendimiento (Assunta et al., 2015).

Controlar el tiempo de exposición de los trabajadores a través de diferentes medidas contribuye con la mitigación de dichas exposiciones y posibles lesiones a largo plazo. Algunos autores como Tharmmaphornphilas, Green, Carnahan & Norman (2003) proponen la implementación de un buen esquema de rotación de trabajadores. A través de un plan de asignación que considere los límites máximos permisibles de exposición para factores estresores que tenga en cuenta restricciones de ruido y de exposición a sustancias químicas, se puede llegar a tener un gran mejoramiento dentro de la calidad de vida de las personas (Tharmmaphornphilas et al., 2003). Asimismo, permitirá tener un mayor control de los recursos que se usen y por supuesto preservar la salud de los trabajadores mientras desarrollan su trabajo.

De igual modo, la asignación y control de recursos permite llevar un cronograma de quienes se encuentran trabajando en determinados productos. Este plan de asignación permite tener un control y seguimiento dentro de la empresa de qué trabajador está realizando qué actividad. De acuerdo con los registros, el principal factor de inconformismo para los clientes es el retraso en las entregas y esto depende, en gran parte, del área de producción. Al tener un cronograma de la fuerza laboral, la empresa Muebles Casa Quinta podrá tener más control de sus actividades.

La salud de los trabajadores y un correcto plan de trabajo de la fuerza laboral dentro de la empresa son factores fundamentales para el buen desarrollo de la productividad. La empresa no está realizando un correcto seguimiento de que trabajador está fabricando determinado producto. Por otra parte, los trabajadores que pertenecen al área de producción no tienen un control en cuanto a la exposición a ruido, sustancias químicas y polvo de madera. Consecuente a esto es importante generar un plan de asignación de trabajadores dentro del proceso de producción, teniendo en cuenta los límites de exposición de ruido y sustancias químicas, que permita obtener un cronograma en el cual se planifiquen eficientemente los turnos de cada trabajador, cumpliendo con los requerimientos y salvaguardando la salud de estos.

## **2. Antecedentes**

Para la rotación de trabajadores, existen distintas técnicas las cuales se basan en métodos de organización. Cada una de estas buscan profundizar completamente en la reducción de riesgos de los trabajadores o tiempo en el cual tienen que trabajar para entregar un producto. Dentro de los entornos en las fábricas manufactureras, se encuentran distintos trabajos que realizar, esto debe ser controlado y principalmente se debe tratar de no sobreexponer la fuerza laboral a factores que pueden ser perjudiciales para su vida en el futuro.

La importancia que tiene mantener el cuidado la salud de los trabajadores es muy alta, por tal razón se deben tener minimizar los riesgos a exposiciones que causen problemas de salud, a corto y largo plazo. ICONTEC cuenta con normas técnicas (NTC) que buscan mantener condiciones de trabajo adecuadas para el trabajador. En este caso se tomaron las que se centran en los vapores orgánicos, que principalmente son la NTC-1728, NTC1729 y NTC-1733 que tratan temas como la higiene, la seguridad y el uso de equipos de protección respiratoria. Siendo la primera norma la que tiene indicaciones de cómo debe ser la protección de un trabajador frente a gases tóxicos, indican cuáles deben ser los filtros que se utilizan frente a la clasificación de los vapores en los cuales entra en contacto. Sin embargo, al implementar protección no se llega a solucionar todo el problema, por eso se buscan más alternativas.

La rotación de trabajos es un problema de programación de personal en un entorno multi especializado en el cual se espera obtener un esquema de rotación de trabajadores los cuales deben ser capaces de desenvolverse en distintos espacios y labores dentro de la empresa. La asignación de tareas debe tener variables de decisión, por esta razón el autor del documento, Joao Telhada (2014) trata la programación de modelado de turnos y asignación de tareas como un problema, aquí propone que “Una forma natural de describir una solución para el ISTAP es indicar qué servicio se asigna a un determinado trabajador en un determinado período de tiempo” (Telhada, 2014). Con esto da solución a un problema integrado de programación y asignación de tareas, ubicando a cada trabajador en una actividad durante un tiempo determinado, previniendo así posibles riesgos.

Los riesgos laborales son los accidentes que pueden ocurrir dentro del trabajo que afectan directamente a la fuerza laboral, con daños físicos o psicológicos. Según Razavi et al., (2014), se logró identificar una metodología para la reducción de ruido. Durante el estudio se realizó un algoritmo genético donde los cromosomas del modelo tenían en cuenta la asignación de equipos, el tiempo de exposición y la asignación de equipo de protección. En dicho estudio se quería optimizar los siguientes enfoques, el nivel de exposición en la ubicación de cada operador y el tiempo de exposición. Se implementó el modelo en computadora en Matlab, ejecutados con datos de muestra. Como resultado del trabajo, el modelo permitió minimizar los costos totales de las estrategias de prevención de riesgos por medio de la combinación factible, donde se optimizaron los dos enfoques hablados anteriormente: la asignación óptima y la reducción del tiempo de exposición.

De igual modo, también se desarrolló un procedimiento híbrido para la asignación de trabajadores, minimizando su exposición al ruido. Sorawit Yaoyuenyong & Suebsak Nanthavanij (2006) realizaron un programa de 4 algoritmos en el cual buscaban minimizar 300 problemas del caso. Gracias a esta programación híbrida se logró resolver el 88% de los problemas planteados. Los autores mencionados también plantean como una solución alterna, cuando se tienen altos niveles de ruido, la contratación de más personas para que los trabajadores no se vean expuestos a varias horas en un solo turno. Es de total importancia prevenir la pérdida auditiva de las personas a largo plazo, y estos autores son capaces de disminuir los problemas causados en un entorno donde se tenga una alta cantidad de ruido que pueda afectar la salud (Yaoyuenyong, 2006). Es importante tener en cuenta que aparte del riesgo por la exposición a ruido también se tienen riesgos por la exposición a sustancias químicas, los cuales pueden ser mortales a futuro.

En la exposición de químicos para la operación de pintura, el operador está expuesto a sustancias con compuestos volátiles que perjudican la salud de estos por sus grados de toxicidad. Conforme con Ortiz & Rincón (2013) se debe asesorar a las compañías que hacen usos de estos para conocer qué medidas de implementación conducen a la manipulación segura y evitan riesgos de exposición crónica. Se realizó un estudio donde se lograron identificar sustancias que contienen COV (Compuestos Orgánicos Volátiles) y qué protección se puede utilizar para evitar la exposición directa de las mismas. Por otra parte, los tiempos de exposición se restringen en límites que deben ser medidos mediante la evaluación simplificada del riesgo del Instituto Nacional de Investigación y Seguridad para la Prevención de los Accidentes del Trabajo y de las Enfermedades Profesionales (INRS).

En cuanto a los riesgos en el trabajo, bajo condiciones laborales debido a problemas de salud que pueden ser causados mediante distintas actividades, la correcta asignación de trabajadores es fundamental. En el escrito realizado por Tharmmaphornphilas (2003) se desarrolla una investigación en la cual se resuelve un problema integrado de programación y asignación de tareas con una metaheurística, tomando en cuenta controles administrativos con la intención de reducir la probabilidad de pérdida auditiva de los trabajadores, junto con la exposición a sustancias químicas. “Al rotar a los trabajadores a través de diferentes trabajos durante el día fue posible reducir su exposición a niveles de ruido peligrosos” (Tharmmaphornphilas et al., 2003), con esto los autores informan que el programa consiguió reducir el tiempo de exposición de los trabajadores hasta un 58% y un valor máximo de los TWA para los trabajadores se reduce en 3.8 dB de los que se percibían de la fábrica de la cual tomaron los datos.

Bürgy et al., (2018) permite conocer cómo es la programación básica de trabajadores, pero con la problemática de perturbaciones en la demanda. También se tiene en cuenta un escenario en donde hay más pedidos de los que puede llegar a soportar la empresa y además la extensión de horarios. “La programación de trabajadores es una actividad importante en la industria de servicios, ya que tiene un importante impacto en los costos, ventas y rentabilidad” (Bürgy et al., 2018). Debido a que los trabajadores son uno de los recursos más importantes en la empresa, se requiere que se preste total atención a la manera en la cual se les distribuyen las cargas de trabajo en un tiempo determinado. Tomando en cuenta la practicidad de este modelo generado por los autores, se permite tener una carga cambiante debido a distintos factores, esto complementa la planeación que se requiere para distribuir de manera más equitativa la carga de trabajo que se le da a cada trabajador.

Por otro lado, Bürgy et al., (2018) buscan cumplir toda la demanda de tal manera que se reduzcan además los costos. Más que todo este programa va centrado en los costos como papel fundamental para las variables de decisión, donde cada una va a variar de manera dependiente a los costos de cada una de las tareas. En el artículo además se realiza otro programa el cual está centrado en minimizar la carga a los trabajadores, por esta razón al tener dos programas se realiza una comparación para analizar cuál de los dos es mejor. Se tiene en cuenta un plan de trabajo normal, demostrando que los dos programados son de total ayuda al momento de decidir sobre cómo organizar un horario para los trabajadores. Al implementar planes como estos, se puede llegar a tener un control sobre las órdenes que se están trabajando, haciendo que no se tengan retrasos en los productos y mejorando el servicio al cliente.

Un aspecto que mejora el control de la operación es el poder tener la posición del trabajador dentro de las áreas de producción. Para esto se deben tener en cuenta las etapas de producción, transformación y distribución del producto, de tal manera que si se encuentra un problema en la operación se puede rastrear a la persona a cargo con efectividad dando solución al mismo y encontrando el error para no repetirlo. Iturra y Salazar (2019) tratan la importancia de tener un seguimiento en la empresa. Asimismo, hablan de los sistemas de trazabilidad que se pueden incluir en una compañía, conociendo que puede depender del tipo de sector al que la misma pertenece.

Como se evidenció anteriormente, es relevante resaltar que para el problema que se quiere abordar de asignación de tareas para la rotación de trabajadores se debe tener en cuenta distintas variables, que minimicen los riesgos que puedan afectar la salud de los trabajadores. A partir del estudio realizado de la literatura se encontró que técnicas como modelos matemáticos, heurísticas y metaheurísticas podrían aplicarse para el caso de estudio. Por esta razón valdría la pena generar un plan de rotación de trabajadores, en la empresa Muebles Casa Quinta, que mitigue la exposición a sustancias químicas y a ruido y que a su vez lleve un seguimiento de los trabajadores.

### 3. Objetivos

*Diseñar un modelo de asignación de trabajadores que minimice la exposición a ruido, sustancias químicas y polvo de madera en el área de producción de la empresa Muebles Casa Quinta.*

Objetivos específicos:

1. Caracterizar las operaciones productivas, puestos de trabajo, identificando y valorando los factores de riesgo por exposición a ruido, sustancias químicas y polvo de madera.
2. Proponer un modelo matemático que minimice la exposición a los factores de riesgo mencionados anteriormente y desarrollar una técnica que permita solucionar el problema.
3. Construir el aplicativo que le permita conocer a la empresa el plan de rotación de trabajadores, obtenido a través del modelo propuesto.
4. Comparar los resultados obtenidos y los datos de la situación actual en la empresa para medir el impacto de la solución propuesta.

### 4. Desarrollo

A continuación, se explicarán de forma ordenada los objetivos específicos del estudio para lograr llegar al resultado propuesto.

#### 4.1 Objetivo 1

Muebles Casa Quinta pertenece al sector de manufactura de mobiliario, donde cada producto que realiza la empresa debe pasar por las mismas operaciones de tratamiento de la madera, y en cuanto a pintura depende a la técnica que el cliente desee del mismo. Para lograr conocer cómo caracterizar las operaciones de una manera adecuada en la empresa, se recurrió a observar y analizar la producción de diferentes muebles, desde la llegada de piezas de madera a la fábrica hasta la entrega del mueble al área de ventas.

La operación de manufactura empieza, en Muebles Casa Quinta, en el momento que llegan las piezas de madera a la fábrica, esta madera es restaurada de vigas de casas antiguas, posteriormente cada trabajador procede a realizar los pedidos que se le han sido asignado, Gil (2012) en su trabajo Análisis del Sector del Mueble expone que en la industria de muebles sus operaciones son mecanizadas, puesto que viene medido por el grado de homogeneidad y repetitividad de las tareas ordenados por grados de complejidad y por el uso de herramientas y maquinaria para llevar a cabo cada actividad, al igual que se considera una “producción múltiple”, esto quiere decir que a partir de la misma operación productiva se obtienen diferentes productos y esta producción es sobre pedido o encargo, ya que las órdenes de fabricación proceden de pedidos en firme de los clientes, este tipo de producción permite que se pueda ajustar la demanda.

Respecto a la demanda Muebles Casa Quinta maneja un catálogo de productos para el hogar, oficina, restaurantes y demás espacios, como se mencionó anteriormente todos estos pasan por las mismas operaciones de manufactura, en este catálogo se encuentran las siguientes referencias con sus respectivos ítems:

- Comedor: mesas de comedor en madera, mesa de comedor en corteza, sillas
- Dormitorio: camas, mesas de noche
- Sala: mesas de centro, biffe, marco espejos.

A continuación, en la tabla número 2 se presentan las operaciones de manufactura que son realizados por dos tipos de trabajadores, ebanista, que son los encargados de la transformación de piezas de madera al mueble, y pintores quienes son los encargados de darle el terminado final puliendo, sellando y dándole color. En la tabla también se encuentra el nombre de la operación y máquina con la que se realiza:



Tabla No. 2 Operaciones de Muebles Casa Quinta

Operación	Descripción	Tipo de trabajador	Maquinaria
Seleccionar madera piezas	Selección de las piezas de madera para mueble	Ebanista	Manual
Despuntar madera	Corte de piezas a medida requerida	Ebanista	Sierra de inglete compuesta deslizante
Planear	Nivelación de superficie lateral de las piezas	Ebanista	Planeadora
Cepillar	Nivelación de superficie frontal de las piezas	Ebanista	Cepillo
Prensa ensambles	Unión y prensado de ensamble con pegante para unión del mueble	Ebanista	Prensa manual
Soportes	Ajuste de soporte en estructura para estabilidad y durabilidad del mueble	Ebanista	Taladro, tornillos, martillo
Despuntar medida exacta	Corte y perfección de mueble a medida solicitada	Ebanista	Sierra de mano o pulidora
Lija ebanista	Definición final del mueble	Ebanista	Pulidora o lijadora orbital
Resane/Macillar	Tapar imperfecciones como huecos y nudos de la madera	Pintor	Manual
Lijar superficie	Lijado final para perfeccionar superficie del mueble	Pintor	Pulidora o lijadora orbital
Sellar poro	Se sella poro de la madera para poder dar color	Pintor	Compresor de pistola con soplete
Tintilla y pintura	Aplicación de tintilla y pintura al mueble	Pintor	Manual o con compresor de pistola con soplete
Lacar	Aplicación de laca o barniz para proteger la madera	Pintor	Compresor de pistola con soplete

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta estas operaciones se procedió a identificar qué riesgos higiénicos se encontraban en cada operación, la exposición a ruidos de alta escala afecta directamente a la salud ocupacional de los trabajadores, es evidente el problema de salud pública que este desarrolla, una de las principales consecuencias de esta continua exposición es la hipoacusia neurosensorial, que se define como la incapacidad total o parcial para escuchar sonidos en uno o ambos oídos, en el informe de enfermedad profesional en Colombia, realizado por la Dirección General de Riesgos Profesionales del Ministerio de la Protección de Salud, la hipoacusia neurosensorial es la cuarta morbilidad profesional en el régimen contributivo, debido a que esta exposición continua destruye fácilmente y progresivamente las células y nervios del oído interno (Martínez et al., 2012).

Para evidenciar la exposición al ruido al cual se encuentran expuestos los trabajadores, se tomaron los datos por medio del aparato de medición sonómetro, regido por la norma IEC 61672- 1:2002, la cual detalla sus respectivas especificaciones de rendimiento, haciendo de este un instrumento de medición acústica confiable y basándose en las resoluciones 8321 de 1983 expedida por el Ministerio de Salud y la 1792 de 1990 tramitada por los Ministerios de Salud, Trabajo y Seguridad Social, las cuales establecen que el ruido fluctuante en una jornada de 8 horas no debe ser mayor a 85 decibeles, medidos desde el oído del trabajador. [En la tabla número 3 y número 4 se encuentran las mediciones realizadas en cada operación dependiendo del tipo de trabajador, estas medidas se realizaron por medio de una toma de varios datos para posteriormente hallar el ruido equivalente para cada](#)

operación, sin embargo se presenta diferencia con respecto a la tabla número 1 y las tablas número 3 y 4, puesto que en la tabla número 1 fueron datos de recolección preliminares y posteriormente se hizo con mayor rigurosidad los cuales se contemplan en las tablas número 3 y 4:

Tabla No. 3 Ruido detectado en las operaciones de ebanistería en Muebles Casa Quinta

Operaciones ebanista	Seleccionar madera	Despuntar madera	Planear	Cepillar	Prensa ensambles	Soportes	Despuntar medida	Lija ebanista
Ruido al oído (dB)	77	102.1	89.1	95.4	72	76.3	87.5	87.5
Ruido a 1 metro (dB)	72.5	92.4	80.4	89.2	70.4	70.5	78.4	78.8

Fuente: elaboración propia

Tabla No. 4 Ruido detectado en las operaciones de pintura en Muebles Casa Quinta

Operaciones pintor	Resane-Macillar	Lijar	Tintillar	Sellar poro	Lacar
Ruido al oído (dB)	70	87.5	98	98	96
Ruido a 1 metro (dB)	75.6	78.2	92.5	93.6	89.6

Fuente: elaboración propia

Se debe tener en cuenta que los trabajadores usan equipo de protección auditiva, el accesorio que usan se denomina protector de oído copa u orejeras, que consiste en dos copas o casquetes, conectadas por una diadema, estos equipos de protección disminuyen el ruido entre 25 y 30 decibles dependiendo de la ficha técnica del fabricante. La atenuación real, pérdida de potencia acústica, es un valor constante para cada banda de octava, la cual es una banda de frecuencia donde la frecuencia más alta es dos veces la frecuencia más baja del sonido, la protección global es diferente según el espectro de frecuencias del ruido en cuestión, de manera que, para un mismo protector, la protección varía en cada situación, los datos sobre la atenuación se encuentran en la ficha técnica del protector auditivo (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 2003). La atenuación real se haya de la siguiente manera, donde el NRR es el criterio de protección auditiva del fabricante:

$$\text{Atenuación Real} = (\text{NRR Fabricante} - 7) - (\text{NRR fabricante} - 7) * 0.25$$

Para encontrar el nivel de exposición equivalente en una jornada se utiliza la siguiente formula:

$$Leqj = 10 \log\left(\frac{1}{T}\left(\sum ti * 10^{\frac{NPAi}{10}}\right)\right)$$

Donde Leqj es el nivel de la jornada, T es la duración total de la jornada, ti es el tiempo parcial de la exposición al ruido i durante la actividad i y NPAi es el nivel de la presión acústica de la actividad i.

Posterior al hallazgo de exposición de ruido, se realizó la tabla número 5 donde están consignados los compuestos y las sustancias químicas que intervienen en cada operación, se encontró que la mayoría de estos compuestos contienen sustancias como Benceno, Tolueno, Xileno y otras sustancias que entran al grupo de compuestos volátiles. Estos compuestos contienen alta cantidad de carbono y son liberados en el uso de pinturas, pegamentos, disolventes, lacas y demás productos usados en este tipo de manufactura, como lo es la del mobiliario.



Según estudios de la Universidad de Indiana (Bloomington, IN, EE. UU) comprueban que el uso y exposición constante a través del tiempo a estos compuestos volátiles, o como son denominados por sus siglas en inglés COV afecta directamente al cuerpo en el desarrollo e incidencia a nivel de algunos tipos de cánceres, entre ellos el de pulmón, cerebro, sistema nervioso, sistema endocrino y piel. Debido a que estos compuestos llegan directamente a los pulmones y luego se transportan por el torrente sanguíneo a todos los órganos del cuerpo y por lo tanto tienen el potencial de atacar a los órganos mencionados y otro cualquier órgano del cuerpo (Boeglin et al., 2016).

Tabla No. 5 Sustancias detectadas en las operaciones productivas de Muebles Casa Quinta

Operación	Exposición compuestos	Sustancias de compuestos
Seleccionar madera piezas	Polvo de madera	Material particulado orgánico
Despuntar madera	Polvo de madera	Material particulado orgánico sólido
Planear	Polvo de madera	Material particulado orgánico sólido
Cepillar	Polvo de madera	Material particulado orgánico sólido
Prensa ensambles	Polvo de madera, pegante industrial	Material particulado orgánico, tetrahidrofurano, metiletilcetona y ciclohexanona
Soportes	Polvo de madera	Material particulado orgánico sólido
Despuntar medida exacta	Polvo de madera	Material particulado orgánico sólido
Lija ebanista	Polvo de madera	Material particulado orgánico sólido
Resane/Macillar	Polvo de madera, pintura, pegante industrial	Material particulado orgánico sólido, tolueno, xileno, etilbenceno, ciclohexanona, acetato de 1-metil-2-metil-metoxietilo, tetrahidrofurano, metiletilcetona y ciclohexanona
Lijar	Polvo de madera	Material particulado orgánico sólido
Tintillar y pintar	Pintura, diluyente thinner	Tolueno, xileno, etilbenceno, ciclohexanona, acetato de 1-metil-2-metil-metoxietilo, metanol, hexano, butiacetona, benceno e isopropilo
Sellar poro	Sellador catalizado	Resina, dispersante tipo solvente tolueno, xileno, talco, bentonita e isobutanol
Lacar	Laca	Resina, tolueno, xileno, mateante, bentonita e isobutanol

Fuente: elaboración propia

En la Higiene Industrial existen siete tipos de contaminantes, se desea mitigar los focos que pueden llegar a causar enfermedades profesionales. En el caso del contaminante químico se han establecido unos “Valores de Límites Permisibles” (TLV) y concentraciones límite de exposición máxima para un trabajador en una jornada de 8 horas diarias (TLV/TWA). Según la Resolución 2400 del año 1979, Colombia se acoge a los VLP definidos por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (Robert, 2000). En la evaluación de contaminantes en un lugar de trabajo se obtienen unos valores numéricos en donde se expresan las concentraciones presentes de aquéllos contaminantes. Estos datos, junto con el tiempo durante el cual las personas se hallan en contacto con estos químicos configuran lo que se entiende por exposición (Bartual & Guardino, 1987).

Las concentraciones de las sustancias de compuestos químicos se establecieron en base al estudio Emission characteristics and probabilistic health risk of volatile organic compounds from solvents in wooden

furniture manufacturing, en el cual se investigó los niveles de concentración de los compuestos volátiles emitidos en la operación de fabricación de muebles. Los resultados demuestran que la concentración más alta de COV se produce en la operación de recubrimiento superior, seguido de las operaciones de recubrimiento de superficie, secado y mezclado de pintura. En total, existen un total de 17 VOC, incluidos hidrocarburos aromáticos, alcanos, alcanos halogenados, cetonas y ésteres alifáticos saturados, en 7 operaciones de emisión de VOC en el taller de procesamiento de madera y el taller de pintura. Las muestras fueron tomadas por medio de un muestreador de aire portátil (EM-5000, AMAE, China), en una altura de 1.5 metros lo cual representa la zona de respiración de los trabajadores, posteriormente se almacenaron en tubos de carbono para llegar al respectivo análisis de laboratorio de cromatografía con desorción térmica, la eficiencia del muestreo alcanza el 98,1% (Tong et al., 2018). Como los nombres de las operaciones son diferentes en el estudio en comparación a los que maneja la empresa Muebles Casa Quinta, se realizó la tabla número 6, que corresponde a la analogía de los términos de operaciones:

Tabla No. 6 Analogía de nombre de operaciones entre estudio de exposición de sustancias químicas y caso de estudio

NoEstudio Emission characteristics and probabilistic health risk of volatile organic compounds from solvents in wooden furniture manufacturing	Caso de estudio Muebles Casa Quinta
Revestimiento	Resane y macillar
Mezcla de pintura	Tintillar y pintar
Barniz de pulido	Sellar poro
Secado	Secado
Recubrimiento	Lacado

Fuente: Nombres de operaciones de adaptado de Tong et al., 2018

A continuación, en las tablas número 7,8,9 y 10 se encuentran consignados los valores de concentraciones y TWA de las operaciones que implican la exposición de sustancias químicas a los trabajadores de Muebles Casa Quinta. Se realizó la búsqueda de concentraciones límite de exposición máxima (TWA) por reactivo, en cada ficha técnica y seguridad de las sustancias. Como en este escenario los reactivos son aditivos, es necesario hallar un índice de exposición que se ve calcula de la siguiente manera:

$$\text{Exposición a la sustancia} = \frac{\text{Concentración de la sustancia}}{\text{TLV/TWA}}$$

Si el índice de exposición es  $I > 1$  existe un riesgo inaceptable de exposición que debe corregirse. Si por el contrario  $I < 1$ , la exposición es aceptable (Salazar, 2017).

Tabla No. 7 Concentraciones y TWA para la operación resanar y macillar.

Operación: Resanar y macillar				
Producto	Sustancia química	TWA (mg/m3)	Concentración aproximada (mg/m3) (+/-)	
Pintura tráfico	Tolueno	188	0.09	0.04
	Xileno	221	0.56	0.03
	Etilbenceno	442	0.15	0.04
	Ciclohexanona	40.8	ND	ND
	Acetato de 1-metil-2-metoxietilo	275	-	-
Pegante Industrial	Tetrahidrofurano	590	-	-
	Metiletilcetona	600	-	-
	Ciclohexanona	40.8	ND	ND

Fuente: Valores de concentraciones adaptado de Tong et al., 2018 y TWA de ficha técnica

Tabla No. 8 Concentraciones y TWA para la operación sellar poro

Operación: Lacar				
Producto	Identificación	TWA (mg/m3)	Concentración aproximada (mg/m3) (+/-)	
Laca catalizada	Resina	N/A	ND	ND
	Tolueno	188	0.67	0.17
	Xileno	221	10.8	19.7
	Mateante	N/A	ND	ND
	Bentonita	N/A	ND	ND
	Isobutanol	150	-	-

Fuente: Valores de concentraciones adaptado de Tong et al., 2018 y TWA de ficha técnica

Tabla No. 9 Concentraciones y TWA para la operación sellar poro

Operación: Sellar poro				
Producto	Sustancia química	TWA (mg/m3)	Concentración aproximada (mg/m3) (+/-)	
Sellador catalizado	Resina	N/A	ND	ND
	Dispersante tipo Solvente Tolueno	188	0.56	0.19
	Xileno	221	2.46	0.24
	Talco	N/A	ND	ND
	Bentonita	N/A	ND	ND
	Isobutanol	150	-	-

Fuente: Valores de concentraciones adaptado de Tong, et al., 2018 y TWA de ficha técnica

Tabla No. 10 Concentraciones y TWA para la operación pintar

Operación: Tintillar y pintar				
Producto	Sustancia química	TWA (mg/m3)	Concentración aproximada (mg/m3) (+/-)	
Pintura tráfico	Tolueno	188	0.33	0.08
	Xileno	221	1.17	0.21
	Etilbenceno	442	1.03	0.12
	Ciclohexanona	40.8	0.12	0.01
	Acetato de 1-metil-2-metoxietilo	275	-	-
Thinner	Tolueno	188	0.33	0.08
	Metanol	262	-	-
	Hexano	180	0.06	0.01
	Butiacetona	1000	0.28	0.02
	Xileno	221	1.17	0.21
	Benceno	1.6	0.39	0.21
Isopropilo	99	0.26	0.05	

Fuente: Valores de concentraciones adaptado de Tong et al., 2018 y TWA de ficha técnica

En otra instancia como los trabajadores no se encuentran a una exposición continua de 8 horas como lo menciona el TLV/TWA, se vio la necesidad de encontrar el TWA corregido para cada exposición, hallando el siguiente factor de corrección:

$$\text{Factor de corrección: } 8 * \frac{24 - \text{Tiempo en horas de exposición}}{16}$$

Para posteriormente este valor multiplicarlo por el TLV/TWA de la sustancia y así tener el TWA real, como se evidencia en las tablas 6,7,8 y 9 los productos usados están compuestos de varias sustancias, por lo cual la exposición se debe hallar a partir de la siguiente formula, para así tener la exposición total para cada trabajador:

$$\text{Exposición mezcla} = \frac{\text{Concentración sustancia1}}{\text{TLV/TWA corregido1}} + \frac{\text{Concentración sustancia2}}{\text{TLV/TWA corregido2}} + \dots + \frac{\text{Concentración sustancia N}}{\text{TLV/TWA corregidoN}}$$

El último riesgo higiénico encontrado fue el aserrín o polvillo de madera, denominado material particulado sólido, este material se encuentra en la mayoría de las operaciones de ebanistería, puesto que la exposición del mismo se evidencia al momento de lijar, cortar, cepillar y demás tratamientos de la madera. Teniendo en cuenta estas operaciones, el tamaño del residuo de madera es dependiente de la operación como se muestra en la tabla número 11 (Serret, 2016). Estos residuos por su tamaño son considerados polvo, según La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer clasifico que la inhalación y exposición del polvo de madera es cancerígeno para los seres humanos (IARC, 1995).

Tabla No. 11 Tamaño de residuos de madera en casa operación.

Operación	Residuo	Tamaño (mm)
Lijado	Lijaduras	<1
Cepillar, planear	Virutas	1-12
Cepillar, planear	Aserrín	1-10
Sierra	Corte deszumada	1-100

Fuente: Valores de tamaño adaptados de Serret, 2016

Las concentraciones de polvo que se encuentran en la tabla número 12 se obtuvieron por medio del estudio Análisis de riegos higiénicos en aserraderos, en este se utilizó equipo de medición para la recolección de muestras según el método de MDHS 14/3, el cual tiene como objetivo guiar a estos estudios sobre cómo realizar el muestreo, y garantizar el mejor rendimiento posible del método en condiciones reales de trabajo, buscando así mismo afianzarse en las normas europeas e internacionales para la medición del polvo en el lugar de trabajo (Health and Safety Executive, 2000). Posteriormente de realizar el muestreo, estos fueron analizados en un Laboratorio de Higiene Analítica. La selección de la muestra fue no probabilística, considerando el marco poblacional a un grupo de 14 empresas dedicadas a aserrado de madera, para obtener la información necesaria para clasificar las operaciones y así mismo tomar muestras más certeras, se realizaron encuestas a estas empresas sobre los datos de operaciones, descripción de estos, tareas que realizan y demás (Escobar et al.,2014).

Tabla No. 12 Concentraciones de polvo en las operaciones de Muebles Casa Quinta

Operación	Concentración en mg/m3 con IC 95%	Desviación geométrica (mg/m3)	Máxima concentración probable (mg/m3)
Seleccionar madera piezas	1.41	4.04	3.74
Despuntar madera	0.69	2.88	1.21
Planear	1.41	4.04	2.6
Cepillar	1.41	4.04	2.6
Despuntar medida exacta	0.69	2.88	1.21
Lija ebanista	1.41	4.04	2.6
Lijarla	1.41	4.04	2.6

Fuente: Valores de concentraciones de polvo adaptado de Escobar et al., 2014

En este estudio se tomó como criterio el valor del TLV-TWA del polvo de 1 mg/m<sup>3</sup>. Para el cálculo de exposición se realiza el mismo procedimiento de las sustancias químicas, encontrando que existe una sobreexposición y riesgo para cada trabajador en ciertas operaciones. Cabe resaltar que en las muestras de polvo también se lograron observar diversos tipos de hongos y bacterias, entre estos el *Aspergillus* perteneciente a la familia *phylum Ascomycota*, existen 185 especies conocidas de esta familia de hongos donde se identifican 20 perjudiciales para la salud de los seres humanos y otras especies, este se asocia a las infecciones en los senos paranasales, con sintomatología de fiebre, tos, dolor de pecho o falta de aire, este afecta a personas que sus sistema inmune es susceptible, otro hongo ubicado es el *Penicillium* que se encuentran en el suelo causando la descomposición de materia vegetal y han sido previamente asociados con asma, por último se encuentra la bacteria *Bacillus* que pueden causar una extensa cantidad de infecciones en el cuerpo humano (Escobar et al., 2014).

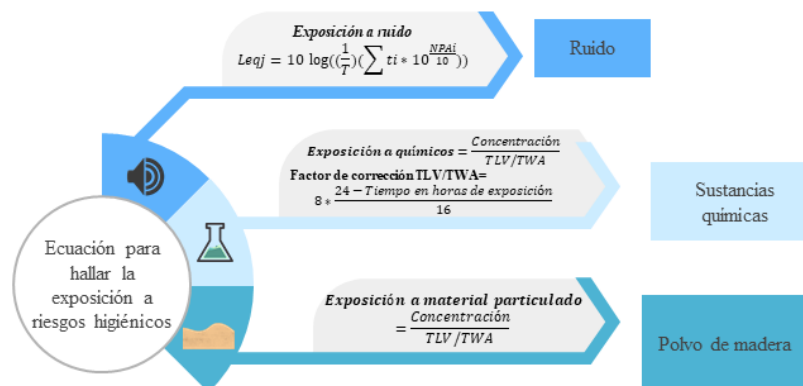
Imagen No. 1 Planta de manufactura ebanistas de Muebles Casa Quinta



Fuente: Muebles Casa Quinta

Como conclusión de este objetivo se elaboró el siguiente diagrama donde se encuentran las ecuaciones para hallar la exposición real a los riesgos a los cuales se encuentran expuestos los trabajadores de la empresa:

Figura 1. Riesgos higiénicos y ecuaciones



Fuente elaboración propia

Teniendo en cuenta las ecuaciones anteriores, las concentraciones y niveles para cada riesgo, las cuales se obtuvieron por medio de la caracterización de procesos, se procedió a hallar las exposiciones para así crear las restricciones pertinentes para lograr nivelar, penalizar y reducir estos riesgos.

## 4.2. Objetivo 2

### 4.2.1 Función Objetivo

El problema de asignación de trabajadores en Muebles Casa Quinta abarca la minimización de la exposición a diferentes riesgos lo que hace que sea un problema multiobjetivo. Si bien es cierto que este problema depende exclusivamente del tiempo en la que un trabajador es asignado una tarea, la forma en cómo se mide la exposición depende de los límites permisibles de cada riesgo. En este estudio se evalúa la exposición a ruido, a sustancias químicas y a polvo, cada uno de estos riesgos se evalúan bajo sus propios protocolos y tienen diferentes unidades lo cual hace que este problema tenga una función multiobjetivo. Para el desarrollo de este tipo de funciones hay diferentes técnicas que permiten que los diferentes objetivos sean tratados como uno solo. Dentro de las técnicas, unas de las más destacadas, son aquellas que dan una ponderación a cada uno de los objetivos y aquellas que transforman cada una de las funciones para dejarlas en igualdad de condiciones y poderlas ejecutar (Calderon & Alvarado, 2016).

La función objetivo consiste en minimizar los riesgos a los que se encuentran expuestos los trabajadores de Muebles Casa Quinta, para el cálculo de la misma, se priorizaron los riesgos por medio de la metodología de Análisis Jerárquico de Operaciones (AHP), el cual consiste en lograr resolver problemas complejos de criterios múltiples, donde se debe identificar cuál es la importancia de cada criterio que evalúa las categorías que se desean priorizar, obteniendo como resultado una jerarquización que muestra la preferencia entre cada uno. En el marco del problema en minimizar los riesgos higiénicos que afectan directamente la salud de los trabajadores de Muebles Casa Quinta se desarrolló esta herramienta.

Para evaluar cuales son los criterios que se tomarán en la metodología se evaluó directamente con los trabajadores sobre su opinión respecto a cómo consideraban que estos riesgos en una escala de 1 a 10 afectaba su salud, [la encuesta puede ser revisada en el Anexo 7 Encuesta para medir impacto de riesgos higiénicos en empresa Muebles Casa Quinta](#). Posteriormente se realizó la investigación del impacto de los mismo en un corto o largo plazo para su salud basados en los estudios citados en el objetivo No. 1, al igual se tuvo en cuenta la protección que se podía utilizar para disminuir el riesgo, estos artículos se componen en tapabocas para el polvo, tapa oídos para el ruido, guantes y carillas para sustancias químicas. En la tabla número 13 se encuentran los valores de ponderación hallados y utilizados en la función objetivo para cada riesgo.

Tabla No. 13 Ponderación de riesgos higiénicos

Riesgos higienicos	Priorización
Ruido	0.21
Sustancias químicas	0.42
Polvo de madera	0.35
	1

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la tabla anterior el riesgo con mayor impacto y peso son las sustancias químicas, posteriormente el polvo de aserrín y como último el ruido. Para mayor información sobre del desarrollo de la metodología de análisis jerárquico de operaciones (AHP) dirigirse al anexo 7.1.



#### 4.2.2 Modelo matemático

A continuación, se encuentra el modelo matemático con su respectiva explicación y resultados:

##### Conjuntos:

- Trabajadores {O}
- Referencias {R}
- Operaciones {P}
- Periodos {T}
- Químicos {Q}

##### Parámetros:

- $Tiempo_p$ : Tiempo del procesamiento de la operación  $p \in P$
- $Capacitado_{op}$ : 1: Si el trabajador  $o \in O$  esté capacitado para realizar la operación  $p \in P$ , 0: de lo contrario
- $RequiereOperacion_{rp}$ : 1: Si la referencia  $r \in R$  utiliza la operación  $p \in P$ , 0: de lo contrario
- $TiempoMaxExpoRuido_p$ : Tiempo máximo de exposición de ruido para la operación  $p \in P$
- $PPolvo$ : 0.35 Ponderación dada para la penalización del polvo
- $PQuimico$ : 0.42 Ponderación dada para la penalización debido al riesgo generado por las sustancias químicas
- $PRuido$ : 0.21 Ponderación dada para la penalización del ruido
- $Secuencia_{rpm}$ : Secuencia de operaciones de la referencia  $r \in R$  en la operación  $p \in P$
- $Comienzo_t$ : Comienzo del día en el periodo  $t \in T$ , minuto de inicio por día
- $Finalizacion_t$ : Fin del día en el periodo  $t \in T$ , minuto de finalización por día
- $PenalizacionP_p$ : 1: Si hay Penalización para polvo de madera en la operación  $p \in P$ , 0: de lo contrario, para esta penalización se calcularon previamente valores límites para determinar si ese proceso se penaliza
- $\alpha_{pq}$ : 1: Si el químico  $q \in Q$  se encuentra en la operación  $p \in P$ , 0: de lo contrario
- $Concentracion_{pq}$ : 1: Si hay concentración del químico  $q \in Q$  que se encuentra en la operación  $p \in P$ , 0 de lo contrario
- $TLV_q$ : Límite máximo permitido del químico  $q \in Q$
- $Ruido_p$ : Ruido encontrado en la operación  $p \in P$

##### Variables de decisión:

- $X_{orpt}$ : 1: Si el trabajador  $o \in O$  es asignado a la operación  $p \in P$  de la referencia  $r \in R$  en el periodo  $t \in T$ , 0: de lo contrario
- $S_{orpt}$ : Minuto en el que empieza el trabajador  $o \in O$  a realizar la operación  $p \in P$  de la referencia  $r \in R$  en el periodo  $t \in T$
- $E_{orpt}$ : Minuto en que termina el trabajador  $o \in O$  a realizar la operación  $p \in P$  de la referencia  $r \in R$  en el periodo  $t \in T$
- $L_{orpt}$ : Tiempo demora en la operación  $p \in P$  por el trabajador  $o \in O$  de la referencia  $r \in R$  en el periodo  $t \in T$
- $G_{orpt}$ : Tiempo demora en la operación  $p \in P$  por el trabajador  $o \in O$  de la referencia  $r \in R$  en el periodo  $t \in T$
- $PenP_o$ : Cantidad de penalizaciones de polvo de madera del trabajador  $o \in O$
- $PenQ_o$ : Cantidad de penalizaciones de sustancias químicas del trabajador  $o \in O$
- $PenR_{op}$ : Cantidad de penalizaciones de Ruidos del trabajador  $o \in O$  en la operación  $p \in P$
- $TLVCorregido_{oq}$ : Valor del TLV corregido de la sustancia  $q \in Q$  dependiendo del tiempo de trabajo del trabajador  $o \in O$

**Función objetivo:**

Minimizar Z=

$$\sum_{o \in O} PenP_o * Ppolvo + \sum_{o \in O} PenQ_o * PQuimico + \sum_{o \in O} \sum_{p \in P} PenR_{op} * PRuido$$

- Permite conocer en que minuto el trabajador inicia el día por referencia para cada operación:

$$S_{orpt} \geq Comienzo_t * X_{orpt} \quad \forall o \in O \quad \forall r \in R \quad \forall p \in P \quad \forall t \in T$$

- Permite conocer cuál es el minuto de fin por referencia para cada operación y trabajador:

$$E_{orpt} = S_{orpt} + Tiempo_p * X_{orpt} \quad \forall o \in O \quad \forall r \in R \quad \forall p \in P \quad \forall t \in T$$

- Permite conocer el límite superior para que no se asignen más operaciones al trabajador en el día T:

$$E_{orpt} \leq Finalización_t * X_{orpt} \quad \forall o \in O \quad \forall r \in R \quad \forall p \in P \quad \forall t \in T$$

- Asegura que las variables  $S_{orpt}$  (minuto en el que empieza) y  $E_{orpt}$  (minuto en el que termina) estén ligadas, así los momentos de inicio y fin se asignan correctamente al trabajador y operación:

$$L_{orpt} = E_{orpt} - S_{orpt} \quad \forall o \in O \quad \forall r \in R \quad \forall p \in P \quad \forall t \in T$$

- Indica tiempo total por trabajador por operación:

$$G_{opt} = \sum_{r \in R} L_{orpt} \quad \forall o \in O \quad \forall p \in P \quad \forall t \in T$$

- Permite entender que, para empezar la siguiente operación, debe terminar la operación actual:

$$\sum_{o \in O} \sum_{t \in T} E_{orpt} \leq \sum_{o \in O} \sum_{t \in T} S_{orpt+1t} \quad \forall r \in R \quad \forall p \in P / p \leq |P|$$

- Indica al trabajador, que operación realizar asignada a la referencia:

$$\sum_{o \in O} \sum_{t \in T} X_{orpt} \geq RequiereOperacion_{rp} \quad \forall p \in P \quad \forall r \in R$$

- Diferencia entre los trabajadores capacitados para hacer las operaciones de carpintería y pintura:

$$X_{orpt} \leq Capacitado_{op} \quad \forall o \in O \quad \forall r \in R \quad \forall p \in P \quad \forall t \in T$$

- Indica cual es la primera operación, y así empezar la secuencia en orden:

$$\sum_{o \in O} \sum_{t \in T} X_{or1t} = 1 \quad \forall_{r \in R} \quad \forall_{p \in P}$$

- Realiza secuencia de operaciones para que la operación continúe de manera lógica:

$$\sum_{o \in O} \sum_{t \in T} X_{orpt} + \sum_{o \in O} \sum_{t \in T} X_{ornt} \geq 2 * Secuencia_{rpn} \quad \forall_{r \in R} \quad \forall_{p \in P} \quad \forall_{n \in P, p > 1}$$

- Indica cual es la operación final para que la secuencia sepa en qué punto termina:

$$\sum_{o \in O} \sum_{t \in T} X_{or13t} = 1 \quad \forall_{r \in R} \quad \forall_{p \in P}$$

- Permite restringir que la operación no tenga más de un trabajador:

$$\sum_{o \in O} \sum_{t \in T} X_{orpt} \leq 1 \quad \forall_{r \in R} \quad \forall_{p \in P}$$

- Permite conocer si existe penalización por sobreexposición al polvo de madera:

$$PenP_o = \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} X_{orpt} * PenalizaciónP_p \quad \forall_{o \in O}$$

- Calculo TLV corregido para saber el verdadero valor del TLV:

$$TLVCorregido_{oq} = \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} 8 * \frac{24 - (\alpha_{pq}) * \left(\frac{G_{opt}}{60}\right)}{16} * TLV_q \quad \forall_{o \in O} \quad \forall_{q \in Q}$$

- Cantidad de penalización por operario debido al riesgo químico:

$$\sum_{p \in P} \frac{Concentracion_{pq}}{TLV_q} \leq 1 + PenQ_o * 1000 \quad \forall_{o \in O} \quad \forall_{q \in Q}$$

- Calculo de penalización de Ruido por tiempo expuesto a la operación por operario:

$$\frac{G_{opt}}{60} \leq Ruido_p + PenR_{op} * 1000 \quad \forall_{o \in O} \quad \forall_{p \in P} \quad \forall_{t \in T}$$

- No Negatividad:

$$S_{orpt} \geq 0; E_{orpt} \geq 0; L_{orpt} \geq 0; G_{opt} \geq 0; PenP_o \geq 0; PenQ_o \geq 0; TLVCorregido_{oq} \geq 0; PenR_{op} \geq 0;$$

- Binaria:

$$X_{orpt} \in \{0,1\}; \quad \forall_{o \in O} \quad \forall_{r \in R} \quad \forall_{p \in P} \quad \forall_{t \in T}$$

#### 4.2.3 Técnica propuesta

El modelo matemático no arrojó una solución en menos de 24 horas, por lo tanto y, debido a que es un problema NP-Hard, se vio la necesidad del desarrollo de otra técnica que le diera solución al caso. Teniendo en cuenta que se busca programar las tareas de producción de Muebles Casa Quinta se propone una solución que permita distribuir las diferentes operaciones entre los trabajadores dando como resultado el cronograma de los trabajadores de la empresa. Este se desarrolló como solución alternativa al modelo matemático previamente propuesto.

La programación de los trabajadores de la empresa se puede clasificar como un problema de asignación de la fuerza laboral ya que para ciertas tareas que se demandan se le asigna un trabajador y la línea de trabajo de cada día y para cada trabajador se va formando a partir de la previa asignación que se va realizando. Para problemas de este tipo, de programación, se utilizan diferentes técnicas para poder obtener un muy buen resultado del objetivo que se tenga. Uno de los métodos utilizados es la implementación de metaheurísticas como Algoritmo de Recocido Simulado (SA), Búsqueda Tabú (TS) y los Algoritmos Genéticos. Entre estos se destaca que el algoritmo de Búsqueda Local ha tomado gran aceptación y relevancia debido a los buenos resultados que arroja frente a los problemas de programación de fuerza laboral. (Ernst et al., 2004).

Debido a la configuración de las operaciones productivos de la empresa, se considera tomar el problema como un problema flow shop en los cuales las referencias pasan por las operaciones en el mismo orden, pero siempre teniendo en cuentas las características específicas de cada una. Ben-Daya & Al-Fawzan (1998) proponen usar la Búsqueda Tabú dentro de un problema flow shop de asignación. Esta investigación resulta en una mejora considerable de la función objetivo-propuesta frente a los algoritmos usados anteriormente (algoritmo recocido simulado). En Optimization of Flow Shop Scheduling Problem using Tabu Search Algorithm: A Case Study, se discute el problema de asignación en una fábrica de sillas de comedor en la cual el producto es fabricado teniendo en cuenta los deseos del consumidor. Aquí se tienen seis máquinas consideradas dentro de un sistema flow shop en el cual usan la búsqueda tabú para reducir el makespan de la operación. El resultado obtenido es mucho mejor que el que se tenía para el problema con el algoritmo CDS (Campbell Dudek Smith).

Para el desarrollo de la Búsqueda Tabú se realizaron cambios para poder distribuir de mejor forma las cargas laborales y que cada trabajador no tuviera trabajos tan seguidos y así disminuir los riesgos. Ya que el programa está diseñado para ir programando las actividades día a día, los cambios se hacen, entre operadores, con las operaciones de las referencias que están planeadas para ese día. El tiempo del día en el que se desarrolla la actividad no cambia con respecto a lo que principalmente se programó, lo que cambia es la persona que va a realizar dicha tarea.

#### 4.2.4 Pseudocódigo

A continuación, se encuentra el pseudocódigo del programa propuesto para Muebles Casa Quinta. En este se muestra tanto la solución inicial del problema, teniendo en cuenta diferentes criterios, como la búsqueda Tabú para el mismo.

### Cargar datos

**For i = 1 to Cantidad de días**

Recibir orden

**For j = 1 to Cantidad de horas**

**For r = 1 to Referencias**

Evaluar si la referencia ya está empezada o debe empezar el día i

Ubicar operación: evaluar los requerimientos de la operación

**For m = 1 to Número de trabajadores**

**If el trabajador cumple con los requisitos then**

Asignar la operación de la referencia a dicho trabajador

Actualizar datos del trabajador (Cantidad de ruido y penalización por sustancias químicas y polvo) y de la referencia que se está haciendo

**End if**

**Next m**

**Next r**

**Next j**

Calcular la función objetivo por día

Guardar el valor de la función objetivo de cada día

**Búsqueda Tabú**

Cargar datos necesarios

**For j = 1 to Número de iteraciones**

**For m = 1 to Número de referencias**

Guardar datos (minuto inicio, duración, trabajador asignado, minuto fin)

**For p = 1 to Número de trabajadores**

**If el trabajador cumple con los criterios para el cambio then**

Guardar trabajador en el vector

**End if**

**Next p**

Escoger aleatoriamente el trabajador a cambiar entre los posibles cambios

Calcular diferencias de condiciones entre el trabajador actual y el escogido antes del cambio

Simular cambio

Calcular diferencias de condiciones entre el trabajador actual y escogido después de simular el cambio

**If la diferencia entre trabajadores antes es mayor a la diferencia entre trabajadores después then**

Realizar el cambio

Calcular función objetivo

**If la función objetivo es mejor que la que se tenía anteriormente then**

Guardar la mejor función objetivo

Guardar resultado de asignación de dicha función objetivo

**End if**

**End if**

Marcar matriz tabú

**Next m**

**Next j**

Imprimir resultado

Reiniciar el día

Sumar la función objetivo del día a la función objetivo total

**Next i**

Imprimir función objetivo total

### 4.2.5 Parametrización de la metaheurística

Para la validación de la parametrización de la metaheurística se realizaron diferentes corridas del programa cambiando el tiempo en lista y el número de iteraciones. Se usaron 100, 500 y 1000 para el número de iteraciones y para cada una de estas corridas se utilizó 5, 10 y 15 como tiempo en lista. Posteriormente, para el análisis de esta técnica, se tomó como factor 1 el número de iteraciones y como factor 2 el tiempo en lista, dando a los resultados como la variable dependiente. Los resultados obtenidos se ingresaron a SPSS y mediante el análisis de un modelo lineal general univariante se obtuvo el siguiente resultado:

Figura No. 2 Análisis univariante de la varianza

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Resultados

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	122307,964 <sup>a</sup>	8	15288,496	1,286	,310
Intercept	1349119232	1	1349119232	113507,735	,000
Iteraciones	82594,223	2	41297,111	3,475	,053
Tiempo	622,593	2	311,297	,026	,974
Iteraciones * Tiempo	39091,148	4	9772,787	,822	,528
Error	213942,655	18	11885,703		
Total	1349455483	27			
Corrected Total	336250,619	26			

a. R Squared = ,364 (Adjusted R Squared = ,081)

Fuente: SPSS

Según estos resultados existe una diferencia significativa de 0.053 de las iteraciones por lo tanto el valor que parametriza la técnica es de 100 iteraciones. Por lo tanto, el resultado de la técnica se parametriza con el criterio de parada de 100 iteraciones.

#### 4.2.6 Comparación del modelo matemático y de la técnica propuesta

Se realizaron varias validaciones de los dos modelos con la misma cantidad de datos para validar la técnica propuesta obteniendo así los siguientes resultados: Para las comparaciones se evaluó el GAP entre los dos modelos, encontrando los siguiente:

$$GAP: \Delta = \frac{Z_{heurística} - Z_{óptimo}}{Z_{óptimo}} * 100\%$$

Tabla No. 14 Comparación de resultados de los dos modelos

Referencias	Días	Modelo matemático		Metaheurística		GAP
		Tiempo (min)	Función Objetivo	Tiempo(min)	Función Objetivo	
2	2	0.002	3.47	0.103	3.47	0
2	4	0.010	3.47	0.167	3.47	0
3	4	0.038	5.21	0.185	5.21	0
4	4	0.045	6.94	0.208	6.94	0
5	4	0.063	8.68	0.223	8.68	0
6	4	0.077	10.42	0.226	10.42	0
7	4	0.223	12.15	0.231	12.15	0
8	4	0.363	13.89	0.237	13.89	0
15	5	10.30	20.05	0.428	24.31	21%
16	6;	20.05	20.31	0.550	24.41	20.18

Fuente: elaboración propia



Como se puede evidenciar en la tabla número 14 a medida que se corre el modelo matemático con más datos de referencias y periodos, el tiempo de proceso aumenta, por lo tanto, se vio la necesidad de desarrollar la otra técnica solución que corresponde a la metaheurística.

### 4.3. Objetivo 3

El aplicativo final da como resultado un cronograma de cada trabajador a lo largo del horizonte de planeación. El programa está diseñado para dar a conocer, por día, las operaciones que cada trabajador tiene que realizar. La figura 3 muestra un esquema que muestra ver el orden final.

Figura No. 3 Planeación de la fuerza laboral obtenida por aplicativo

**PLANEACIÓN DE LA FUERZA LABORAL**

John Robles		
Día		1,00
8:01:00		
8:30:00		
8:31:00	CMCOP6	10,00
9:20:00	CMCOP6	10,00
9:21:00		
11:20:00		
11:21:00	CMCOP6	13,00
12:20:00	CMCOP6	13,00
12:21:00	Almuerzo	
13:20:00	Almuerzo	
13:21:00		
HORAS		1,83
Cantidad Ruido		73,20
Penalización Químicos		0,00
Penalización Polvo		1,00
Alfonso Robles		
Día		1,00
8:01:00		
10:20:00		
10:21:00	CMCOP6	12,00
11:20:00	CMCOP6	12,00
11:21:00		
12:01:00	Almuerzo	
13:00:00	Almuerzo	
HORAS		1,00
Cantidad Ruido		74,72

John Robles		
Día		2,00
8:01:00		
10:10:00		
10:11:00	CMNP4	9,00
11:00:00	CMNP4	9,00
11:01:00	CMNP4	10,00
11:50:00	CMNP4	10,00
11:51:00	CMNP4	11,00
12:50:00	CMNP4	11,00
12:51:00	Almuerzo	
13:50:00	Almuerzo	
13:51:00	CMNP4	12,00
14:50:00	CMNP4	12,00
14:51:00	CMNP4	13,00
15:50:00	CMNP4	13,00
15:51:00	SNX	13,00
16:50:00	SNX	13,00
16:51:00		
HORAS		5,67
Cantidad Ruido		79,95
Penalización Químicos		0,00
Penalización Polvo		1,00
Alfonso Robles		
Día		2,00
8:01:00		
9:20:00		
9:21:00	CMCOP6	11,00

John Robles		
Día		3,00
8:01:00	SNX	13,00
9:00:00	SNX	13,00
9:01:00	SNX	12,00
10:00:00	SNX	12,00
10:01:00	SNX	13,00
12:01:00	Almuerzo	
13:00:00	Almuerzo	
13:00:00	SNX	13,00
13:01:00		
HORAS		4,00
Cantidad Ruido		79,33
Penalización Químicos		0,00
Penalización Polvo		0,00
Alfonso Robles		
Día		3,00
8:01:00	SNX	11,00
9:00:00	SNX	11,00
9:01:00		
12:01:00	Almuerzo	
13:00:00	Almuerzo	
HORAS		1,00
Cantidad Ruido		74,72
Penalización Químicos		0,00
Penalización Polvo		0,00
Oracio		
Día		3,00

John Robles		
Día		4,00
8:01:00		
12:01:00	Almuerzo	
13:00:00	Almuerzo	
HORAS		0,00
Cantidad Ruido		0,00
Penalización Químicos		0,00
Penalización Polvo		0,00
Alfonso Robles		
Día		4,00
8:01:00		
12:01:00	Almuerzo	
13:00:00	Almuerzo	
HORAS		0,00
Cantidad Ruido		0,00
Penalización Químicos		0,00
Penalización Polvo		0,00
Oracio		
Día		4,00
8:01:00		
12:01:00	Almuerzo	
13:00:00	Almuerzo	
HORAS		0,00
Cantidad Ruido		0,00
Penalización Químicos		0,00
Penalización Polvo		0,00
Manuel		
Día		4,00

Fuente: elaboración propia

Para cada trabajador se muestran tres columnas, la primera muestra las horas del día, la segunda el nombre de la referencia en la que está trabajando (codificación) y en la tercer la operación en la cual está trabajando de dicha referencia, dentro de este horario también está demarcada la hora de almuerzo. Adicionalmente, para cada trabajador, se muestra el total de horas trabajadas, la cantidad de ruido y sustancias químicas a la que estuvo expuesto durante el día.

Este aplicativo será de gran ayuda para las personas encargadas de la planeación de la producción en Muebles Casa Quinta. Les ayudará a mantener un orden de los trabajos que se deben hacer durante el día y de las referencias en las que se está trabajando, así como de las diferentes etapas del proceso. El aplicativo también tiene como función ayudar a la empresa a mantener el orden y control de tiempos dentro de su producción ya que como se muestran las horas en las que un trabajador debería empezar y acabar una tarea se espera que los tiempos de procesamiento sean más controlados y que en un futuro la tardanza de la producción sea cero. Por otra parte, es útil para los trabajadores poder conocer qué tareas específicas tiene que realizar durante el día pues así puede organizar su tiempo y su enfoque estará en cumplir los tiempos de producción siguiente con los lineamientos y estándares de cada producto.

El área de producción será la encargada de manejar el aplicativo, una vez que entre una orden esta podrá ser ingresada dentro del programa, por la persona encargada, y al correr el mismo este arrojará como se deberá organizar la producción teniendo en cuenta todas las condiciones que se tiene hasta el momento. La pertinencia del programa recae no solo en que se podrá tener un mejor control de la producción en Muebles Casa Quinta, sino en que hay un control de los riesgos de los trabajadores, minimizando no solo la exposición a estos. sino su

ausentismo por posibles enfermedades que puedan causar estos riesgos. El manual de funcionamiento del aplicativo se puede ver en el Anexo 5.

#### 4.4 Objetivo 4

Para lograr comparar la situación actual y la solución propuesta se ingresaron las mismas órdenes de pedido, la referencia de cada una, el día de inicio y día máximo para entrega, en un marco de 7 días, como se encuentra en la tabla número 15:

Tabla No. 15 Ingreso de ordenes para el día la situación actual y solución propuesta

Descripción orden	Referencia	Día inicio	Día fin
Mesa comedor flormorado 1,20*90	CMNP4	1	6
Mesa comedor corteza 6 puestos	CMCOP6	1	6
Silla en madera flormorado X	SNX	1	6
Silla en madera flormorado X	SNX	1	6
Silla en madera flormorado X	SNX	1	6
Silla en madera flormorado X	SNX	1	6

Fuente: elaboración propia

Al comparar los resultados de la asignación actual en la empresa en estudio se encontró lo siguiente:

Tabla No. 16 Porcentaje de trabajadores ocupados con asignación actual vs. asignación propuesta

% de trabajadores ocupados /Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Actual	55%	82%	36%	64%	100%	100%	100%	82%	36%
Propuesto	100%	100%	36%	64%	100%	73%	100%	82%	82%

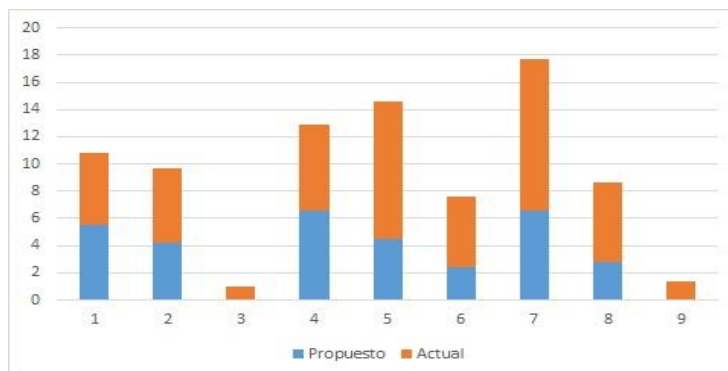
Fuente: elaboración propia

Tabla No. 17 Valor de la función objetivo actual teórica vs la propuesta

Actual	Propuesto
51,76	32,65

Fuente: elaboración propia

Figura No. 4 Gráfica de resultados situación actual y resultados de propuesta



Fuente: elaboración propia

Como se observa, el nivel de trabajadores ocupados, por día, mejora considerablemente, puesto que, antes se encontraban solo tres días con una ocupación del 100% y ahora hay cinco días con este valor. Respecto a la función objetivo, si bien es cierto que es un valor que no va a ser de uso de la empresa, este es un valor ponderado de los riesgos en estudio que ayuda a medir el impacto de los resultados, este valor disminuye en un 36.93%. También se encontró el valor de la función objetivo por día, como se muestra en la figura número 4, en la mayoría de los días este valor disminuye y no es mayor al que se tiene hoy en día. Por otra parte, se evidencia, en el cronograma actual de la empresa (Anexo 6), que la mayoría de operaciones se realizan en horas de la mañana, siendo estos uno tras otro sin ningún tiempo intermedio. Gracias a la solución propuesta la carga laboral se distribuye entre los diferentes trabajadores, aprovechando al máximo toda la jornada laboral y teniendo espacios de tiempo que le permiten al trabajador no estar continuamente expuesto a los riesgos higiénicos en estudio. Logrando así el siguiente esquema para la asignación de operaciones a cada operario:

Figura No. 5 Esquema asignación de operaciones a cada trabajador de Muebles Casa Quinta

Trabajador	Lunes (8am-5pm)	Martes (8am-5pm)	Miércoles (8am-5pm)	Jueves (8am-5pm)	Viernes (8am-5pm)	Sábado (8am-12pm)
Ebanista 1	▲▲▲▲	◆		▲▲▲▲	◆◆◆◆	
Ebanista 2	●●	◆◆◆◆		▲▲▲▲	◆◆◆◆	
Ebanista 3	▲▲▲▲	◆◆◆◆		▲▲▲▲	◆◆◆◆	▲
Ebanista 4	▲▲▲▲	◆◆		▲▲▲▲	◆◆◆◆	▲▲
Ebanista 5	▲▲▲▲	◆◆		▲▲▲▲	◆◆◆◆	▲
Ebanista 6	▲▲	◆◆◆◆		▲▲▲▲	◆◆◆◆	▲▲
Ebanista 7	▲▲	◆◆◆◆		▲▲▲▲	◆◆◆◆	
Pintor 1	■	■	■		■	■
Pintor 2	■	■	■		■	■
Pintor 3	■	■	■		■	■
Pintor 4	■	■	■		■	■

Operaciones ebanista			Operaciones pintor		
▲ Selección de maderas	◆ Presas ensamblajes	■ Selección de cortinas	■ Resamar	■ Lijar	■ Sellar pero
● Despuntar piezas	◆ Soportes	■ Despuntar final	■ Lijar	■ Trastillar	■ Lacer
■ Planear	◆ Cepillar	■ Lija ebanista			

Fuente: elaboración propia

En la tabla número 18 se observa la penalización que obtiene un trabajador por exposición a sustancias químicas y a polvo (cada unidad cuenta como una sobre exposición). Por otro lado, se encuentra la cantidad total de ruido a la que está expuesto un trabajador, en decibeles.

Tabla No. 18 Resultados de exposición por cada trabajador

Dia	Dia 1			Dia 2			Dia 3			Dia 4			Dia 5			Dia 6			Dia 7			Dia 8			Dia 9			
	R (Db)	Q	P	R (Db)	Q	P	R (Db)	Q	P	R (Db)	Q	P	R (Db)	Q	P	R (Db)	Q	P	R (Db)	Q	P	R (Db)	Q	P	R (Db)	Q	P	
Riesgo	65,8	0	2	63,6	0	1	0	0	0	70,2	0	3	70,6	0	2	83,6	0	1	72,3	0	3	63,6	0	0	0	0	0	0
Ebanista 1	70,2	0	3	63,8	0	1	0	0	0	70,2	0	3	70,5	0	2	0	0	0	70,9	0	3	63,4	0	1	0	0	0	0
Ebanista 2	81,1	0	3	68,3	0	2	0	0	0	70,7	0	3	66,7	0	1	0	0	0	81	0	2	63,4	0	0	0	0	0	0
Ebanista 3	68,7	0	2	63,9	0	0	0	0	0	85	0	2	64	0	1	59,7	0	1	80,8	0	2	63,4	0	1	0	0	0	0
Ebanista 4	83,6	0	1	66,7	0	1	0	0	0	71,3	0	4	64	0	1	83,6	0	1	80,9	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Ebanista 5	68	0	2	63,6	0	0	0	0	0	85	0	1	66,7	0	1	59,7	0	1	72,3	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Ebanista 6	83,7	0	2	63,6	0	0	0	0	0	70,2	0	3	80,8	0	1	0	0	0	81,1	0	1	50	0	0	0	0	0	0
Ebanista 7	73,2	0	1	79,9	0	1	74,7	0	0	0	0	0	79	0	1	81,3	0	0	74,7	0	0	81,9	0	1	72,7	0	0	0
Pintor 1	74,7	0	0	80,4	0	1	74,7	0	0	0	0	0	79	0	1	81,3	0	0	76,8	0	0	81,1	0	1	0	0	0	0
Pintor 2	74,7	0	0	78,3	0	4	77,7	0	0	0	0	0	75	0	1	81	0	2	72,7	0	0	79,7	0	2	72,7	0	0	0
Pintor 3	0	0	0	79,6	0	1	72,7	0	0	0	0	0	75,4	0	1	80,9	0	1	77,9	0	1	78,1	0	2	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia

En el esquema de la figura No. 4 se encuentran espacios libres dentro de la jornada laboral de los trabajadores, en estos el trabajador ya sea ebanista o pintor es asignado a operaciones de limpieza y mantenimiento de maquinaria y aseo general de la planta, estos permiten mitigar desde la fuente los riesgos higiénicos de la empresa, puesto que impide la acumulación del polvo de madera obteniendo un ambiente limpio, evitando al igual el daño de maquinaria, estas deben tener un mantenimiento preventivo para evitar el desgaste de las correas y que así el motor genere más ruido, respecto a las sustancias químicas los pintores deben tener en cuenta la limpieza constante de la boquilla de la pistola de soplete, puesto que esta se puede atascar y colapsar, igualmente la generación de residuos en la máquina. En el caso de los ebanistas estos espacios libres también permiten que los ebanistas puedan realizar instalaciones de muebles.

## 5. Resultados

En primer lugar, se realizó la caracterización de los procesos productivos de la empresa Muebles Casa Quinta, definiendo la ruta de procesamiento para los productos ofrecidos y los riesgos involucrados para cada una de las operaciones de la empresa. Hay que tener en cuenta que las concentraciones de sustancias químicas y polvo son concentraciones investigadas en la literatura debido a que no fue posible su medición dentro de la empresa. Los niveles de ruido que se encontraron si pertenecen específicamente a cada uno de los procesos del área de producción

Gracias a dicha caracterización se realizó el modelo matemático para la asignación de trabajadores a cada una de los procesos requeridos por la empresa (estos dependen de las referencias que se necesitan producir). Debido a que no fue posible un total desarrollo del problema mediante el modelo matemático se procedió a realizar un aplicativo que permita a la empresa a saber cuál es la distribución de las cargas de cada uno de los trabajadores involucrados en la producción. En dicho aplicativo la empresa puede ingresar las órdenes requeridas y saber que trabajador va a realizar las operaciones que sean requeridas, así como el seguimiento de los riesgos a los cuales está expuesto. El aplicativo fue diseñado con su respectivo manual que le permite al usuario de la empresa poder manejar de forma correcta el aplicativo. En este se explican posibles cambios que se pueden hacer y describe las características de la herramienta para la asignación de trabajadores. La técnica propuesta logró una mejora considerable en la función objetivo del problema.

### 5.1. Medición del impacto

Al realizar la comparación de la situación actual de la empresa con el resultado obtenido en el aplicativo se encontró una mejora en la redistribución de la carga laboral dentro del área de producción. Así como espacios entre operaciones en los cuales las personas “detienen” su exposición a polvo, sustancias químicas y ruido. Esta nueva asignación de trabajadores tendrá un impacto que podría disminuir enfermedades cotidianas como la gripe (causadas por el polvo) que no solo afectan la vida del trabajador, sino la continuidad de los procesos dentro de Muebles Casa Quinta. A largo plazo, se podrá ayudar a disminuir posibles enfermedades crónicas como el cáncer que se puedan llegar a presentar por las largas y continuas jornadas de exposición a sustancias químicas, polvo y ruido.

Asimismo, se desarrolló el aplicativo junto a un manual de uso que le permitirá a la empresa, más específicamente al jefe de producción, organizar de una manera más efectiva y amigable con los trabajadores las operaciones a realizar durante el día, también le permitirá tener acceso a posibles niveles de riesgo a los que pueda estar expuesto un trabajador. Se espera que esta herramienta sirva de ayuda para la planeación de futuras órdenes dentro de Muebles Casa Quinta.

## **6. Limitaciones, conclusiones y recomendaciones**

### **6.1. Limitaciones**

Se encontró en limitaciones el no poder realizar el muestreo de las concentraciones de sustancias químicas y polvo en la empresa Muebles Casa Quinta, a causa de la situación de pandemia por el virus SARS COVID19, teniendo en cuenta lo anterior, las concentraciones se obtuvieron por medio de la literatura. Las sustancias químicas se encontraron en el estudio Emission characteristics and probabilistic health risk of volatile organic compounds from solvents in wooden furniture manufacturing realizado en el año 2018 y las concentraciones de polvo en base al estudio Análisis de riesgos higiénicos en aserraderos del año 2014.

### **6.2. Conclusiones**

En el presente estudio se realizó un modelo de asignación de trabajadores que permite tener un cronograma visual para asignar al detalle el horario en el que un trabajador está realizando una operación, al igual lograr minimizar los riesgos higiénicos a los cuales el trabajador se encuentra expuesto. En primera instancia se caracterizaron los procesos de la empresa Muebles Casa Quinta, la cual se dedica a la fabricación de mobiliario, se evidencio que, para la fabricación de cada mueble, este debe pasar por los mismos procesos, esto quiere decir que son operaciones mecanizadas, las cuales tienen un grado de homogeneidad y repetitividad para cada una. Con el análisis global se logró identificar cuáles son los riesgos que afectan directamente a la salud y seguridad de los trabajadores de esta empresa, encontrando al ruido causado por la maquinaria y herramientas, las sustancias químicas de las cuales están elaborados los productos usados en las operaciones, y el polvo causado en el tratamiento de la madera.

Para el riesgo de ruido se tomaron medidas por medio de un sonómetro encontrando ruidos hasta de 102 decibeles en la planta. Respecto a los valores de sustancias químicas y polvo se tomaron como referencia los valores de un estudio de operaciones. Se evidenció que existe una mayor exposición a sustancias químicas en las operaciones de pintar, sellar poro y lacar, en cuanto al polvo existe una sobreexposición en las operaciones que implican un desgaste de la superficie de la madera, tales como lijar, planear, cepillar.

En segunda instancia se realizó el modelo matemático de programación lineal entera mixta en la herramienta Gusek. En este se formularon restricciones para cada uno de los riesgos en estudio y se establecieron las operaciones a realizar para las referencias, lo que indico un problema de secuenciación, al igual que la necesidad de trabajar en distintos días para la finalización de una referencia. La función objetivo se basó en minimizar los riesgos para cada trabajador teniendo en cuenta los valores de los pesos ponderados establecidos mediante un AHP para cada uno de los riesgos teniendo en cuenta las necesidades de la empresa.

Debido a que lo anterior constituyó un problema NP-hard, se decidió implementar una metaheurística basado en un algoritmo de Búsqueda Tabú en el cual se tuvieron en cuenta tiempos de procesamiento, la demanda establecida por la empresa y el cargo del trabajador, esto con el fin de hacer una correcta distribución de operaciones entre los trabajadores cada día del horizonte de planeación. La parametrización de la metaheurística fue definida mediante un diseño experimental encontrando a las interacciones como el factor significativo. Gracias a esta técnica, la función objetivo actual se logró disminuir en un 36,93%. Junto a el aplicativo se desarrolló un manual de uso que le permitirá al usuario (jefe de producción) tener un control sobre las operaciones realizadas por cada uno de los trabajadores, así como el control a la exposición a sustancias químicas, polvo y ruido de cada uno, preservando la salud de cada persona y minimizando posibles enfermedades a futuro.

### **6.3. Recomendaciones**

Implementar el aplicativo desarrollado para nivelar y hacer un mejor uso de la fuerza laboral, permitiendo que haya un mayor porcentaje de ocupación de los trabajadores y su exposición a los riesgos higiénicos como lo son el ruido, sustancias químicas y polvo de madera, sea menor, así mismo, los trabajadores

deben mantener condiciones de seguridad adecuadas, y que la empresa pueda otorgar los elementos de protección personal y elección de equipos de trabajo adecuados que generen niveles de riesgos más bajos.

Adicionalmente, en el artículo 57 del Código Sustantivo del Trabajo menciona como obligaciones especiales del empleador “*Procurar a los trabajadores locales apropiados y elementos adecuados de protección contra los accidentes y enfermedades profesionales en forma que se garanticen razonablemente la seguridad y la salud.*” Y el artículo 348 donde se habla sobre la seguridad y salud del trabajador, cita lo siguiente “*Todo empleador o empresa están obligados a suministrar y acondicionar locales y equipos de trabajo que garanticen la seguridad y salud de los trabajadores; a hacer practicar los exámenes médicos a su personal y adoptar las medidas de higiene y seguridad indispensables para la protección de la vida, la salud y la moralidad de los trabajadores a su servicio; de conformidad con la reglamentación que sobre el particular establezca el Ministerio del Trabajo.*” (Código Sustantivo del Trabajo, 2011)

Es importante mencionar que si la empresa no tiene en cuenta lo estipulado por la ley se expone a sanciones por parte de Ministerio de Trabajo hasta de 12.326.27 Unidad de Valor Tributario, que en valor moneda representa \$422'412.020 COP, suspensión de actividades, cierre definitivo de la empresa y demandas por parte de los empleados. En la siguiente tabla se evidencia el porcentaje que deben pagar las empresas en referencia a la pérdida de capacidad laboral que puede sufrir un trabajador por no contar con un esquema que le permita minimizar la exposición a riesgos higiénicos.

Tabla No. 19 Tabla de equivalencias para las indemnizaciones por pérdida de la capacidad laboral como parte integrante del manual Único de calificación de Invalidez

<b>PORCENTAJE (%) DE PERDIDA DE CAPACIDAD LABORAL</b>	<b>MONTO DE LA INDEMNIZACIÓN EN MESES BASE DE LIQUIDACIÓN</b>	<b>PORCENTAJE (%) DE PEDIDA DE CAPACIDAD LABORAL</b>	<b>MONTO DE LA INDEMNIZACIÓN EN MESES BASE DE LIQUIDACIÓN</b>
49	24	26	12,5
48	23,5	25	12
47	23	24	11,5
46	22,5	23	11
45	22	22	10,5
44	21,5	21	10
43	21	20	9,5
42	20,5	19	9
41	20	18	8,5
40	19,5	17	8
39	19	16	7,5
38	18,5	15	7
37	18	14	6,5
36	17,5	13	6
35	17	12	5,5
34	16,5	11	5
33	16	10	4,5
32	15,5	9	4
31	15	8	3,5
30	14,5	7	3
29	14	6	2,5
28	13,5	5	2
27	13		

Fuente: Adaptado de Normatividad ARL Sura



Por otra parte, para el uso del aplicativo, la empresa debe mantener actualizado todos los datos que allí se registran. En caso de cambiar un proceso, adicionar una sustancia y demás, Muebles Casa Quinta deberá hacerse cargo de adicionar dichos datos para que a futuro el aplicativo siga siendo útil para la empresa y los trabajadores, para el uso de la aplicación es necesario contratar a un profesional de ingeniería industrial que se encargue de realizar la actualización de la aplicación con los parámetros necesarios para la ejecución de la misma.

La empresa para reducción de costos podría contratar a un ingeniero industrial por horas, una hora laboral oscila entre \$150.000 y \$200.000 COP, la cantidad de horas depende de la necesidad de la empresa, este valor es muy bajo en comparación a el riesgo monetario que en la actualidad se está exponiendo Muebles Casa Quinta.

Otro factor que permite la disminución de riesgos, es que la empresa logre instalar un extractor con filtros que permitirá que el aire sea más puro para los trabajadores, y evite la exposición de concentración elevada tanto para el polvo de madera como para las sustancias químicas. Al igual que la empresa controle que los trabajadores en horarios laborales siempre cuenten con los equipos de protección personal respectivos.

Se le recomienda a la empresa realizar acciones de mitigación de riesgo en la fuente, en el medio y en el trabajador. En primer lugar, tomar acciones para mitigar riesgos en la fuente, siempre tener la correcta nivelación de las máquinas para que el ruido emitido no sea más de lo que debería estar expuesto el trabajador. Respecto al medio, poder implementar espacios de trabajo amplios y las mejores condiciones laborales posibles para el buen desarrollo de trabajo y asegurarse que los trabajadores siempre tengan sus equipos de protección en perfecto estado y los usen de la manera correcta.

Este estudio puede servir como referencia a PYME's de manufactura que necesiten el control de asignación de sus trabajadores para la mitigación de sobreexposición a los riesgos para la salud y seguridad de los mismos.

Se recomienda realizar las mediciones reales de las concentraciones por riesgo, al igual que los tiempos propios de cada operación. Si bien es cierto que este es un modelo reactivo, cabe resaltar que, debe estar acompañado de una política orientada al cuidado, bienestar y salud hacia los trabajadores.

## **7. Anexos**

**7.1.** Análisis Jerárquico (AHP) de riesgos encontrados en la empresa Muebles Casa Quinta.

**7.2.** Cálculo de los TWA y concentraciones de cada producto químico y polvo de madera usado en operaciones de la empresa Muebles Casa Quinta.

**7.3.** Modelo matemático en formato Gusek.

**7.4.** Aplicativo de asignación de trabajadores que minimice la exposición a riesgos higiénicos en la empresa Muebles Casa Quinta.

**7.5.** Instructivo de funcionamiento del aplicativo.

**7.6.** Cronograma situación actual.

**7.7** Encuesta para medir impacto de riesgos higiénicos en empresa Muebles Casa Quinta

## **8. Referencias**

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2019). About Us. Recuperado de: <https://www.acgih.org/about-us/about-acgih>

Assunta, C., Ilaria, S., Gianfranco, T., Teodorico, C., Carmina, S., Anastasia, S., ... & Valeria, R. M. (2015). Noise and cardiovascular effects in workers of the sanitary fixtures industry. International journal of hygiene and

environmental health, 218(1), 163-168

ARL SURA. (2020). *Decreto 2644 (Noviembre 29 de 1994)*.

[https://www.arlsura.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=136&Itemid=75#:~:text=Decreto%202644%20](https://www.arlsura.com/index.php?option=com_content&view=article&id=136&Itemid=75#:~:text=Decreto%202644%20)

Bartual, J., & Guardino, X. (1987). NTP 244 : Criterios de valoración en Higiene Industrial; Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo*, 9.

[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp\\_244.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_244.pdf)

Ben-Daya, M., & Al-Fawzan, M. (1998). A tabu search approach for the flow shop scheduling problem. *European journal of operational research*, 109(1), 88-95.

Boeglin, M. L., Wessels, D., & Henshel, D. (2006). An investigation of the relationship between air emissions of volatile organic compounds and the incidence of cancer in Indiana counties. *Environmental Research*, 100(2), 242-254. “SUSTANCIAS QUÍMICAS”

Bürgy, R., Michon-Lacaze, H., & Desaulniers, G. (2018). Employee scheduling with short demand perturbations and extensible shifts. *Omega*.

Cárdenas-Bustamante, O., Varona-Urbe, M., Patiño-Florez, R. I., Groot-Restrepo, H., Sicard-Suárez, D., Tórres-Carvajal, M. M., & Pardo-Pardo, D. (2007). Exposición a solventes orgánicos y efectos genotóxicos en trabajadores de fábricas de pinturas en Bogotá. *Revista de Salud pública*, 9, 275-288

Ministerio de Protección Social. (2011). *CÓDIGO SUSTANTIVO DEL TRABAJO*. Organización Internacional de Labor.

<http://www.ilo.org/dyn/travail/docs/1539/Codigo%20Sustantivo%20del%20Trabajo%20Colombia.pdf>

Dewi, S. S. (2019, April). Optimization of Flow Shop Scheduling Problem using Tabu Search Algorithm: A Case Study. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 506, No. 1, p. 012064). IOP Publishing.

Domínguez, J. (1997). Impacto económico de los accidentes de trabajo. *Revista Universidad Eafit*, 33(107), 89-96.

Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European journal of operational research*, 153(1), 3-27.

Escobar, M. D. L. M., Gómez, G. H., Zamora, G. R., & Montero, C. M. (2014). Análisis de riesgos higiénicos en aserraderos (Parte I). *Tecnología en Marcha*, 27(4), 30-40.

Fisher Scientific. (2020). *Hojas de seguridad*. Fisher scientific part of the Thermo Fisher Scientific. <https://www.fishersci.es/es/es/catalog/search/sdshome.html>

Gil Moreno, E. (2012). *Análisis del sector del mueble en la Comunidad Valenciana* (Doctoral dissertation). “DESCRIPCION DE PROCESO MOBILIARIO”

GTC, G. T. C. (45). Guía para la identificación de los peligros y valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional.

Guo, Z. X., Wong, W. K., & Guo, C. (2014). A cloud-based intelligent decision-making system for order tracking and allocation in apparel manufacturing. *International Journal of Production Research*, 52(4), 1100-1115

Health and Safety Executive. (2000). MDHS 14-3: General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable and inhalable dust. Methods for the determination of hazardous substances. Health and Safety Laboratories

IARC. (1995). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Reino Unido: World Health Organization.

Ibarra-Ibarra, L. G., & de Oca-Domínguez, L. M. (2014). Enfermedad aguda, enfermedad crónica e invalidez en la infancia en el sector salud del área metropolitana. *Salud Pública de México*, 28(2), 161-171.

IEC 61672-1:2002 Electroacoustics - Sound level meters - Part ... Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iec?c=34402>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (1982) Higiene y Seguridad. Equipos de protección respiratoria contra gases tóxicos 1-4.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. (2003). *NTP 638: Estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos*. [https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp\\_638.pdf/ec7cda7b-d636-48de-8d05-020cd25857a9](https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_638.pdf/ec7cda7b-d636-48de-8d05-020cd25857a9)

Iturra, K. F. I., & Salazar, A. M. B. (2019). Creación de valor en los productos Nestlé, a través de la trazabilidad y sus impactos en los resultados de la empresa. *Horizontes Empresariales*, 18(1), 66-85.

Mancera Fernández, M., Ruíz, M., Teresa, M., Mancera Ruíz, M. R., Ruíz, M., & Ricardo, J. (2012). Seguridad e higiene industrial: gestión de riesgos (No. 613.6). Alfaomega.

Martínez, M. G., García, J. J. J., Ceballos, Y. L., Valencia, A. M., Zapata, M. A. V., & Vásquez, E. M. (2012). Ruido Industrial: Efectos en la salud de los trabajadores expuestos (Industrial noise: effects on the health of workers exposed)(De ruído industrial: efeitos sobre a saúde dos trabalhadores expostos). *CES Salud pública*, 3(2), 174-183.

Ministerio del Trabajo. (2019). Recomendaciones Guía de atención integral de Seguridad y Salud en el Trabajo para trabajadores expuestos a benceno y sus derivados. Recuperado de: <http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59676/Recomendaciones+bencenos.pdf/20cf5026-4177-c06d-7f13-8c1622b92531>

Office of Water Programs. (2019). Water and Wastewater Terms Beginning T. Recuperado de: <http://www.owp.csus.edu/glossary/time-weighted-average.php>

Ortega, C. (2019). ¿Cuál es la importancia de las PYMES en la economía colombiana?. Recuperado de: <https://pymas.com.co/ideas-para-crecer/mundo-pyme/la-importancia-de-las-pymes-en-colombia>

Ortiz Vásquez, A. M., & Rincón Cuervo, C. G. Description of the Hierarchy of Controls Regarding Chemical Hazard for Exposure to Volatile Organic Compounds Generated by Painting Processes in Industry.



Facultad de Ingeniería  
**INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Trabajo de Grado – Primer Semestre 2020

- Peirano, F., & Suárez, D. (2005). Las TICS mejoran el desempeño de las pymes. ¿Somos capaces de explicar cómo lo hacen? Documento de Trabajo, 23.
- Ramírez, F. A. (2006). Importancia de las MiPyMEs en las Aglomeraciones Empresariales. Una estrategia para el desarrollo regional en Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 14(1), 173-186.
- Razavi, H., Ramezanifar, E., & Bagherzadeh, J. (2014). An economic policy for noise control in industry using genetic algorithm. *Safety Science*, 65, 79-85.
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española (23.a ed.)*. Consultado en: <https://www.rae.es/>
- Resolución 8321. Ministerio de Salud. Colombia, Bogotá. 04 de agosto de 1983.
- Resolución 1792. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Ministerio de Salud. 03 de mayo de 1990
- Robert, F. H. (2000). Higiene industrial. *Enciclopedia de Salud y Seguridad En El Trabajo*, 38.
- Schenk, L., Hansson, S. O., Rudén, C., & Gilek, M. (2008). Occupational exposure limits: A comparative study. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 50(2), 261-270.
- Telhada, J. (2014). Alternative MIP formulations for an integrated shift scheduling and task assignment problem. *Discrete Applied Mathematics*, 164, 328-343.
- Tharmmaphornphilas, W., Green, B., Carnahan, B. J., & Norman, B. A. (2003). Applying mathematical modeling to create job rotation schedules for minimizing occupational noise exposure. *Aiha Journal*, 64(3), 401-405.
- Tong, R., Zhang, L., Yang, X., Liu, J., Zhou, P., & Li, J. (2019). Emission characteristics and probabilistic health risk of volatile organic compounds from solvents in wooden furniture manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1096-1108.
- Vergara, R. (2007). La Planeación y Programación de la Producción en la PYME como Factor de Desarrollo. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 4(6), 40-57.
- Yaoyuenyong, S., & Nanthavanij, S. (2006). Hybrid procedure to determine optimal workforce without noise hazard exposure. *Computers & Industrial Engineering*, 51(4), 743-764.