



Optimización de la Selección de Material en una Empresa de Venta de Mármol

Mirra, Benjamín – Molina, Mateo – Pfister, Jerónimo – Wieler, Álvaro

***mirrabenjamin@gmail.com – mateomolina1997@gmail.com – jeropfister2@gmail.com –
colowieler@gmail.com***

Resumen

El presente trabajo aborda la optimización en la selección de materiales de una empresa dedicada a la venta de mármol y piedras similares, con el fin de minimizar costos y satisfacer las preferencias de los clientes cumpliendo las políticas internas. La empresa ofrece una variedad de materiales como Mármol, Granito, Purastone y Neolith, cada uno con características únicas en términos de estética, funcionalidad y costo.

Para enfrentar este desafío, se desarrolló un modelo de programación lineal que considera los costos, las preferencias del cliente y las políticas internas de la empresa. Este modelo tiene como objetivo maximizar la contribución marginal y la satisfacción del cliente mediante la determinación de la mezcla óptima de productos para diferentes proyectos. La investigación se llevó a cabo mediante entrevistas con clientes y vendedores, así como el análisis de bases de datos proporcionadas por la empresa.

Los resultados obtenidos muestran que la implementación del modelo puede maximizar la rentabilidad y la satisfacción del cliente al optimizar la selección de materiales según los requisitos del proyecto y las políticas de la empresa. Además, se proporcionaron recomendaciones específicas basadas en el análisis de sensibilidad para mejorar aún más la contribución marginal de los proyectos.

Palabras Clave: Optimización - Programación Lineal - Contribucion marginal - Preferencias del cliente - Disponibilidad de stock.



Introducción

En la industria de la construcción y la decoración, la selección de materiales es un factor crucial que impacta directamente en la satisfacción del cliente y la rentabilidad de la empresa. En particular, una empresa dedicada a la venta de mármoles y piedras similares enfrenta el desafío de optimizar la selección de estos materiales para diversos proyectos, asegurando la minimización de costos y el cumplimiento de las preferencias estéticas y funcionales de los clientes, sin dejar de lado las políticas internas y la gestión del inventario.

La empresa ofrece una variedad de materiales, incluyendo Mármol, Granito, Purastone y Neolith, cada uno con sus características distintivas. Sin embargo, la toma de decisiones respecto al material adecuado para cada proyecto se complica debido a la diversidad de factores involucrados. Las preferencias de los clientes pueden variar ampliamente según el proyecto, el presupuesto y las tendencias del momento, mientras que la empresa debe garantizar la calidad del producto y una gestión eficiente del stock disponible.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal desarrollar y proponer un modelo de programación lineal que permita una mezcla óptima de productos, maximice la contribución marginal de los proyectos y mejore la satisfacción del cliente. Para ello, se considerarán las preferencias del cliente, las políticas internas y la disponibilidad de stock, integrando estos elementos en un modelo cuantitativo que facilite la toma de decisiones informadas.

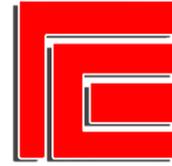
Mediante entrevistas a clientes y vendedores, así como el análisis de bases de datos provistas por la empresa, se recopiló la información necesaria para diseñar y validar el modelo



propuesto. El enfoque metodológico adoptado permitirá un análisis detallado de la situación actual y la implementación de soluciones efectivas para optimizar la selección de materiales

Situación Problemática

En una empresa dedicada a la venta, con un enfoque especial en mármoles y piedras similares, se enfrenta a un desafío crucial: la optimización de la selección de material para minimizar los costos, al tiempo que se satisfacen las preferencias de los clientes y se cumplen las políticas de la empresa. La empresa ofrece una variedad de opciones, incluyendo Mármol, Granito, Purastone y Neolith, cada uno con sus propias características estéticas, funcionales y de costo. Sin embargo, la selección del material adecuado para cada proyecto se vuelve complicada debido a la diversidad de factores que influyen en la decisión. Por un lado, están las preferencias y exigencias de los clientes, que pueden variar ampliamente según el proyecto, el presupuesto y las tendencias estéticas del momento. Por otro lado, la empresa tiene políticas internas que buscan garantizar la calidad del producto, la rentabilidad y la gestión eficiente del stock. Además, el factor de disponibilidad inmediata del material en el stock de la empresa también influye en la toma de decisiones. En este contexto, la empresa se enfrenta al desafío de desarrollar un sistema o metodología que le permita tomar decisiones informadas sobre la selección del material para cada proyecto, considerando de manera integral los gustos del cliente, las políticas internas y la disponibilidad en el stock, con el objetivo final de maximizar la contribución marginal y maximizar la satisfacción del cliente.



Preguntas de Investigación

De la situación descrita, surgen las siguientes preguntas de investigación: ¿Qué información clave sobre los inventarios y sus características es necesaria para desarrollar un modelo de programación lineal efectivo? y ¿Cuáles son las preferencias de los clientes en relación con los diferentes tipos de materiales? ¿Cómo se puede diseñar un modelo de programación lineal que integre eficazmente los costos, las preferencias de los clientes y las políticas internas de la empresa? ¿Qué resultados se obtienen al aplicar el modelo de programación lineal y cómo estos resultados maximizan la contribución marginal y satisfacen las preferencias del cliente?

Objetivo General

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar y proponer un modelo de programación lineal para lograr una mezcla óptima de productos que maximice la contribución marginal de los proyectos. Esto implica diseñar un modelo de selección de materiales que optimice los costos en una empresa de venta de piedras naturales y sinterizadas. El modelo considerará las preferencias del cliente, las políticas internas y la disponibilidad de stock, con el fin de maximizar la rentabilidad y la satisfacción del cliente para este pedido.

Objetivos Específicos

- Identificar las preferencias de los clientes y las políticas de la empresa.
- Desarrollar el modelo de programación lineal que considere los costos, las preferencias de los clientes y las políticas internas.
- Implementar el modelo de programación lineal para determinar la mezcla óptima de productos que maximice la contribución marginal.



Marco Metodológico

Este trabajo se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo, centrándose en datos numéricos para realizar un análisis detallado del negocio. La investigación se llevará a cabo como un estudio de caso, ya que se centrará en un proyecto específico dentro de la empresa. El objetivo es observar y analizar los fenómenos tal como se presentan en su contexto natural. La recolección de datos se llevará a cabo mediante diversas técnicas con el propósito de obtener una perspectiva integral del negocio:

- Entrevista a Vendedor. (políticas y demás)
- Entrevista a Cliente. (gustos)
- Análisis de la base de datos provistos por la Empresa.

Marco Teórico

La programación lineal (PL) es una técnica matemática fundamental utilizada para resolver problemas de optimización en los que se busca maximizar o minimizar una función objetivo sujeta a ciertas restricciones. Esta metodología es esencial para la planificación y la toma de decisiones en la gestión de recursos dentro de una empresa. Según Render y Heizer (2012), la programación lineal permite a los gerentes evaluar múltiples escenarios y seleccionar la mejor combinación de recursos para alcanzar los objetivos de la organización. En el contexto de una empresa de venta de mármol y piedras similares, la PL se utiliza para optimizar la selección de materiales, equilibrando entre los costos, las preferencias del cliente y las políticas internas de la empresa.

La programación lineal se caracteriza por cuatro componentes clave (Render, 2012):

- **Función Objetivo:** Esta es la cantidad que se busca maximizar o minimizar, como las utilidades o los costos. En nuestro estudio, el objetivo es maximizar la



contribución marginal, que representa la ganancia neta después de cubrir los costos directos de producción.

- Restricciones: Son las limitaciones o condiciones que restringen las posibles soluciones al problema. En nuestro caso, incluyen la disponibilidad de stock, las políticas internas de la empresa y las demandas específicas de cada proyecto.
- Variables de Decisión: Estas representan las opciones disponibles que se pueden ajustar para alcanzar el objetivo. Por ejemplo, la cantidad de cada tipo de piedra asignada a diferentes proyectos.
- Relaciones Matemáticas Lineales: Tanto la función objetivo como las restricciones se expresan como ecuaciones o desigualdades lineales, lo que facilita la resolución del problema mediante técnicas matemáticas.

La programación lineal se basa en varios supuestos fundamentales (Render, 2012):

- Certeza: Los coeficientes en la función objetivo y las restricciones son conocidos y constantes.
- Proporcionalidad: La contribución de cada variable a la función objetivo y las restricciones es proporcional a su valor.
- Aditividad: La función objetivo y las restricciones son la suma de las contribuciones individuales de cada variable.
- Divisibilidad: Las variables de decisión pueden tomar cualquier valor fraccionario, no necesariamente entero.
- No Negatividad: Los valores de las variables de decisión deben ser no negativos.

Estos supuestos permiten la simplificación del modelo y su aplicación a una amplia gama de problemas empresariales, incluyendo la optimización de la mezcla de productos, que es el foco de nuestro estudio.

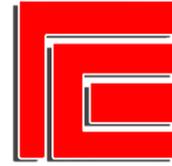


La programación lineal se aplica extensamente en la gestión empresarial para optimizar la asignación de recursos. Un área clave de aplicación es la mezcla óptima de productos, donde se busca determinar la combinación de productos que maximiza las ganancias o minimiza los costos, sujeto a restricciones de capacidad y demanda. En el contexto de una empresa de venta de mármol y piedras similares, este enfoque permite seleccionar la mejor mezcla de materiales para satisfacer las necesidades específicas de cada proyecto mientras se mantiene dentro de los límites de costos y disponibilidad de stock.

Por ejemplo, en nuestro estudio, la programación lineal se utiliza para determinar la cantidad óptima de mármol, granito, Purastone y Neolith que se debe asignar a tres proyectos distintos, cada uno con sus propias demandas y restricciones. Este enfoque garantiza que la empresa pueda maximizar su contribución marginal y satisfacer las preferencias del cliente de manera eficiente.

En la industria de la construcción y la decoración, la selección de materiales es un proceso crítico que impacta tanto en la estética del proyecto como en su costo. La optimización de la cadena de suministro, incluida la selección de materiales, es vital para mejorar la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente. En el caso de la empresa de mármol y piedras similares, la implementación de un modelo de programación lineal permite optimizar la selección de materiales al considerar múltiples factores, como el costo, la estética y la disponibilidad del stock. Este modelo proporciona una solución robusta para tomar decisiones informadas y balancear las diversas prioridades, logrando una alineación entre la rentabilidad empresarial y la satisfacción del cliente.

El uso de métodos cuantitativos en la toma de decisiones permite una evaluación objetiva y basada en datos de los posibles escenarios. Render y Heizer (2012) señalan que estos métodos, que incluyen la programación lineal, facilitan la transformación de datos en



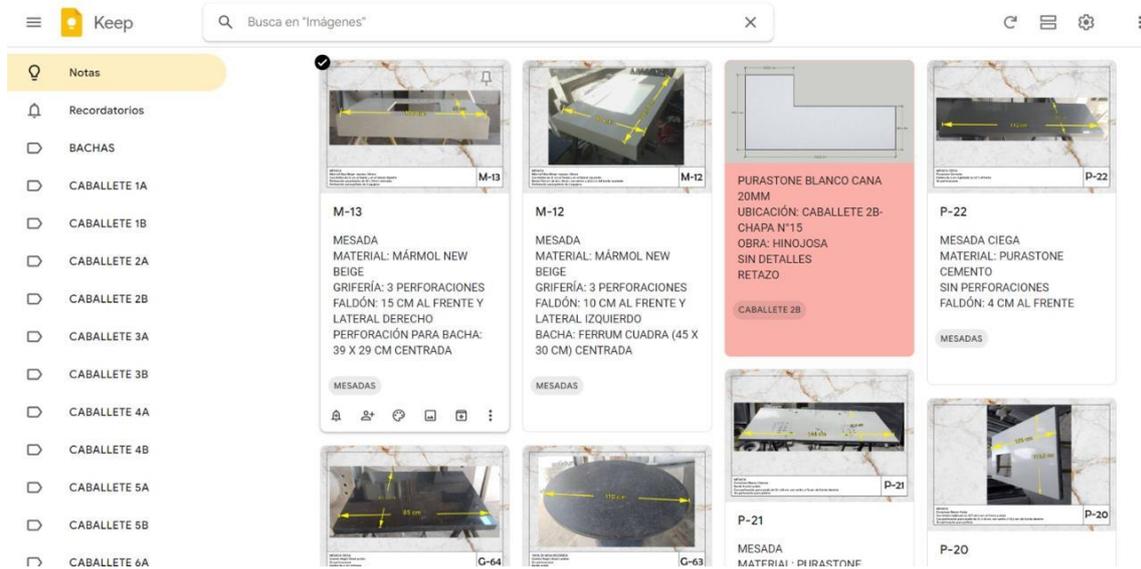
información significativa que apoya la toma de decisiones estratégicas en las organizaciones. La adopción de enfoques cuantitativos asegura que las decisiones se basen en un análisis riguroso y sistemático de los datos, lo que es crucial para la optimización de recursos y la mejora de la eficiencia operativa.

En resumen, la programación lineal y otros métodos cuantitativos proporcionan herramientas poderosas para la gestión efectiva de recursos en una empresa de venta de mármol y piedras similares. Estas técnicas permiten a la empresa no solo cumplir con las demandas del cliente y las restricciones internas, sino también maximizar su rentabilidad y mejorar su competitividad en el mercado.

Aplicación

A continuación, se proporciona la base de datos empleada. Inicialmente proporcionada por los dueños de la empresa, se procedió primero a realizar una limpieza de datos para destacar la información más relevante para nuestro análisis cuantitativo. Dado los diversos cambios inflacionarios que experimentó el país a lo largo del año y la inestabilidad en el tipo de cambio, se consideraron los precios actuales (correspondientes al mes de mayo) con el fin de simplificar el análisis.

Imagen N°1: Base de datos



Fuente: Elaboración propia (tomada de Google Keep de la empresa)

Tabla N°1: Tabla de Costos, Precios y Contribución Marginal de piedras.

Material	Color	Costos en USD/m2	Precio de venta	CMg
Mármol	Blanco	\$ 241,00	\$ 457,90	\$ 216,90
	Gris	\$ 235,00	\$ 446,50	\$ 211,50
Granito	Negro	\$ 114,00	\$ 216,60	\$ 102,60
	Blanco	\$ 122,00	\$ 231,80	\$ 109,80
	Gris	\$ 110,00	\$ 209,00	\$ 99,00
Purastone	Negro	\$ 342,00	\$ 649,80	\$ 307,80
	Blanco	\$ 350,00	\$ 665,00	\$ 315,00
	Gris	\$ 332,00	\$ 630,80	\$ 298,80
Neolith	Negro	\$ 515,00	\$ 978,50	\$ 463,50
	Blanco	\$ 540,00	\$ 1.026,00	\$ 486,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°2: Cantidad m2 demandado por proyectos

- El método de evaluación de inventario está basado en el costo de reposición.

	Proyecto N°1	Proyecto N°2	Proyecto N°3
Metros cuadrados	11	12	8

Fuente: Elaboración propia.



Tabla N°3: Stock de retazos de m2 de piedra

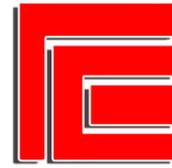
	Mármol	Granito	Purastone	Neolith
Metros cuadrados	8	12	10	5

Fuente: Elaboración propia.

- **PROYECTO N°1:** Necesita 11 metros cuadrados de piedra en total y no puede recibir más de 3 metros de unidades de mármol. Este proyecto es para una casa de estilo moderno que requiere una combinación equilibrada sin exceso de mármol a su presupuesto y diseño estético. Teniendo en cuenta el diseño del proyecto la paleta de colores de las piedras está limitado a tonos de negro y gris.
- **PROYECTO N°2:** Debe recibir exactamente 12 metros cuadrados de piedra en total, con al menos 4 metros cuadrados de Purastone. Este proyecto es para una casa de lujo que necesita una cantidad significativa de Purastone por sus propiedades estéticas y funcionales. Dado el diseño del proyecto, la paleta de colores de piedras debe ser blanco y gris.
- **PROYECTO N°3:** Necesita 8 metros cuadrados de piedra en total y no puede recibir más de 5 metros cuadrados de granito. Este proyecto es para un local comercial que requiere una apariencia robusta y duradera, pero debe limitar la cantidad de granito debido a consideraciones de costo. Debido al diseño del proyecto, solo se permite utilizar piedras en tonos blancos.

Programación Lineal

Utilizando la demanda específica de tres proyectos actuales, desglosada por tipo de piedra y proyecto, se llevó a cabo un proceso de Programación Lineal (PL). El propósito de esta Programación Lineal fue determinar la mezcla óptima de productos para maximizar la contribución marginal y la satisfacción del cliente, dadas las restricciones y demandas de metros cuadrados de piedra de cada proyecto. Este análisis se configura como una guía estratégica



aplicable a futuros proyectos similares. A continuación, se detallan la función objetivo establecida, los coeficientes objetivos y las restricciones empleadas en la ejecución de la PL.

- **FUNCIÓN OBJETIVO:** La misma se estableció con el objetivo de maximizar la Contribución Marginal total para los tres proyectos. Las variables de decisión se especifican a continuación y sus coeficientes objetivos representan la contribución marginal unitaria por producto.

$$\text{MAX } CmgT = \sum_{i,j,z=1}^n (CMgij * Xijz)$$

Donde:

- i son los diferentes tipos de piedras existentes (con n = 4):
 - Mármol => i = 1
 - Granito => i = 2
 - Purastone => i = 3
 - Neolith => i = 4
- j son los diferentes colores de piedra (con n = 3):
 - Negro => j = 1
 - Blanco => j = 2
 - Gris => j = 3
- z son los diferentes proyectos (con n = 4):
 - Proyecto N°1 => z = 1
 - Proyecto N°2 => z = 2
 - Proyecto N°3 => z = 3

Entonces, unos ejemplos:

X111: Cantidad de metros cuadrados de Mármol de color Negro para el Proyecto N°1



X421: Cantidad de metros cuadrados de Neolith de color Blanco para el Proyecto N°1

X333: Cantidad de metros cuadrados de Purastone de colores Gris para el Proyecto N°3

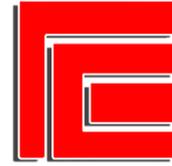
FO (Max CmgT) =

$$\begin{aligned} & \$216,9 * X121 + \$211,5 * X131 + \$102,6 * X211 + \$109,8 * X221 + \$99 * X231 + \$307,8 * X311 \\ & + \$315 * X321 + \$298,8 * X331 + \$463,5 * X411 + \$486 * X421 + \$216,9 * X122 + \$211,5 * X132 \\ & + \$102,6 * X212 + \$109,8 * X222 + \$99 * X232 + \$307,8 * X312 + \$315 * X322 + \$298,8 * X332 \\ & + \$463,5 * X412 + \$486 * X422 + \$216,9 * X123 + \$211,5 * X133 + \$102,6 * X213 + \$109,8 * \\ & X223 + \$99 * X233 + \$307,8 * X313 + \$315 * X323 + \$298,8 * X333 + \$463,5 * X413 + \$486 * \\ & X423 \end{aligned}$$

- **RESTRICCIONES:** A partir de la información recabada y del análisis realizado del negocio se establecieron las siguientes restricciones:

Restricciones de demanda: éstas surgen de los pedidos específicos de cada proyecto.

- **Proyecto N°1:** 11 metros cuadrados de piedra, donde 3 metros cuadrados deben ser mármol. Teniendo en cuenta el diseño del proyecto la paleta de colores de las piedras está limitado a tonos de negro y gris.
 - $X121 + X131 + X211 + X221 + X231 + X311 + X321 + X331 + X411 + X421 = 11$
 - $X121 + X131 \geq 3$
 - $X121 + X221 + X321 + X421 = 0$
- **Proyecto N°2:** 12 metros cuadrados de piedra, donde 4 metros cuadrados deben ser Purastone. Dado el diseño del proyecto, la paleta de colores de piedras debe ser blanco y gris.
 - $X122 + X132 + X212 + X222 + X232 + X312 + X322 + X332 + X412 + X422 = 12$
 - $X312 + X322 + X332 \geq 4$
 - $X212 + X312 + X412 = 0$



- **Proyecto N°3:** 8 metros cuadrados de piedra, donde 5 metros cuadrados deben ser de granito. Debido al diseño del proyecto, solo se permite utilizar piedras en tonos blancos.
 - $X123 + X133 + X213 + X223 + X233 + X313 + X323 + X333 + X413 + X423 = 8$
 - $X213 + X223 + X333 \geq 5$
 - $X133 + X213 + X233 + X313 + X333 + X413 = 0$

Restricciones de Política: existen restricciones de política de la empresa que establece un límite máximo de los diferentes tipos de piedra en cada proyecto debido a la preferencia de diseño.

- Un proyecto no puede tener más de 3 de Mármol.
 - $X121 + X131 \leq 3$
 - $X122 + X123 \leq 3$
 - $X123 + X133 \leq 3$
- Un proyecto no puede tener más de 5 metros de Granito
 - $X211 + X221 + X231 \leq 5$
 - $X212 + X222 + X232 \leq 5$
 - $X213 + X223 + X233 \leq 5$
- Un proyecto no puede tener más de 4 metros de Purastone.
 - $X311 + X321 + X331 \leq 4$
 - $X312 + X322 + X332 \leq 4$
 - $X313 + X323 + X333 \leq 4$
- Un proyecto no puede tener más de 2 metros cuadrados de Neolith
 - $X411 + X421 \leq 2$
 - $X412 + X422 \leq 2$



- $X_{413} + X_{423} \leq 2$

Restricciones de Capacidad: Las empresas tienen un límite de retazos de piedras que desean eliminar, por lo que hay una cantidad máxima disponible para ofrecer a estos proyectos.

- Existe 8 metros cuadrados de Mármol
 - $X_{121} + X_{131} + X_{122} + X_{132} + X_{123} + X_{133} \leq 8$
- Existen 12 metros cuadrados de Granito
 - $X_{211} + X_{221} + X_{231} + X_{212} + X_{222} + X_{232} + X_{213} + X_{223} + X_{233} \leq 12$
- Existen 10 metros cuadrados de Purastone
 - $X_{311} + X_{321} + X_{331} + X_{312} + X_{322} + X_{332} + X_{313} + X_{323} + X_{333} \leq 10$
- Existen 5 metros cuadrados de Neolith
 - $X_{411} + X_{421} + X_{412} + X_{422} + X_{413} + X_{423} \leq 5$

Tabla N°4: Análisis de sensibilidad - 1

Celda	Nombre	Final	Reducido	Objetivo	Permisible	Permisible	Rango	Optimalidad
		Valor	Coste	Coficiente	Aumentar	Reducir		
\$C\$3	VD X121	0	-17,1	216,9	17,1	1E+30	-1E+30	234
\$D\$3	VD X131	3	0	211,5	1E+30	17,1	194,4	1E+30
\$E\$3	VD X211	2	0	102,6	91,8	3,6	99	194,4
\$F\$3	VD X221	0	-15,3	109,8	15,3	1E+30	-1E+30	125,1
\$G\$3	VD X231	0	-3,6	99	3,6	1E+30	-1E+30	102,6
\$H\$3	VD X311	4	0	307,8	1E+30	9	298,8	1E+30
\$I\$3	VD X321	0	-15,3	315	15,3	1E+30	-1E+30	330,3
\$J\$3	VD X331	0	-9	298,8	9	1E+30	-1E+30	307,8
\$K\$3	VD X411	2	0	463,5	15,3	91,8	371,7	478,8
\$L\$3	VD X421	0	0	486	1E+30	15,3	470,7	1E+30
\$M\$3	VD X122	3	0	216,9	1E+30	5,4	211,5	1E+30
\$N\$3	VD X132	0	-5,4	211,5	5,4	1E+30	-1E+30	216,9
\$O\$3	VD X212	0	0	102,6	1E+30	0	102,6	1E+30
\$P\$3	VD X222	3	0	109,8	0	10,8	99	109,8
\$Q\$3	VD X232	0	-10,8	99	10,8	1E+30	-1E+30	109,8
\$R\$3	VD X312	0	0	307,8	0	1E+30	-1E+30	307,8
\$S\$3	VD X322	4	0	315	1E+30	0	315	1E+30
\$T\$3	VD X332	0	-16,2	298,8	16,2	1E+30	-1E+30	315
\$U\$3	VD X412	0	-15,3	463,5	15,3	1E+30	-1E+30	478,8
\$V\$3	VD X422	2	0	486	1E+30	15,3	470,7	1E+30
\$W\$3	VD X123	0	0	216,9	1,8	91,8	125,1	218,7
\$X\$3	VD X133	0	0	211,5	1E+30	1,8	209,7	1E+30
\$Y\$3	VD X213	0	-108,9	102,6	108,9	1E+30	-1E+30	211,5
\$Z\$3	VD X223	5	0	109,8	107,1	1E+30	-1E+30	216,9
\$AA\$3	VD X233	0	-112,5	99	112,5	1E+30	-1E+30	211,5
\$AB\$3	VD X313	0	-1,8	307,8	1,8	1E+30	-1E+30	309,6
\$AC\$3	VD X323	2	0	315	107,1	1,8	313,2	422,1
\$AD\$3	VD X333	0	-10,8	298,8	10,8	1E+30	-1E+30	309,6
\$AE\$3	VD X413	0	-17,1	463,5	17,1	1E+30	-1E+30	480,6
\$AF\$3	VD X423	1	0	486	91,8	17,1	468,9	577,8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°5: Análisis de sensibilidad - 2



Celda	Nombre	cuellitos					Rango Factibilidad	
		Final Valor	Sombra Precio	Restricción Lado derecho	Permisible Aumentar	Permisible Reducir		
\$AG\$10	Proyecto 2 no puede tener colores de piedra negro	0	102,6	0	2	0	0	2
\$AG\$11	Proyecto 3 debe tener 8 metros cuadrados de piedra en total	8	216,9	8	2	0	8	10
\$AG\$12	Proyecto 3 debe tener al menos 5 metros cuadrados de Granito	5	-107,1	5	0	2	3	5
\$AG\$13	Proyecto 3 no puede tener colores de piedra negro ni gris	0	211,5	0	2	0	0	2
\$AG\$14	Proyecto 1 no puede tener más de 3 metros cuadrados de Mármol	3	108,9	3	2	0	3	5
\$AG\$15	Proyecto 2 no puede tener más de 3 metros cuadrados de Mármol	3	107,1	3	2	2	1	5
\$AG\$16	Proyecto 3 no puede tener más de 3 metros cuadrados de Mármol	0	0	3	1E+30	3	0	1E+30
\$AG\$17	Proyecto 1 no puede tener mas de 5 metros cuadrados de Granito	2	0	5	1E+30	3	2	1E+30
\$AG\$18	Proyecto 2 no puede tener mas de 5 metros cuadrados de Granito	3	0	5	1E+30	2	3	1E+30
\$AG\$19	Proyecto 3 no puede tener mas de 5 metros cuadrados de Granito	5	0	5	1E+30	0	5	1E+30
\$AG\$20	Proyecto 1 no puede tener mas de 4 metros cuadrados de Purastone	4	107,1	4	2	0	4	6
\$AG\$21	Proyecto 2 no puede tener mas de 4 metros cuadrados de Purastone	4	107,1	4	2	0	4	6
\$AG\$22	Proyecto 3 no puede tener mas de 4 metros cuadrados de Purastone	2	0	4	1E+30	2	2	1E+30
\$AG\$23	Proyecto 1 no puede tener mas de 2 metros cuadrados de Neolith	2	91,8	2	1	0	2	3
\$AG\$24	Proyecto 2 no puede tener mas de 2 metros cuadrados de Neolith	2	107,1	2	1	0	2	3
\$AG\$25	Proyecto 3 no puede tener mas de 2 metros cuadrados de Neolith	1	0	2	1E+30	1	1	1E+30
\$AG\$26	Existen 8 metros cuadrados de Mármol	6	0	8	1E+30	2	6	1E+30
\$AG\$27	Existen 12 metros cuadrados de Granito	10	0	12	1E+30	2	10	1E+30
\$AG\$28	Existen 10 metros cuadrados de Purastone	10	98,1	10	0	2	8	10
\$AG\$29	Existen 5 metros cuadrados de Neolith	5	269,1	5	0	1	4	5
\$AG\$5	Proyecto 1 debe tener 11 metros cuadrados de piedra en total	11	102,6	11	2	2	9	13
\$AG\$6	Proyecto 1 debe tener al menos 3 metros cuadrados de Mármol	3	0	3	0	1E+30	-1E+30	3
\$AG\$7	Proyecto 1 no puede tener colores de piedra blanco	0	22,5	0	2	0	0	2
\$AG\$8	Proyecto 2 debe tener 12 metros cuadrados de piedra en total	12	109,8	12	2	3	9	14
\$AG\$9	Proyecto 2 debe tener al menos 4 metros cuadrados de Purastone	4	0	4	0	1E+30	-1E+30	4

Fuente: Elaboración propia.

Recomendaciones

A partir del análisis de sensibilidad podemos observar que en 25 restricciones 15 presentan un precio sombra diferente de 0, sin embargo, dada las naturalezas de las restricciones asociadas a la demanda de los clientes y que el stock utilizado para presupuestar los proyectos corresponden a “Retazos”, el análisis no tiene relevancia, a excepción, de la primera restricción la cual cuenta con un precio sombra de U\$S 102,60 dentro de un rango de factibilidad 0-2 metros, donde el vendedor encargado de tener contacto con el cliente comentó que el cliente se mostró interesado en agregar piedra de color negro en la zona del ante baño. A partir de esta información se genera una oportunidad de mejorar la contribución marginal para la empresa, dado que no existen más metros cuadrados disponibles de Neolith, ni de Purastone, recomendamos a la empresa ofrecer al proyecto 2, la posibilidad de agregar 2 metros más de granito color negro y para incentivar la toma de decisión por parte del cliente acompañarlo con un descuento del 10% y así obtener un incremento neto en la contribución marginal de usd 92,34 (U\$S 102,60 * 0,9) por cada metro.



Conclusiones

El presente estudio ha demostrado la efectividad de un modelo de programación lineal para optimizar la selección de materiales en una empresa dedicada a la venta de mármol y piedras similares. Los resultados indican que la implementación del modelo no solo maximiza la contribución marginal de los proyectos, sino que también incrementa significativamente la satisfacción del cliente al alinear sus preferencias con las políticas internas y la disponibilidad de stock.

El modelo de programación lineal permitió identificar la mezcla óptima de materiales para diferentes proyectos, resultando en una maximización de la rentabilidad y una mejor satisfacción de los clientes. Además, la aplicación del modelo ha mostrado un incremento en la contribución marginal de los proyectos analizados. En particular, la incorporación de análisis de sensibilidad permite detectar oportunidades adicionales para mejorar la rentabilidad, como la recomendación de ofrecer materiales adicionales con descuento, lo que podría incrementar los ingresos netos sin comprometer la satisfacción del cliente.

El modelo ayudó a utilizar eficientemente los retazos de piedra disponibles en el inventario, minimizando el desperdicio y optimizando el uso de recursos. Esto no solo contribuye a la reducción de costos, sino que también promueve una gestión sostenible del inventario.

La metodología utilizada demostró ser flexible y adaptable a diferentes escenarios y restricciones. La capacidad de ajustar las restricciones y los parámetros del modelo permite a la empresa adaptarse a cambios en las preferencias del cliente, variaciones en el inventario y fluctuaciones en los costos.



Basado en el análisis de sensibilidad, se identificaron oportunidades estratégicas que pueden ser aprovechadas por la empresa. Por ejemplo, la sugerencia de ofrecer granito negro con un descuento en el Proyecto N°2 puede no solo incrementar la satisfacción del cliente, sino también mejorar la rentabilidad general del proyecto.

Aunque el modelo propuesto proporciona soluciones óptimas, su implementación debe ser continua y ajustada regularmente para mantenerse relevante en un mercado dinámico. Las limitaciones incluyen la dependencia de datos precisos y actualizados y la necesidad de ajustes continuos basados en la retroalimentación de clientes y cambios en el inventario.

En conclusión, este trabajo confirma que la programación lineal es una herramienta poderosa para la optimización en la selección de materiales en la industria de mármoles y piedras similares. Su aplicación puede resultar en beneficios significativos en términos de rentabilidad, eficiencia y satisfacción del cliente, contribuyendo al éxito sostenible de la empresa. Recomendar esta metodología para futuros proyectos asegurará que la empresa mantenga una ventaja competitiva y responda de manera efectiva a las demandas del mercado.



Apéndice

Tabla N°6: Limpieza de datos

Material	Color	Costos en USD/m2	Precio de venta	CMg
Marmol	Blanco	\$ 241,00	\$ 457,90	\$ 216,90
	Gris	\$ 235,00	\$ 446,50	\$ 211,50
Granito	Negro	\$ 114,00	\$ 216,60	\$ 102,60
	Blanco	\$ 122,00	\$ 231,80	\$ 109,80
	Gris	\$ 110,00	\$ 209,00	\$ 99,00
Purastone	Negro	\$ 342,00	\$ 649,80	\$ 307,80
	Blanco	\$ 350,00	\$ 665,00	\$ 315,00
	Gris	\$ 332,00	\$ 630,80	\$ 298,80
Neolith	Negro	\$ 515,00	\$ 978,50	\$ 463,50
	Blanco	\$ 540,00	\$ 1.026,00	\$ 486,00

	Proyecto N°1	Proyecto N°2	Proyecto N°3
Cantidad m2	11	12	8

	Marmol	Granito	PuraStone	Neolith
Metros cuadrados	8	12	10	5

	Mármol Blanco	Mármol Gris	Granito Negro	Granito Blanco	Granito Gris	Purastone Negro	Purastone Blanco	Purastone Gris	Neolith Negro	Neolith Blanco
Metros cuadrados	4	4	4	4	4	4	3	3	2	3
	8		12			10			5	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°7: Programación Lineal parte 1

	X121	X131	X211	X221	X231	X311	X321	X331	X411	X421	X122	X132	X212	X222	X232
VD	0	3	2	0	0	4	0	0	2	0	3	0	0	3	0
FO	216,90 USD	211,50 USD	102,60 USD	109,80 USD	99,00 USD	307,80 USD	315,00 USD	298,80 USD	463,50 USD	486,00 USD	216,90 USD	211,50 USD	102,60 USD	109,80 USD	99,00 USD
Proyecto 1 debe tener 11 metros cuadrados de piedra en total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
Proyecto 1 debe tener al menos 3 metros cuadrados de Mármol		1													
Proyecto 1 no puede tener colores de piedra blanco	1			1			1			1					
Proyecto 2 debe tener 12 metros cuadrados de piedra en total											1	1		1	1
Proyecto 2 debe tener al menos 4 metros cuadrados de Purastone															
Proyecto 2 no puede tener colores de piedra negro													1		
Proyecto 3 debe tener 8 metros cuadrados de piedra en total															
Proyecto 3 debe tener al menos 5 metros cuadrados de Granito															
Proyecto 3 no puede tener colores de piedra negro ni gris															
Proyecto 1 no puede tener más de 3 metros cuadrados de Mármol	1	1													
Proyecto 2 no puede tener más de 3 metros cuadrados de Mármol											1	1			
Proyecto 3 no puede tener más de 3 metros cuadrados de Mármol															
Proyecto 1 no puede tener más de 5 metros cuadrados de Granito				1	1	1									
Proyecto 2 no puede tener más de 5 metros cuadrados de Granito													1	1	1
Proyecto 3 no puede tener más de 5 metros cuadrados de Granito															
Proyecto 1 no puede tener más de 4 metros cuadrados de Purastone						1	1	1							
Proyecto 2 no puede tener más de 4 metros cuadrados de Purastone															
Proyecto 3 no puede tener más de 4 metros cuadrados de Purastone															
Proyecto 1 no puede tener más de 2 metros cuadrados de Neolith									1	1					
Proyecto 2 no puede tener más de 2 metros cuadrados de Neolith															
Proyecto 3 no puede tener más de 2 metros cuadrados de Neolith															
Existen 8 metros cuadrados de Mármol	1	1									1	1			
Existen 12 metros cuadrados de Granito			1	1	1								1	1	1
Existen 10 metros cuadrados de Purastone						1	1	1							
Existen 5 metros cuadrados de Neolith									1	1					

Fuente: Elaboración propia.

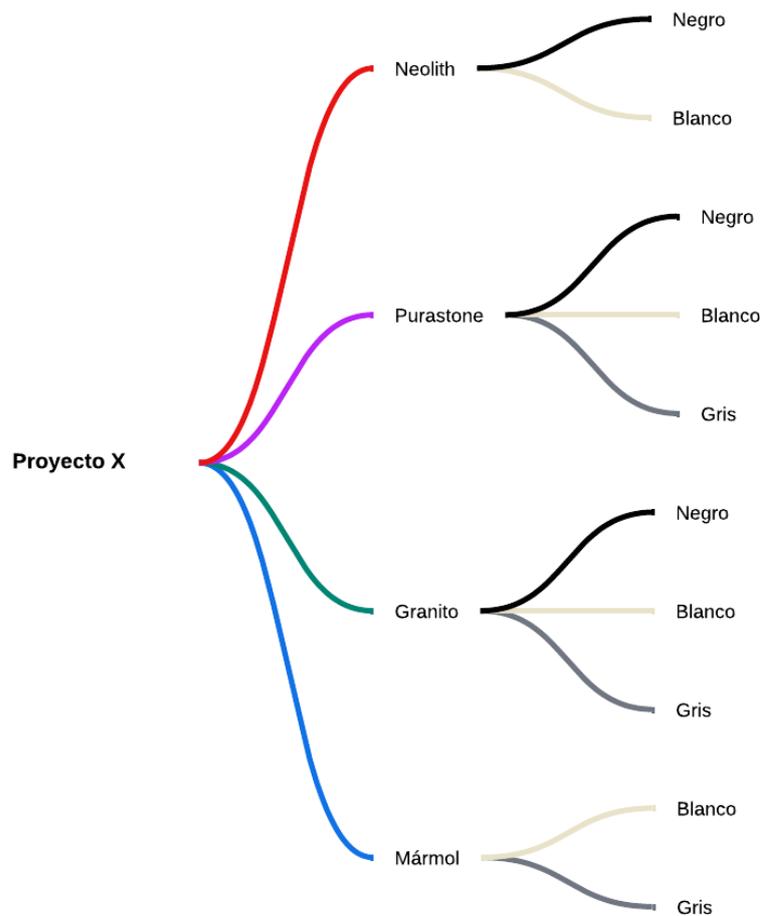


Tabla Nº8: Programación Lineal parte 2

	X212	X222	X232	M12	M22	X123	X133	X213	X223	X233	X313	X323	X333	M13	M23		
VD	0	4	0	0	2	0	0	0	5	0	0	2	0	0	1		
FO	307,80 USD	315,00 USD	298,80 USD	463,50 USD	486,00 USD	216,90 USD	211,50 USD	102,60 USD	109,80 USD	99,00 USD	307,80 USD	315,00 USD	298,80 USD	463,50 USD	486,00 USD	7.875,00 USD	
Proyecto 1 debe tener 11 metros cuadrados de piedra en total																11	=
Proyecto 1 debe tener al menos 3 metros cuadrados de Mármol																3	≥
Proyecto 1 no puede tener colores de piedra blanco																0	=
Proyecto 2 debe tener 12 metros cuadrados de piedra en total		1	1		1											12	=
Proyecto 2 debe tener al menos 4 metros cuadrados de Purastone		1	1													4	≥
Proyecto 2 no puede tener colores de piedra negro	1			1												0	=
Proyecto 3 debe tener 8 metros cuadrados de piedra en total						1			1			1			1	8	=
Proyecto 3 debe tener al menos 5 metros cuadrados de Granito								1	1	1						5	≥
Proyecto 3 no puede tener colores de piedra negro ni gris								1	1	1	1	1	1	1	1	0	=
Proyecto 1 no puede tener más de 3 metros cuadrados de Mármol																3	≤
Proyecto 2 no puede tener más de 3 metros cuadrados de Mármol																3	≤
Proyecto 3 no puede tener más de 3 metros cuadrados de Mármol						1	1									0	≤
Proyecto 1 no puede tener mas de 5 metros cuadrados de Granito																2	≤
Proyecto 2 no puede tener mas de 5 metros cuadrados de Granito																3	≤
Proyecto 3 no puede tener mas de 5 metros cuadrados de Granito								1	1	1						5	≤
Proyecto 1 no puede tener mas de 4 metros cuadrados de Purastone																4	≤
Proyecto 2 no puede tener mas de 4 metros cuadrados de Purastone	1	1	1													4	≤
Proyecto 3 no puede tener mas de 4 metros cuadrados de Purastone											1	1	1			2	≤
Proyecto 1 no puede tener mas de 2 metros cuadrados de Neolith																2	≤
Proyecto 2 no puede tener mas de 2 metros cuadrados de Neolith					1	1										2	≤
Proyecto 3 no puede tener mas de 2 metros cuadrados de Neolith														1	1	1	≤
Existen 8 metros cuadrados de Mármol							1	1								6	≤
Existen 12 metros cuadrados de Granito									1	1	1					10	≤
Existen 10 metros cuadrados de Purastone	1	1	1								1	1	1			10	≤
Existen 5 metros cuadrados de Neolith				1	1									1	1	5	≤

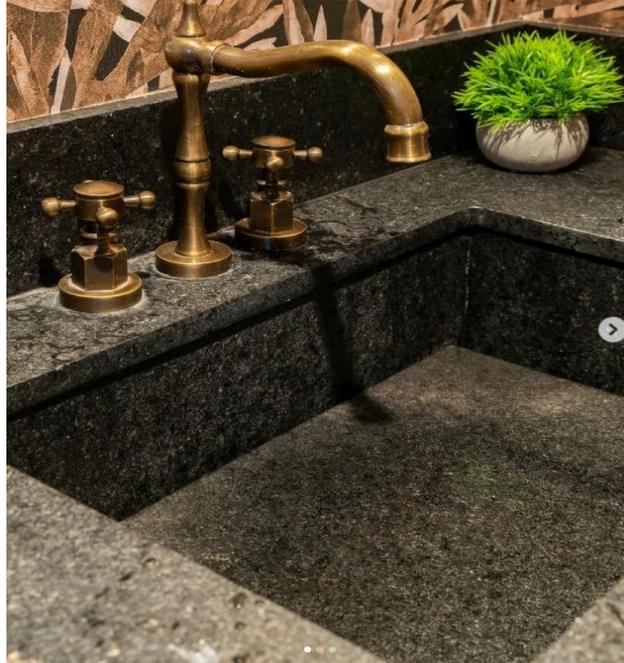
Fuente: Elaboración propia.

Imagen Nº1: Mapa red



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°2: Granito



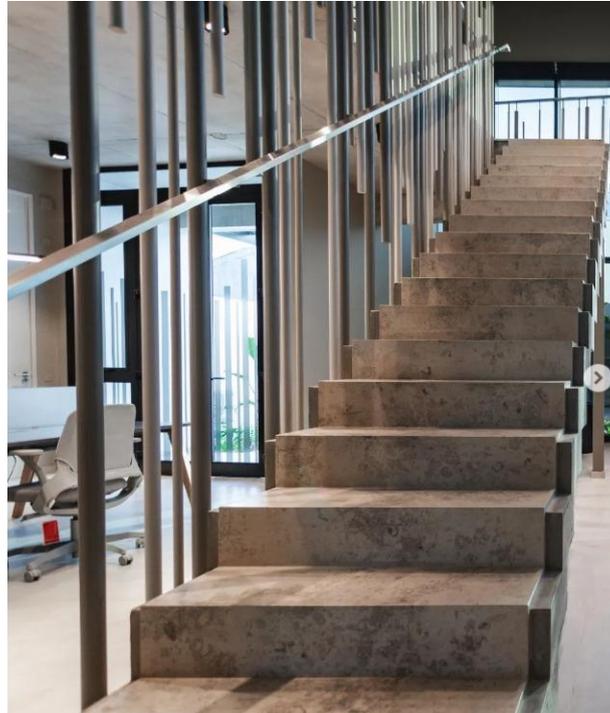
Fuente: Empresa

Imagen N°3: Neolith



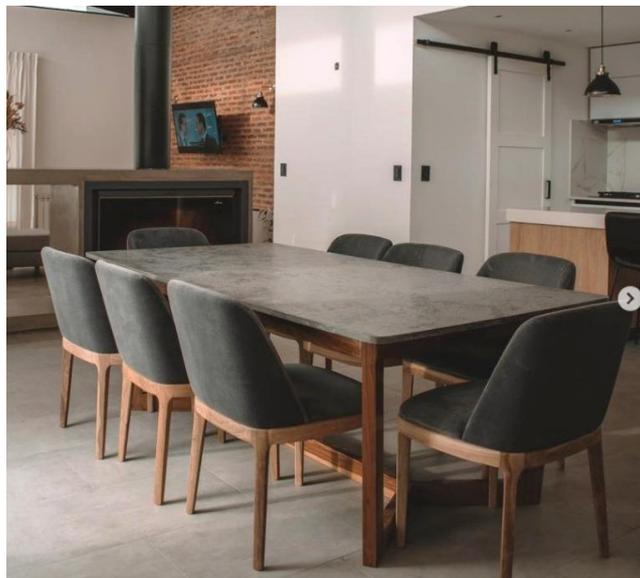
Fuente: Empresa

Imagen N°4: Mármol



Fuente: Empresa

Imagen N°5: Purastone



Fuente: Empresa



Referencias

- Render, Stair, Hanna. (2012). Métodos cuantitativos para los negocios. Undécima edición. Editorial Pearson.

Bibliografía

- Hernández Sampieri. (2014). Metodología de la Investigación. Sexta edición. Editorial McGraw Hill.
- Anderson, D. Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., & Martin, K. (2012). Métodos cuantitativos para los negocios. México D.F, México: Cengage Learning.
- G. D. Eppen. (2000). Investigación de Operaciones en la ciencia administrativa. Quinta edición. Editorial Pearson.
- Hanke, J. (2006). Pronósticos en los negocios. México DF, México: Pearson.
- Render, Stair, Hanna. (2012). Métodos cuantitativos para los negocios. Undécima edición. Editorial Pearson.