



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

***ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE MATERIA PRIMA CON DEMANDA ERRÁTICA MEDIANTE
EL USO DE ALGORITMOS DE ENSAMBLE Y UN FACTOR DE SIMILITUD EN UN ARTÍCULO DE
TEMPORADA***

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS
INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:
ING. DIEGO ARMANDO SANTIAGO RODRÍGUEZ

TUTORA
DRA. ESTHER SEGURA PÉREZ
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., MAYO 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Flores De La Mota Idalia

Secretario: M. I. Wellens Ann Godelieve

Vocal: Dra. Segura Pérez Esther

1^{er}. Suplente: Dra. Huerta Barrientos Aida

2^{do}. Suplente: Dr. Gómez Gallardo Wulfrano

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, Posgrado
Facultad de Ingeniería, UNAM, CD. MX.

TUTORA DE TESIS:

Dra. Esther Segura Pérez

Agradecimientos

A mis padres, Aurora Rodríguez Bautista y Patricio Santiago Bautista...

Quienes ahora me cuidan desde el cielo y sé que en este momento me siguen “echando porras” y estarán tan orgullosos de este logro como yo lo estoy. Gracias porque jamás frenaron cada uno de mis proyectos, por los valores que me inculcaron, pero muy en especial, gracias por las enseñanzas y vivencias que tuvimos a lo largo de estos años. Se me adelantaron en el camino, pero ahora viven mi corazón y en mis pensamientos.

Sin duda alguna esta ha sido la etapa que más aprendizajes me ha dejado la vida, por lo que quiero compartir y agradecer con estas palabras a todos aquellos que me han rodeado durante esta etapa.

A mis hermanos, Mauricio, Gabriela y Ramiro...

Hermanos, gracias por todos los cuidados y palabras que han brindado cuando más las he necesitado. La vida me dio el mejor privilegio de todos: pertenecer a esta familia y ser ustedes quienes me han ayudado a crecer.

A Liz y a la familia García Meza...

Gracias “MiPi”, Mi Piciosa, por todo lo vivido a tu lado, por caminar de la mano, por enseñarme tantas cosas que jamás había conocido. Tomados de la mano sé que podremos salir delante de todo lo que venga.

Gracias al Sr. Sergio, a la Sra. Valentina y a Diego pues me recibieron con las puertas abiertas desde la primera vez que lo conocí. Gracias al Sr. Sergio y a la Sra. Valentina por todas sus palabras y atenciones que tuvieron durante esta etapa.

A mis “teams”...

Gracias amiga Pamela y amigo “Shuy”, la maestría no hubiera sido la misma sino hubiera tenido una amistad como la suya.

A mi tutora Dra Esther Segura...

Gracias, Dra, haberla ido a buscar, al sótano del edificio E, para que me aceptara como su tutelado fue la mejor decisión que tome en mucho tiempo. Gracias por todo su apoyo, por sus enseñanzas y por las atenciones que me brindó en todo este trayecto.

A mis sinodales...

Por su retroalimentación en la mejora de este trabajo de investigación.

Y a mi amada alma mater...

Gracias mi “Universidad Nacional Autónoma de México” por el enorme honor de pertenecer a la mejor Universidad de México y por formarme a nivel personal y profesional.

“Por mi raza hablará el espíritu”

Índice

Introducción	1
Importancia de la demanda	1
Problemática	3
Justificación	4
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
Capítulo 1. El proceso de impresión y la filatelia	6
1.1. Proceso de impresión	6
1.1.1. La imprenta en México	7
1.1.2. Impresión offset	7
1.2. Filatelia	9
Capítulo 2. Productos nuevos y métodos de estimación	12
2.1. Clasificación de productos	12
2.1.1. Productos nuevos	14
2.2. La demanda y su clasificación	16
2.3. Métodos de estimación para demanda intermitente	18
2.3.1. Caracterización de la demanda	18
2.3.2. Demanda intermitente y el método Croston	18
2.3.3. Métodos de estimación de productos	20
2.3.4. Factor de similitud	24
2.3.5. Redes neuronales y árboles de regresión	25
2.3.6. Métodos de ensamble	29
Capítulo 3. Metodología	34
3.1. Recopilación de información	35
3.2. Análisis de la información	38
3.2.1. Pronóstico ajustado	40
3.2.2. Cálculo de los coeficientes CV^2 y ρ	41
3.2.3. Funciones y paqueterías de los métodos de ensamble	43
3.3. Determinación de cantidad de tinta	44
3.3.1. Error medio absoluto porcentual (MAPE)	44
3.3.2. Algoritmo para la estimación de tinta	44
Capítulo 4. Análisis de resultados	47
4.1. Determinación de pronósticos	48
4.2. Selección de pronóstico	51
4.3. Determinación de kg/lote, kg/mes y L/mes	52
4.4. Reducción de costos	53
Capítulo 5. Conclusiones	55
Bibliografía	57

Índice de figuras

Figura 1.1. Réplica de la prensa que inventó Gutenberg	6
Figura 1.2. Elementos de la impresión offset	7
Figura 1.3. Proceso de impresión offset	8
Figura 1.4. Ejemplos de estampillas postales en México	9
Figura 1.5. Estampillas postales representativas	10
Figura 2.1. Clasificación de productos	12
Figura 2.2. Matriz mercado-tecnología de producto hecha por Khan	15
Figura 2.3. Tipos de demanda	17
Figura 2.4. Clasificación de la demanda intermitente SBC	19
Figura 2.5. Métodos de estimación	20
Figura 2.6. Técnicas de predicción de productos nuevos	22
Figura 2.7. Juicio estructurado proceso de pronóstico de nuevos productos	23
Figura 2.8. Estructura de una neurona de una RNA	26
Figura 2.9. Diagrama de flujo de CART	28
Figura 2.10. Métodos paralelos de bagging	30
Figura 2.11. Métodos secuenciales de boosting	31
Figura 3.1. Metodología	34
Figura 3.2. Flujo de proceso para la impresión de una estampilla	35
Figura 3.3. Algoritmo para la estimación de consumo	45
Figura 4.1. Demanda por mes de la tinta 1	47
Figura 4.2. Patrones de demanda	47

Índice de tablas

<i>Tabla 2.1. Medidas de dispersión de datos agrupados</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3.1. Elementos en la impresión de estampillas postales.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3.2. Consumo de tinta (kilogramo empleado por cada lote impreso)</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3.3. Ejemplo de puntaje de similitud del artículo A</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 3.4. Ejemplo de factores por el método multiplicativo y aditivo</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 3.5. Consumo de la tinta 1</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3.6. Funciones y paqueterías de los métodos de ensamble</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 4.1. Puntaje y porcentaje de similitud.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 4.2. Factores de similitud.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 4.3. Resultados e hiperparámetros de los métodos de ensamble</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 4.4. Estimación de consumo de tinta por cada pronóstico y su error</i>	<i>51</i>

Introducción

En la actualidad, muchos de los bienes o servicios que se emplean han facilitado la manera en cómo se desarrolla la vida cotidiana. Es grande la cantidad de servicios que se pueden enlistar, a medida que transcurre el tiempo, gracias al avance de los servicios digitales. En el caso de los bienes, se pueden mencionar desde los artículos de belleza, los de cosmetología, medicamentos, alimentos, recubrimientos, hasta la industria automotriz, por mencionar algunos.

Los bienes presentan una gran particularidad debido a que para producirse se necesita de un sector que se dedique a la manufactura o comercialización de estos, es entonces cuando la industria de la transformación y la cadena de suministro colaboran de la mano para convertir la materia prima en un producto de mayor valor agregado y distribuirlo a gran escala. A partir de esto, la planeación de la producción toma una gran trascendencia debido a que es el cerebro dentro de la cadena de suministro al determinar la producción requerida, los niveles de inventario y los periodos necesarios para cumplir con la meta de la empresa, con ellos satisfacer la demanda que el cliente necesite.

La planeación de la producción se torna tortuosa cuando se requiere planificar la producción y distribución de un nuevo producto debido a que no se cuenta con la suficiente información para planear tanto los tiempos de producción, los niveles de inventario y por ende la logística necesaria para mantener el producto cuando el cliente así lo requiera.

Importancia de la demanda

Para comprender la relevancia de la demanda es necesario primero hablar sobre la definición de este concepto. Como lo menciona Sipper (1998), *“la demanda es el volumen total físico o monetario que sería adquirido por un grupo de personas en un lugar y periodo de tiempo dado bajo ciertas condiciones del entorno y un determinado esfuerzo comercial”*. Se puede observar que destacan tres principales fuerzas inherentes dentro de este concepto: una cantidad de producción determinada, un periodo establecido de tiempo y el trabajo de mercadotecnia para dar a conocer el producto,

- La primera fuerza se concentra en identificar que artículos se habrán de producir y las cantidades necesarias que permitan cubrir dicha demanda.
- El segundo punto es analizar y determinar los tiempos de recepción de materia, los tiempos de producción y los tiempos de distribución.
- El tercero es evaluar el peso que se desea tener ante el cliente, esto se logrará a través del uso de propaganda comercial que permita acaparar el mayor número de clientes.

Estos esfuerzos unidos lograrán alcanzar la satisfacción del cliente para cumplir con sus necesidades y expectativas

La satisfacción del cliente es de extrema importancia debido a que cualquier empresa debe mantener un nivel adecuado de servicio por el simple hecho de que los clientes son quienes determinarán el éxito y duración en el mercado de cualquier negocio. Si no se cumple con la satisfacción del cliente se corre el riesgo de que buscará otra opción dentro de la amplia gama de competencias que ofrece el mercado.

Con el paso del tiempo, el auge de una cantidad importante de empresas, que buscan constante renovación y actualización sobre los diferentes bienes y servicios, han incrementado la competencia y diversificación en todos los sectores.

Si bien la demanda, aunque es un tema muy antiguo, aún sigue presentando una amplia complejidad entre los economistas, los administradores y los planeadores pues dependen de muchos factores, siendo los de mayor impacto: el precio, la oferta, el lugar, la capacidad de pago y las necesidades. Cada uno de estos factores contribuyen en amplia medida a que la demanda sea más estocástica, mientras la demanda se torne más estocástica el riesgo y la incertidumbre se incrementan en el capital de cualquier empresa.

Bajo este preámbulo, una estimación deficiente, es decir, un valor alejado de la demanda real, conlleva a una sobreestimación o una subestimación en los niveles de inventario. En el primer caso, no se alcanzarán las ventas esperadas por lo cual habrá poco movimiento de los artículos pronosticados, desembocando en problemas para los espacios destinados del almacén, lo que involucra improvisar espacios en la disposición de los materiales y que en muchas ocasiones son la causa del deterioro de estos, o, en el peor de los casos, la pérdida total de la materia prima o el producto final cuando poseen un determinado tiempo de vida útil. En el segundo caso, existirá un desabasto tanto de materia prima como de producto terminado, es evidente que el problema de gran magnitud es la incapacidad de cumplir con el requerimiento del cliente contribuyendo a un descenso en el nivel de servicio de cualquier empresa. Ambos casos repercuten negativamente en los costos del modelo de negocio.

En estos tiempos aquellas empresas que no se adaptan y reaccionan inmediatamente a la fluctuación de la demanda tienden a verse desplazadas en el mercado provocando en algunos de ellos la quiebra del negocio, Cordero (2019).

Para facilitar una previsión de la demanda, en muchas ocasiones se emplean técnicas como la intuición o la heurística. Lo anterior, aunque pareciera trivial no lo es debido a que se sugiere que quién lo dictamine tenga un periodo en el área por encima de los diez años debido a que ha adquirido la suficiente experiencia para emitir un juicio bastante cercano, rápido y fácil para estimar un valor de demanda. Sin embargo, como lo mencionan los autores Hanke y Wichern (2006), *“para que las organizaciones grandes, medianas o pequeñas, privadas o públicas, puedan reducir el grado de incertidumbre causado por el*

cambio constante del entorno, deben respaldar sus decisiones en algo más que la experiencia”, es decir, se requiere de la elaboración de pronósticos precisos y confiables que sean apropiadas para satisfacer las necesidades de la organización.

A medida que ha transcurrido el tiempo se han desarrollado diferentes técnicas para anticiparse a la demanda, los métodos de estimación o también llamados pronósticos. Montemayor (2013) afirma que, *“pronosticar es realizar un enunciado sobre el futuro de una variable de interés, fundamentado ya sea por el análisis de datos históricos disponibles, por el juicio de expertos en el tema o por una combinación de ambas cosas”,* esta premisa acarrea, de forma inherente, un alto sesgo en la información tratada por el simple hecho de intentar predecir un evento futuro, además de que en muchos de ellos no se cuenta con ningún tipo de información que se pueda considerar como punto de partida; tal es el caso de los productos que son de nuevo lanzamiento o aquellos que sólo se ofrecen al mercado una sola vez.

En resumen, es históricamente conocida la vital importancia de la planificación de la demanda dado que estima y prevé el estado futuro de las ventas, la demanda de insumos y de todo aquello que represente un riesgo o una oportunidad de progreso en el manejo de las finanzas. La forma en que se ha intentado estimar ese futuro incierto ha sido a través del uso de los pronósticos, una herramienta estadística que tiene como propósito predecir un evento en el tiempo sustentada a través de la información histórica que se posea, o en algunos casos por la experiencia de expertos en la materia. Los responsables de procesos y la alta dirección en el sector empresarial deben ser muy cautelosos en la forma en cómo se emite una planeación de la demanda pues de ellos dependerá toda la cadena de suministro desde que se solicitan los insumos hasta que el producto de valor agregado se encuentre con el cliente final.

Problemática

Como se pudo observar con anterioridad, la planeación de la demanda es la parte esencial en la cadena de suministro dado que de ella se obtendrá la información sobre las compras necesarias para cumplir con el bien o el servicio, los tiempos destinados a la manufactura, los niveles de inventario necesarios y la logística de distribución, por mencionar los más importantes; la decisión que se elija tomará un peso importante a medida que transcurre el tiempo. Desafortunadamente, las personas encargadas de la planeación de la demanda en más de una ocasión se enfrentan a uno de los desafíos más importantes, a la ya extenuante actividad de anticiparse a un futuro incierto; el lanzamiento de nuevos productos, de temporada o de aquellos que sólo se lanzan una vez en el mercado. Para este tipo de productos, el problema radica en que no existe suficiente información que se pueda emplear como base para la creación de un pronóstico, aunque ya existen algunas metodologías que parten de la analogía de productos con características similares aún se siguen modificando dichos algoritmos para hallar el de menor error.

El siguiente trabajo tiene por propósito estimar la cantidad necesaria de una de las tintas, de recién introducción, en una empresa que se dedica a la impresión de estampillas postales, la cual tiene el proyecto de producir una determinada cantidad de estampillas por las festividades en turno (producto que sólo es presentado en el mercado una vez cada año). La tinta, a la que se requiere estimar su consumo, posee características fisicoquímicas renovadas, tales como la viscosidad y la pegajosidad, que contribuyen a mejorar su desempeño dentro del proceso de impresión causando una reducción importante de la cantidad empleada por lote. Por otra parte, sus propiedades colorimétricas se ven beneficiadas, potenciando ciertas tonalidades en la impresión final. Por último, la propiedad por la cual se distingue de las otras tintas es su característica holográfica, la cual le brinda un efecto tridimensional al diseño de la estampilla. Derivado de las propiedades mencionadas, el costo del insumo es mayor comparado con el resto de las tintas.

En esta industria las tintas son los insumos de mayor costo y las requisiciones se deben anticipar en periodos de tiempo que van desde los dos meses hasta medio año, por la disponibilidad y distribución de éstas, en ocasiones si se necesita alguna tinta con características específicas es necesario recurrir a la importación en el extranjero. El conflicto que presentan los planeadores de la demanda o producción es la incertidumbre de qué información histórica tomar para estimar el consumo de la tinta nueva, a causa de que por las nuevas características de la tinta se desconoce su demanda, a partir de una determinada cantidad de estampillas que se habrán de imprimir. La decisión respecto a la cantidad de insumo necesario garantizará la disponibilidad o no del mismo y con ello el cumplimiento de la producción.

Justificación

El trabajo presenta una opción para prever la cantidad de insumos necesarios en productos de nuevo lanzamiento o aquellos que sólo se lanzan una vez al año.

En este caso se compara dos alternativas de estimación, el primero de ellos considera un factor que cuantifica la similitud entre el producto nuevo y uno de circulación, el segundo consiste en un conjunto de algoritmos derivados de los árboles de regresión (aprendizaje automático), en ambos casos se toma la información histórica del producto de mayor semejanza.

La decisión de cuál método elegir se tomará con base en la medición del error *MAPE*, se optó por este error debido a que presenta una gran ventaja, expresa el valor del error como un porcentaje de los datos actuales y no en unidades, a diferencia de los errores *MAD* o *MSE*. Además, es una medida de escala independiente, lo cual la hace adecuada para comparar diferentes series de tiempo.

Se realizó esta propuesta por la necesidad de estimar la cantidad de un artículo que presenta nuevas características en comparación de sus predecesores. Al llevar a cabo el análisis se determinó que la demanda del producto corresponde a una demanda de tipo grumosa y de la cual son pocos los estudios reportados en la literatura. El comportamiento de la demanda grumosa es tan frecuente en aquellos artículos de fabricación o la venta al por menor debido a que presentan poco movimiento en el mercado o son demasiado caros para su adquisición; el origen de estas necesidades es tan común desde aquellas empresas que inician sus operaciones hasta aquellas que requieran lanzar algún producto conmemorativo, exclusivo o de nueva creación.

Objetivo general

Determinar la cantidad necesaria de tinta que se requiere para la impresión del tiraje de estampillas postales de temporada a través de la comparación entre un conjunto de pronósticos, el criterio de selección de pronóstico será el de menor error a través de la medición del *MAPE*.

Objetivos específicos

- Llevar cabo un mapeo de procesos que permitiera identificar el proceso de producción de la imprenta.
- Analizar el proceso de impresión y llevar a cabo la investigación y el estudio de técnicas de predicción en productos de nueva creación, o de temporada.
- Cuantificar el valor del factor similitud que permita la correlación de la información histórica del producto que se encuentre en circulación y que comparta diversas características similares.
- Determinar el mejor modelo de pronóstico mediante la medición del menor error, *MAPE*.
- Obtener la cantidad de tinta necesaria para la impresión del tiraje de estampillas de temporada en términos de kg/lote.
- Cuantificar el porcentaje de ahorro en los costos de fabricación con el uso de la tinta nueva

Capítulo 1. El proceso de impresión y la filatelia

1.1. Proceso de impresión

El proyecto presentado se llevó a cabo en una empresa que se dedica al giro de las artes gráficas, específicamente en la impresión de las estampillas postales. Munive (2015) define que, *“el arte gráfico comprende a todas aquellas actividades relacionadas con la preparación, producción y terminado de obras impresas en diferentes tipos de sustratos. Aunque es una industria que conlleva siglos de historia, muchas de las necesidades que se tiene actualmente en la mercadotecnia, publicidad, divulgación de información, billetes de lotería, periodismo, libros, etc., provienen de esta industria; de ahí el porqué de su importancia”*.

No es posible determinar con precisión cuándo terminó la Edad Media y empezó una nueva era en el mundo. Pero no cabe duda de que, si un descubrimiento técnico ha marcado el cambio de los tiempos, éste ha sido, sin duda, la imprenta. Es bien sabido que la revolución del libro impreso empezó en los años centrales del siglo XV en la ciudad alemana de Maguncia, de la mano de un artesano llamado Johannes Gutenberg (Cabrillo, 2017). Nacido en la misma ciudad en los últimos años del siglo XIV, Gutenberg trabajó, al principio, en la orfebrería y se convirtió en un experto en la fundición de metales. Tras haber residido algún tiempo en Estrasburgo, donde parece que concibió y empezó a desarrollar sus ideas sobre el arte de la impresión, volvió a su ciudad natal y allí se asoció con un comerciante adinerado, Johannes Fust, para explotar su invento (figura 1.1); y en 1449 apareció su famoso Misal de Constanza, considerado el primer libro impreso con tipos móviles. Dos años después darían comienzo los trabajos para la publicación del que es aún el libro más famoso nunca publicado: la biblia de 42 líneas, conocida como la biblia de Gutenberg, aunque no fue ésta la única edición de las sagradas escrituras que salió de su taller.



Figura 1.1. Réplica de la prensa que inventó Gutenberg
Fuente: Museo de Cataluña, 2021

1.1.1. La imprenta en México

La introducción de la imprenta en territorio continental americano se da, como ha sido señalado en repetidas ocasiones por la crítica especializada, en el año 1539, gracias a las gestiones realizadas hacia 1535 por fray Juan de Zumárraga, primer obispo de México, ante el Emperador Carlos V (Grañen, 2010). Las necesidades de la instauración de esta tecnología se ceñían básicamente a cuestiones prácticas: estudio de los españoles recién asentados en el Virreinato de la Nueva España y apoyo a las labores de evangelización de los naturales. Así como sucedió con la introducción de la imprenta en España, la difusión de textos impresos con tipos móviles transformó la concepción del mundo gráfico en el Virreinato de la Nueva España, aunque con algunas diferencias.

Con la encomiable tarea filológica por parte de los frailes de las diferentes órdenes religiosas (De Mendieta, 1870), recién asentados en el territorio americano, se elaboraron y llevaron a las prensas los primeros vocabularios y artes de gramática en náhuatl, tarasco, zapoteco, mixteco, huasteco, otomí, zotzil y de la lengua cuchona (Rodríguez, 2019)). Estos vocabularios y artes sirvieron a su vez para traducir a las lenguas de los naturales las doctrinas cristianas, las cartillas y otros textos de evangelización.

1.1.2. Impresión offset

Existen muchos sistemas de impresión, entendiéndose como sistemas de impresión a la manera de reproducir una imagen de un soporte físico o no a otro físico (EstuGRAF impresores, 2018). Cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes, pero sin duda uno de los más famosos es el sistema offset.

Es un proceso de impresión planográfico, como se muestra en la figura 1.2, dado que las zonas con imagen y las zonas sin imagen se encuentran en el mismo plano superficial, que utiliza la inmiscibilidad existente entre el agua y las sustancias grasas o aceitosas como las tintas para conseguir el entintado selectivo de las áreas con imagen, puesto que la naturaleza grasa de la imagen repele el agua (Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo - Madrid, 2013).

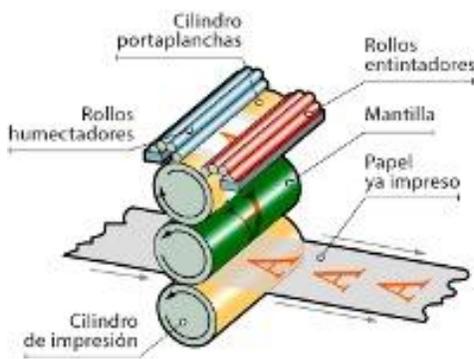


Figura 1.2. Elementos de la impresión offset

Fuente: Glosario gráfico, 2020

El proceso productivo de impresión offset se divide en 3 etapas, como se muestra en la figura 1.3.

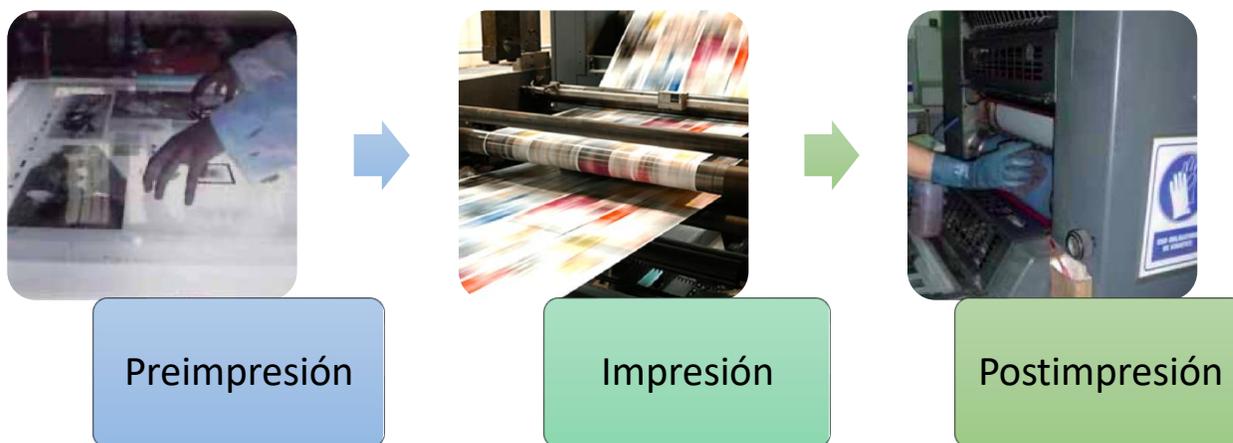


Figura 1.3. Proceso de impresión offset

Fuente: Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo - Madrid, 2013

Cada una de las etapas que conforman este proceso se describen a continuación:

- a) **Preimpresión:** Comienza mediante una fase de diseño de la imagen a imprimir (fotocomposición), para, posteriormente, pasar a la denominada fase de fotomecánica donde se genera un negativo para la preparación de la plancha de impresión. Para la realización de este negativo, se utiliza una película fotosensible que, tras una exposición a luz ultravioleta (UV), debe pasar por distintos baños donde se produce el revelado, la fijación, el lavado y el secado para obtener la película con imagen (fotolito) que, posteriormente, se traslada a la plancha de impresión.

El traslado de la imagen desde el fotolito a la plancha implica la modificación de sus características superficiales de modo que, en la etapa de impresión, la tinta se transfiera a zonas con imagen y sea repelida de las zonas sin imagen. Dicho proceso de modificación superficial de la plancha de impresión se consigue, por el revelado tradicional, mediante la combinación de luz ultravioleta y varios reactivos para el revelado, lavado, corrección y engomado. Así se obtiene la plancha con imagen. Aunque está en desuso, la plancha se introduce en un horno de calor para endurecerla.

- b) **Impresión:** La etapa de impresión consiste en transmitir la imagen desde la plancha al sustrato (papel, cartón, etc.) en las prensas de impresión planas o de bobinas. Para ello, el aporte de la solución de remojo y la tinta a la plancha con imagen, junto con el principio de inmiscibilidad grasa-agua, hace que la tinta se retenga en las partes lipofílicas de la plancha y sea repelida en las partes hidrofílicas, repulsión fortalecida por la acción de la solución de remojo. Cuando la plancha ha cogido la tinta, la transmite al rodillo portacaucho o mantilla, el cual imprime la imagen sobre el papel o el soporte que circula por encima del cilindro de impresión. La etapa de

impresión finaliza con una etapa de secado y fijación de las tintas sobre un sustrato que depende del tipo de tinta utilizado. Así, se pueden encontrar: tintas de secado por calor (tintas convencionales *Heat-Set*), tintas de secado sin calor (tintas convencionales *Cold-Set*) o tintas de secado por radiación (tintas Ultravioleta -tintas UV- y tintas de curado por radiación de electrones -tintas EB).

- c) **Postimpresión:** Finalizada la impresión es necesaria una etapa de acabado del producto impreso (corte, plegado, fresado, cosido, encuadernación, embalaje, etc.) para conseguir las condiciones de formato y acabado solicitadas por el cliente. Dentro de la postimpresión también se incluye la limpieza con disolventes de rodillos entintadores, tinteros, planchas de impresión, cilindros de impresión, cubetas, etc., que han sido impregnadas por el uso de tintas, barnices, etc.

1.2. Filatelia

Los términos timbre, sello y estampilla, se utilizan indistintamente para denominar a este pequeño trozo de papel, que, adherido a la carta, valida el pago y hace llegar a todo el mundo un mensaje de buena voluntad y amistad del país que lo emite. En México, como en la gran mayoría de los miembros de la Unión Postal Universal, se acepta por consenso el término "estampilla", que se diferencia de la denominación "timbre", de origen francés y connotación fiscal, así como la de "sello" utilizada en España y que en México corresponde más a una marca de acero o goma, que se coloca sobre la carta con la fecha de envío o recepción (Servicio Postal Mexicano, 2020).

En México, durante el gobierno del presidente Ignacio Comonfort, se estableció mediante decreto del 21 de febrero de 1856, la impresión de las primeras estampillas postales, mostrando la efigie de don Miguel Hidalgo y Costilla, mismas que se pusieron en circulación el primero de agosto de ese mismo año (Servicio Postal Mexicano, 2020). Desde entonces se han impreso una gran cantidad de estampillas, algunas muy exclusivas que con el paso de tiempo han incrementado su plusvalía entre los coleccionistas. Esta área es la de mayor rentabilidad debido a que en el mercado se llegan a encontrar ediciones únicas o conmemorativas (figura 1.4), que en muchas ocasiones alcanzan valores exorbitantes.



Figura 1.4. Ejemplos de estampillas postales en México
Fuente: Servicio Postal Mexicano. Servicio en Internet, Filatelia, 2020

La filatelia consiste en el interés por coleccionar y clasificar sellos, sobres y documentos postales de diversa naturaleza. A su vez se divide en filatelia tradicional o clásica y filatelia temática (Turienzo, 2018). La tradicional o clásica organiza los sellos de un país por orden

cronológico y puede reunirse por épocas, emisiones y estudios específicos. La colección temática reúne sellos postales, ya sea por la imagen o por el motivo de la emisión (Memoria chilena, 2020). En el antiguo Egipto ya existía un servicio de transporte de correspondencia oficial para trasladar los papiros a través del Nilo. Pero no fue hasta el 6 de mayo de 1840 que en Gran Bretaña se creó el primer sello postal adhesivo que circuló por el mundo. Se apodó *penny black* y tuvo una tirada total de 68 millones de ejemplares (Runciter, 2020).

Se puede decir que existen distintos intereses aún en el mundo de las emisiones postales, ya que el científico exigiría la difusión pormenorizada y sistemática de las especies autóctonas que estudia, en un plan prolongado en el tiempo, en tanto que la emisión postal se limita a la esporádica impresión de sellos que priorizan los ejemplares más vistosos de cada familia (Turienzo, 2014).

En la figura 1.5 se muestran algunos de los sellos postales más demandados y caros a lo largo de la historia.



Figura 1.5. Estampillas postales representativas
De izquierda a derecha: a) Z-grill, b) Treskillling amarillo y c) Jenny invertido
Fuente: Asociación Española de Valor, Tinsa, 2020

Estas son las razones y detalles por las cuales llegaron a adquirir un valor tan grande en contraste con lo que se invirtió para elaborarlos, y el porqué de la trascendencia en la filatelia:

- a) **Z-Grill**, es el sello más famoso de Norteamérica y posiblemente el más caro del mundo. Esta estampa de 1 centavo de dólar fue impresa en 1868 con la esfinge de Benjamín Franklin en una plancha a presión de estilo "Z" que dejó de usarse poco después, lo que le confiere la rareza a este sello. En 1998 se vendió un ejemplar por 935.000 USD. En el 2005 se intercambió por 4 sellos Jenny invertidos lo que le confiere un valor aproximado de 3.000.000 USD.
- b) **Treskillling amarillo**, este sello forma parte de la primera serie postal sueca impresa en 1855. Debido a un error de imprenta, la primera serie de ese sello fue impresa en amarillo cuando debía haber sido en verde azulado. Esta rareza, unida a que sólo se conoce una copia de este sello, hace que sea el segundo más valorado del mundo.

En 1984 se vendió por 977.000 francos suizos y en 1990 por un millón de dólares norteamericanos. En su última venta en 2010 se subastó por 2,3 millones de dólares.

- c) **Jenny invertido**, emitido en mayo de 1918 para el correo aéreo norteamericano, en una hoja de 100 sellos se produjo un claro error de imprenta cuando el avión del centro (un Curtiss J-N4) fue impreso invertido. Un coleccionista amateur compró el lote de 100 sellos por 24 dólares que después revendió por 15.000 dólares. Los sellos se separaron en grupos hasta que en 1990 un grupo de 4 sellos fue vendido por más de 1 millón de dólares. En el año 2005 un nuevo grupo de 4 sellos fue intercambiado por un Z-Grill en una operación tasada en 3 millones de dólares.

Capítulo 2. Productos nuevos y métodos de estimación

2.1. Clasificación de productos

Dentro del mercado existen una gran cantidad de bienes y servicios, o en términos coloquiales también llamados productos, cada uno de ellos cumpliendo con un propósito en específico para lograr satisfacer las necesidades de los clientes. Para la mercadotecnia un producto es “un conjunto de atributos tangibles e intangibles que abarcan empaque, color, precio, calidad y marca, además del servicio y la reputación del vendedor; el producto puede ser un bien, un servicio, un lugar, una persona o una idea” (Stanton et al, 2007). El área de la mercadotecnia se ha encargado de llevar a cabo diversas clasificaciones para los productos de acuerdo con las características propias o función de cada uno de ellos, estas clasificaciones se muestran en la figura 2.1.

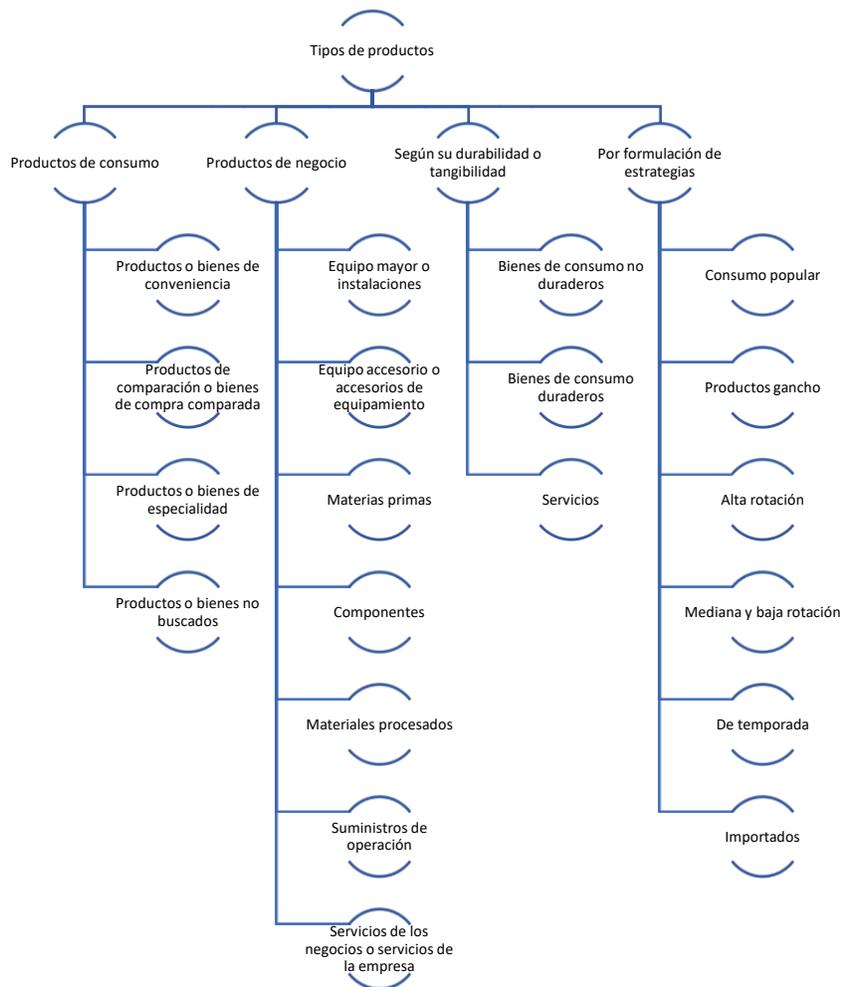


Figura 2.1. Clasificación de productos
Fuente: Fisher, 2004

Clasificación de los productos de consumo, se les denomina así según su uso a nivel personal o en los hogares (Lamb et al, 2002), se clasifican en:

- *Productos o bienes de conveniencia*: es un artículo relativamente barato cuyo precio exige poco esfuerzo. Algunos ejemplos son los caramelos, refrescos, peines, aspirinas, pequeños artículos de ferretería, tintorería y lavado de automóviles.
- *Productos de comparación o bienes de compra comparada*: es un producto tangible del cual el consumidor quiere comparar calidad, precio y estilo en varias tiendas antes de hacer una compra. Ejemplo: ropa de moda, los muebles, los aparatos electrodomésticos caros y automóviles.
- *Productos o bienes de especialidad*: aquellos productos que tienen características únicas o identificaciones de marca para las cuales un grupo significativo. Por ejemplo, los automóviles, máquinas fotográficas y trajes.
- *Productos o bienes no buscados*: productos cuya existencia no es conocida por el consumidor o que, conociéndola, no desea comprar. Los clásicos ejemplos son los seguros de vida, enciclopedias o lápidas funerarias.

Clasificación de los productos de negocios, se clasifican de acuerdo con su uso (Stanton et al, 2007):

- *Equipo mayor o instalaciones*: equipos que afectan directamente a la escala de operaciones en la producción de bienes y servicios de una organización. Por ejemplo, máquinas grandes o costosas, computadoras principales, altos hornos, generadores, aviones y edificios.
- *Equipo accesorio o accesorios de equipamiento*: equipos que tienen vida más corta que la de las instalaciones, pero más larga que la de los accesorios que se utilizan en la explotación. Comprenden equipo portátil y herramientas (herramientas de mano y carretillas elevadoras) y equipamiento de oficina (mesas de oficina y máquinas de escribir)
- *Materias primas*: bienes de negocio que se convierten en parte de otro producto tangible antes de ser procesados en cualquier otra forma.
- *Componentes*: artículos ya terminados, listos para su ensamble, o productos que necesitan muy poco procesamiento antes de formar parte de algún otro producto. Ejemplos: bujías, llantas y motores eléctricos para autos.
- *Materiales procesados*: se usan en la fabricación de otros productos. A diferencia de las materias primas, han tenido algún procesamiento. Algunos ejemplos son: láminas metálicas, materias químicas, aceros especiales, maderas, jarabe de maíz y plásticos.
- *Suministros de operación*: bienes de negocios que se caracterizan por un bajo valor monetario por unidad y una corta duración, y que contribuyen a las operaciones de una organización sin convertirse en parte del producto terminado se llaman suministros de operación.
- *Servicios de los negocios o servicios de la empresa*: incluyen mantenimiento, servicio de reparaciones y servicios de consultoría.

Clasificación de los productos según su durabilidad y tangibilidad, se clasifican de esta forma de acuerdo con la cantidad de veces que pueden ser usados, el tiempo que duran y su tangibilidad (Kotler y Keller, 2016):

- *Bienes de consumo no duraderos*: son aquellos que, siendo tangibles, suelen consumirse rápidamente, por ejemplo, la cerveza o jabón.
- *Bienes de consumo duraderos*: aquellos productos tangibles que generalmente pueden usarse muchas veces. Ejemplos de esto son los refrigeradores, herramientas mecánicas y ropa.
- *Servicios*: intangibles, inseparables, variables y perecederos. En consecuencia, suelen exigir un mayor control de calidad, credibilidad por parte del proveedor y adaptación a las preferencias de los consumidores. Algunos ejemplos son un corte de cabello o un servicio de reparación del automóvil.

Otros tipos de productos, esta es una clasificación extra a las antes mencionadas, de igual forma se emplean para productos trascendentes en la formulación de estrategias (Fischer y Espejo, 2004):

- *Productos de consumo popular*: son productos fabricados y destinados al consumo masivo sin la necesidad de un proceso industrial adicional.
- *Productos gancho*: estos productos no reditúan una ganancia considerable a la empresa, pero sirven para vender otros o para dar una imagen al consumidor de que la empresa cuenta con todo lo necesario.
- *Productos de impulso*: sirven como base para dar a conocer otros productos de reciente creación y características similares; en ocasiones se hacen modificaciones a su diseño antes de su decadencia.
- *Productos de alta rotación*: se producen en gran cantidad, rápidamente y para una temporada corta. Por ejemplo, las esferas navideñas, los trajes de baño, las tiendas de campaña, impermeables, por mencionar algunos.
- *Productos de media y baja rotación*: su producción es baja o intermedia de acuerdo con el pedido de cada una de las empresas. Por ejemplo, los mosaicos, materiales eléctricos, estambres y tornillos.
- *Productos de temporada*: aquellos que se producen como respuesta a la demanda en las diferentes épocas del año. Ejemplos: los juguetes, útiles escolares, etc.
- *Productos importados*: Son productos elaborados en el extranjero, cuyo precio a veces es muy alto.

Como se puede observar, estas clasificaciones comprenden productos que ya se encuentren en el mercado, sin embargo, con el paso del tiempo las grandes empresas han invertido un amplio esfuerzo en la creación de productos innovadores o la mejora de aquellos que ya se encuentran en el mercado, por lo que se introdujo el concepto de producto nuevo.

2.1.1. Productos nuevos

Un producto nuevo, como lo menciona Jain (2007), “*es aquel que posee características que los consumidores perciben como innovadoras con respecto a los productos ya existentes*”.

El área de la mercadotecnia se ha encargado de presentar diversas propuestas de clasificación de los productos nuevos considerando factores como costos, desempeño al estar en el mercado o el tipo de mercado al que están destinados.

Khan (2006) llevó a cabo una propuesta de clasificación de los productos nuevos de acuerdo a las características que estos presentan con respecto al mercado objetivo al cual el producto está siendo lanzado y al nivel de tecnología usada para desarrollarlo. De acuerdo a esta clasificación existen siete tipos de productos nuevos:

- 1) **reducciones de costos:** no son cambios drásticos en el producto, sino aquellos que pueden influir en el comportamiento de compra del consumidor, especialmente cuando se relacionan con la implementación de una nueva política de precios o el mantenimiento de una ventaja de costos.
- 2) **mejoramiento del producto:** son modificaciones del producto que buscan perfeccionar la forma o función del producto, a menudo, se etiquetan como “nuevo y mejorado” o “mejor sabor”.
- 3) **extensiones de línea:** conservan las características estándar de un producto original (o conjunto de productos) no tiene. La diferencia entre una mejora de producto y una extensión de línea es que la mejora de producto reemplaza al producto original, por lo que los clientes son migrados al nuevo producto, mientras que, en el caso de una extensión de línea, tanto el producto original como el nuevo están disponibles para su compra.
- 4) **nuevos mercados:** productos que una empresa lleva a un nuevo mercado donde el producto no se había ofrecido.
- 5) **nuevos usos:** son productos originales posicionados en nuevos mercados sin cambiar, o cambiar ligeramente el producto original.
- 6) **nuevo para la compañía:** son productos que son nuevos para la empresa, pero como categoría, no nuevos para el consumidor.
- 7) **nuevo para el mundo:** son innovaciones tecnológicas que crean un mercado completamente nuevo que antes no existía.

Estos siete productos se pueden organizar en cuatro dimensiones caracterizadas por el tipo de mercado al que se atenderá (clientes actuales o nuevos) y el tipo de tecnología del producto (tecnología actual o nueva). En la figura 2.2 se muestra un marco de clasificación denominado matriz de mercado de productos elaborada por Khan.

		Tecnología de producto	
		Actual	Nuevo
Mercado	Actual	Penetración de mercado (Reducción de costos, mejoramiento de producto)	Desarrollo de productos (Extensiones de línea)
	Nuevo	Desarrollo de mercado (Nuevos usos, nuevos mercados)	Diversificación (Nuevo para la compañía, nuevo para el mundo)

Figura 2.2. Matriz mercado-tecnología de producto hecha por Khan
 Fuente: Khan, 2006

De acuerdo a la figura 2.2, el mercado actual (clientes actuales) que está siendo atendido por un nuevo producto usando tecnología de producto actual es indicativo de una estrategia de penetración de mercado. Una estrategia de penetración de mercado tiene por objetivo aumentar el uso del producto mediante estrategias de acercamiento y compromiso. Las reducciones de costos y las mejoras de productos son características de una estrategia de penetración de mercado porque estos dos tipos de nuevos productos intentan atraer clientes a través de una nueva política de precios o características mejoradas.

Una estrategia de desarrollo de productos se deriva del objetivo de capitalizar la tecnología de productos existente y ofrecer más opciones a la base de clientes. De esta manera, la empresa con una línea de productos más diversa puede defenderse de los competidores. Las extensiones de línea están típicamente asociadas con una estrategia de desarrollo de productos.

Una estrategia de desarrollo de mercado surge del deseo de expandir el volumen de ventas de productos existentes a través de nuevos mercados. Esto incluiría expansiones geográficas, incluidos los mercados internacionales y dirigirse a nuevos segmentos del mercado dentro del mercado nacional. Una estrategia de desarrollo de mercado se basa en la tecnología de producto predominante actual tratando de encontrar nuevos mercados viables que respondan favorablemente a dicha tecnología. Los nuevos usos y los nuevos productos son característicos de una estrategia de desarrollo de mercado.

La diversificación se persigue cuando la empresa desea expandir su negocio en negocios relacionados y negocios no relacionados. Una empresa que persigue esta estrategia se enfrenta a complejidades asociadas con nuevos mercados de clientes y nuevas tecnologías de productos. Se persiguen nuevas entradas de categorías y productos nuevos en el mundo en el curso de una estrategia de diversificación.

Justamente estas características de los productos nuevos hacen que el comportamiento de compra del consumidor no pueda ser pronosticado exactamente con las curvas de demanda de productos actuales, esto implica alterar curvas de demanda de productos similares o generar nuevas curvas de demanda sin apoyo de datos históricos.

2.2. La demanda y su clasificación

Hablar de la demanda sigue siendo un tema complejo y de amplio estudio para los campos de la administración, planeación y de ingeniería desde tiempo atrás, debido a que se ve afectada por diversos parámetros. Para entender la magnitud del concepto de demanda se recurre a la definición hecha por Sipper (1998), *“la demanda es el volumen total físico o monetario que sería adquirido por un grupo de personas en un lugar y periodo de tiempo dado bajo ciertas condiciones del entorno y un determinado esfuerzo comercial”*, es

importante recalcar que esta premisa enuncia un futuro el cual depende de circunstancias sociales y de la capacidad monetaria para adquirirse.

Existen diferentes formas de clasificar a la demanda, de acuerdo con la dependencia de los productos o para el sector al que está dirigido los productos. En la figura 2.3 se muestran los tipos de demanda existentes.

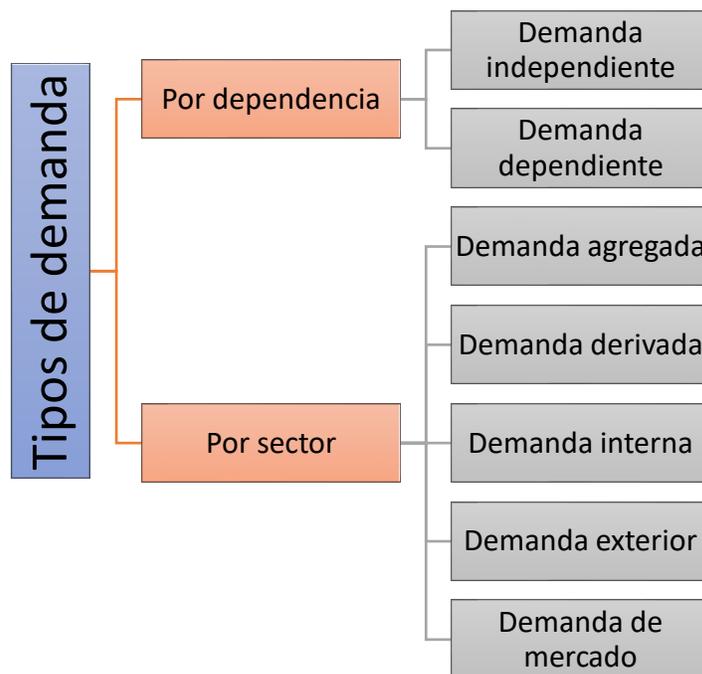


Figura 2.3. Tipos de demanda
Fuente: Sipper, 1998, Zonalogística, 2021

- Demanda independiente: es la demanda generada para un producto por una gran cantidad de clientes, quienes pueden adquirir una fracción del volumen total.
- Demanda dependiente: deriva de la demanda independiente, es decir, parte de los requerimientos especificados a través de un programa de producción de un determinado producto.
- Demanda agregada: representa el total del gasto de una economía durante un periodo específico de tiempo.
- Demanda derivada: consecuencia de otro tipo de demanda, o de las condiciones en que ésta se produzca.
- Demanda interna: suma del consumo en los sectores públicos y privados de un país.
- Demanda exterior: necesidad de bienes de un país que proviene del mercado internacional.
- Demanda de mercado: representa la totalidad de los bienes que puede consumir un mercado.

De acuerdo a estas características se puede observar que la demanda es amplia, diversa y se ve influenciada por el entorno sociodemográfico.

2.3. Métodos de estimación para demanda intermitente

2.3.1. Caracterización de la demanda

Para la caracterización de la demanda es necesario el uso de la estadística descriptiva, que es una rama de las matemáticas encargada de reunir, presentar y caracterizar un determinado conjunto de datos con la finalidad de determinar las características que poseen los elementos que conforman a ese conjunto de datos. Para llevar a cabo esto, se requiere cuantificar las medidas de dispersión varianza, desviación estándar y coeficiente de variación, definidas en la tabla 2.1, siendo estos parámetros los que permiten determinar la variabilidad de un conjunto de datos respecto a las medidas de centralización: media, mediana y moda.

Tabla 2.1. Medidas de dispersión de datos agrupados
Fuente: Walpole, 2012

Medida de dispersión	Símbolo	Descripción	Función
Varianza	S^2	Medida de dispersión de los datos de una muestra respecto a la media, a través de la media de los cuadrados de las distancias de todos los datos	$S^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 n_i}{n - 1}$
Desviación estándar	S	Medida de dispersión asociada a la media, a través del promedio de desviaciones de los datos con respecto a la media en las mismas unidades de los datos	$S = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 n_i}{n - 1}}$
Coficiente de variación	CV	Medida de la variación de los datos con respecto a la media, no toma en cuenta las unidades en la que están	$CV = \frac{S}{ \bar{x} }$

Categorizar la demanda consiste en agrupar elementos cuyos patrones de demanda presenten características similares (Babiloni et al, 2010).

2.3.2. Demanda intermitente y el método Croston

Uno de los factores de mayor impacto a evaluar, de uno o más productos, es el comportamiento o la tendencia de la información histórica, debido a que algunos presentan un patrón de movimiento en el mercado en ciertas temporadas o a lo largo de un periodo de tiempo. Sin embargo, en algunos casos dicha demanda no tiene una clara tendencia lo que imposibilita emitir un pronóstico, sino preciso, al menos aproximado. Esta situación se intensifica substancialmente cuando la demanda de productos presenta un comportamiento intermitente en el tiempo. Estimar valores futuros de demanda de un producto que registra valores iguales a cero, o demanda nula durante algunos períodos, es una tarea muy compleja, al comportamiento de esta demanda se le conoce como demanda intermitente (Santa Cruz y Correa, 2017). En función de esa particularidad, durante las últimas décadas varios métodos y modelos fueron propuestos en la literatura para auxiliar la previsión de la demanda intermitente y anticiparse en las operaciones de una compañía.

La categorización más utilizada para la demanda intermitente es la creada por Syntetos y Boylan, basada en el método Croston, también abreviada SBC por las iniciales de sus apellidos, que calcula la variabilidad del tamaño de la demanda y el intervalo medio de demanda (Syntetos y Boylan, 2005). Syntetos y Boylan establecen las categorías en función de la precisión que alcanzan determinados métodos de previsión seleccionados ante distintos patrones de demanda. La comparación se lleva a través del error cuadrático medio (MSE).

Para esta categorización se establece un espacio de representación con base en dos indicadores: el **coeficiente de variación cuadrático (CV^2)** y el **intervalo medio entre demandas (ρ)**, a partir de ello se determina la demanda en cuatro tipologías como se muestra en la figura 2. 4.

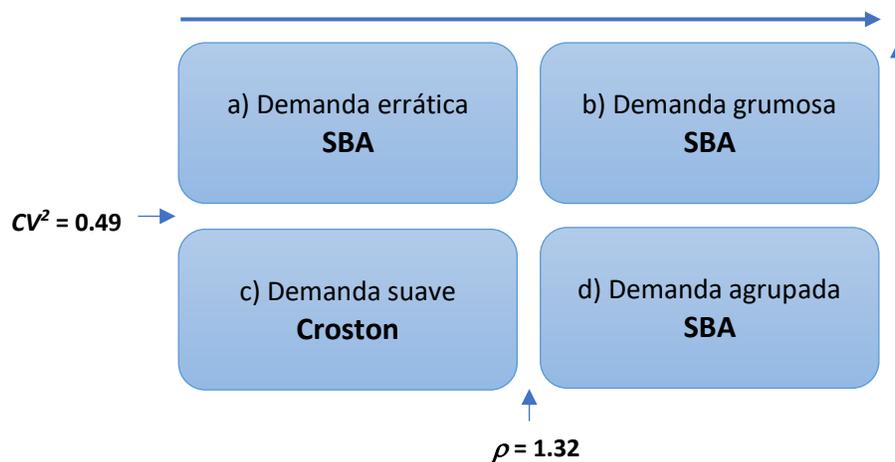


Figura 2.4. Clasificación de la demanda intermitente SBC
Fuente: Syntetos, 2005

La tipología consiste en:

- Demanda errática:** los productos tienen una gran variabilidad en los requerimientos en cuanto a la cantidad demandada. Esta demanda se presenta cuando el tamaño de la demanda presenta elevada variabilidad.
- Demanda grumosa, granulada o irregular:** es caracterizada por varios periodos en los que la demanda es cero y cuando la demanda ocurre, presenta gran variabilidad en la cantidad demandada.
- Demanda suave:** los productos tienen un comportamiento de demanda con patrones que son caracterizados por infrecuencia en sus transacciones y con tamaños de demanda siempre bajos, en los que la demanda media por periodo es pequeña. Los productos con demanda suave son de baja rotación.
- Demanda agrupada o intermitente:** es caracterizada por una demanda esporádica, es decir se observan varios periodos en los que la demanda es cero y no hay una marcada variabilidad en la cantidad demandada; es decir, cuando la demanda ocurre es constante o casi constante.

La clasificación SBC también sugiere métodos de pronóstico para cada tipo de demanda:

- Para el caso del método Croston se emplea para demandas suaves, basado en el intervalo promedio entre demandas.
- En el caso Syntetos & Boylan (SBA), que está basado en el método de Croston, se emplea para las demandas de tipo erráticas, grumosas y agrupadas debido a que considera un factor de corrección para adecuar el suavizamiento.

La categorización de patrones de demanda alternativos facilita la selección de un método de pronóstico y es un elemento esencial de muchos paquetes de software de control de inventario. La práctica común en la industria del software de control de inventario es categorizar arbitrariamente esos patrones de demanda y luego proceder a seleccionar un procedimiento de estimación y optimizar los parámetros de pronóstico. Alternativamente, los métodos de pronóstico se pueden comparar directamente, basados en alguna medida de error cuantificada teóricamente, con el propósito de establecer regiones de desempeño superior y luego definir los patrones de demanda basados en los resultados. Los resultados de la comparación se basan en un análisis teórico del error cuadrático medio debido a su naturaleza matemáticamente manejable (Syntetos et al, 2005).

Desafortunadamente, el método de Croston y SBA no reaccionan rápidamente a situaciones donde los productos presentan una obsolescencia repentina, lo que imposibilita emplearlo en artículos con demanda intermitente grumosa, tal es el caso de los productos de moda, que generalmente presentan obsolescencia y en muchos de ellos pueden presentar una variabilidad extrema.

2.3.3. Métodos de estimación de productos

Existe una herramienta muy útil en la estimación de la demanda de los productos, los pronósticos. Estos pueden reducir la probabilidad de grandes errores en la predicción de la demanda a partir de la manipulación de diferentes técnicas estadísticas, por experiencia y/o modelos matemáticos.

Los pronósticos, de acuerdo a la información que se posea y lo robusto que pueda llegar a ser el método, se pueden clasificar en enfoques de investigación de mercado, cualitativos y cuantitativos, como se puede observar en la figura 2.5.



Figura 2.5. Métodos de estimación
Fuente: Sipper, 1995

Enfoques de investigación de mercado: están basados en metodologías de consulta de forma directa con los clientes y el impacto que representan los productos antes de salir al mercado (León, 2020). Ejemplos de estos enfoques son,

- *Test de compra:* es una técnica de investigación de mercado que puede llevarse a cabo durante todo el ciclo de vida del producto, desde el momento previo a su lanzamiento hasta su presencia ya en el mercado con el objetivo de identificar oportunidades de mejora e incorporar la voz del consumidor en todas las fases del proceso.
- *Test de concepto y producto:* este análisis se lleva a cabo antes de cualquier desarrollo futuro con el objetivo de evaluar las posibilidades de éxito previamente a la propia inversión en su creación.
- *Test de mercado:* consiste en la elaboración de un cuestionario que contenga preguntas cuyas respuestas proporcionen suficiente información para generar un pronóstico, posteriormente se lleva a cabo dicha encuesta para finalmente tabular y analizar la información para obtener una opinión del público al cual estará dirigido.

Métodos cualitativos: Estos métodos están basados en juicios personales o intuición. Aun cuando parecieran que no son tan complejos dado que sólo se depende de la alta experiencia del planeador de la demanda, deben cumplir con la metodología que ellos implican, tales como la elaboración de las preguntas a fin de hallar la información concreta, precisa y eficiente.

- *Método Delphi:* consiste en una opinión más formal por parte de un comité de expertos y que se lleva a cabo mediante un facilitador, encargado de elaborar los cuestionarios, seleccionar los participantes y analizar los resultados. Se entregan los cuestionarios a los expertos quienes emiten un pronóstico, se resumen las respuestas y el comité se encarga de enviar las estadísticas resumidas.
- *Opinión de los expertos:* opinión que se basa en la experiencia y en el conocimiento de la situación personal. El personal de ventas y mercadotecnia son los principales ejemplos de “expertos”.
- *Analogía por ciclo de vida:* consiste en pronosticar la evolución en el tiempo que tendrá el ciclo de vida de un determinado producto. Este ciclo se puede dividir normalmente en cinco etapas: desarrollo, introducción, crecimiento, madurez y declinación (Geo tutoriales, 2015).
- *Valoración o juicio formado:* consulta hecha para un determinado pronóstico con apoyo de un grupo de expertos en forma individual o colectiva. A diferencia del método Delphi y la opinión de los expertos, se lleva a cabo a través de una consulta escalonada y secuencial.

Métodos cuantitativos: Estos métodos analizan exclusivamente datos históricos para encontrar patrones predecibles y repetibles en los datos pasados. Al identificar el patrón se podrá determinar el tipo de método a utilizar y finalmente se podrá predecir la demanda futura.

- *Modelos causales o asociativos:* el valor de cierta variable es función de una o más variables. El más común es el de regresión lineal.

- *Series de tiempo*: predicen bajo la premisa de que el futuro es una función del pasado. Algunos ejemplos son último dato, promedio simple, promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavizado exponencial simple, suavizado exponencial doble, método de Holt Winters, errores en los pronósticos, redes neuronales artificiales y aprendizaje automático.

Se puede observar que en ninguno de los métodos antes descritos haya alguno que se especialice única y exclusivamente en el pronóstico de productos nuevos. A causa de este desconocimiento de información muchos de los administradores o planeadores han tenido que buscar alternativas que les facilite emitir un juicio que abarque la previsión de la demanda en artículos nuevos, gran parte de la literatura recomienda el criterio por experiencia. Sin embargo, si se recurre a una analogía sería lo mismo que aventar una moneda al aire esperando a que caiga un sol o un águila, debido a que en los tiempos actuales cualquier factor social, comercial o de salud altera abruptamente la forma en cómo se comporta la demanda.

Una solución a estos casos es considerar la información de uno o más productos que posean tantas características similares como sean posibles. En la figura 2.6 se observa parte de las estrategias que se emplean en el área de la mercadotecnia para llevar a cabo la predicción de nuevos productos.

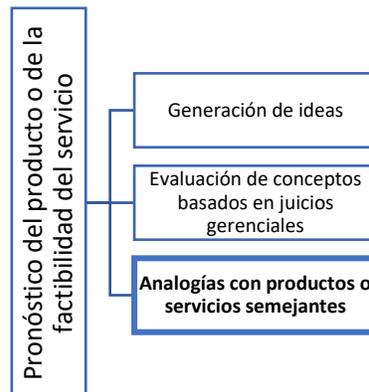


Figura 2.6. Técnicas de predicción de productos nuevos
Fuente: Makridakis, 1997

La figura 2.6 permite apreciar tres técnicas que siguen siendo métodos cualitativos, pero que muchas industrias mantienen vigente el uso de ellas, especialmente la analogía de productos similares.

Chase (2013) menciona que un pronóstico que parta de información de un producto en circulación con características similares sustentado con un buen juicio por el dominio del conocimiento obtendrá como resultado sino un pronóstico exacto, al menos uno con una incertidumbre razonable. La información que se necesita del producto en circulación puede ser el conjunto de datos de demanda total, series de ciclos, conjunto de características, series o porcentajes acumulativos de uno o más productos. Chase sugiere cuatro pasos clave para obtener un pronóstico de productos nuevos, sintetizados en la figura 2.7.

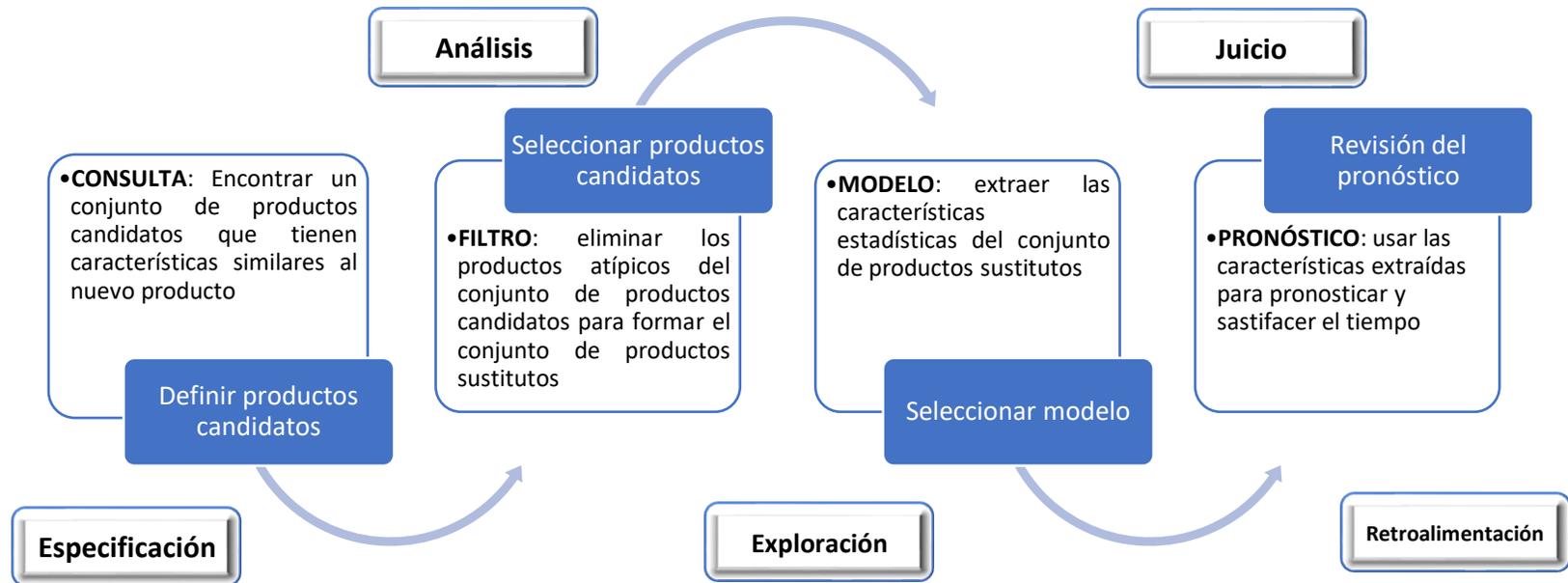


Figura 2.7. Juicio estructurado proceso de pronóstico de nuevos productos
Fuente: Chase, 2013

El juicio estructurado consiste en 4 etapas, las cuales se mencionan a continuación:

1. **Consulta:** se busca un conjunto de productos candidatos que tienen atributos similares al nuevo producto, según los atributos del nuevo producto. Este paso devuelve un conjunto de series candidatas que son similares a las nuevas series de productos desconocidos.
2. **Filtro:** elimina los productos atípicos del conjunto de productos candidatos, para formar un conjunto de productos sustitutos, tomando como base las propiedades estadísticas de la serie candidata. Este paso devuelve un conjunto de propiedades estadísticas de la serie sustituta a la nueva serie de productos desconocidos.
3. **Modelo:** extrae características del modelo estadístico del conjunto de productos sustitutos y posiblemente encuentra valores atípicos basados en las características estadísticas de la serie sustituta. Este paso devuelve las características estadísticas asociadas con la nueva serie de productos desconocidos.
4. **Pronóstico:** utiliza las características del modelo estadístico extraído para pronosticar el nuevo producto y compensar los problemas de tiempo, se toma como base las características estadísticas de la nueva serie de productos. Este paso devuelve los pronósticos para las nuevas series de productos desconocidos y compensa los problemas de tiempo, el tiempo incluye el período inicial o la temporada de introducción al mercado.

2.3.4. Factor de similitud

Si bien, la información mostrada en la sección anterior es de gran ayuda porque se propone cómo obtener un pronóstico de un futuro incierto, y que se complica aún más cuando se trata de un artículo nuevo del cual es nula la información, aún sigue presentando una desventaja y es que hasta cierto punto la información sigue siendo subjetiva y un tanto cualitativa.

Para brindar una solución menos subjetiva, o más cuantitativa, Sarmiento (2014) propuso una metodología que parte de la analogía de productos similares, para ello menciona lo siguiente, *“para el caso de productos nuevos para una compañía se sugiere escoger un producto similar de la competencia, si se dispone de información de éste, en caso contrario se deberá buscar dentro del portafolio de la compañía el producto que más se aproxime al nuevo lanzamiento en cuanto a características como precio, mercado, objetivo, etc.”*.

La metodología de productos similares consiste en tomar en cuenta un factor cuantitativo, llamado **factor de similitud** (FS); el cual se emplea para ajustar el pronóstico obtenido por algunas de las técnicas ya mencionadas en el punto 2.3.3. El pronóstico de cada producto análogo o similar puede ser ajustado hacia arriba (incrementando) o hacia abajo (reducido) mediante la multiplicación de su valor por el FS, dependiendo de si se considera que las cifras de demanda del producto nuevo serán mayores o menores que las calculadas para el producto similar.

Las características típicas en el uso de este cálculo son: embalaje (tipo de empaque), capacidad (tamaño), color, olor, sabor, diseño, mercado objetivo, por mencionar algunos, mientras más sean las características a considerar mayor será la precisión del FS. La evaluación de estas características se realiza entre el producto nuevo (tinta nueva) y el producto similar (tinta de producto en circulación) de forma independiente. A cada característica se le da un valor entre 1 y 10; el valor de 10 indica que ambos productos son 100% similares en esa característica, mientras que el valor de 1 indica que sólo el 10% comparten en común, es decir muy poco similares.

La forma de combinar todos estos porcentajes en el número resultante del FS puede hacerse de dos formas: a) aditiva, mediante un promedio simple de los porcentajes y b) multiplicativa, por la multiplicación de los porcentajes. El criterio multiplicativo es más estricto que el aditivo, en cuanto requiere que exista un mayor grado de similitud en cada una de las características para que se consideren ambos productos altamente similares. La decisión para elegir una forma o la otra dependerá del impacto que el pronóstico del producto similar tendrá en el pronóstico del producto nuevo.

2.3.5. Redes neuronales y árboles de regresión

En los últimos años el avance revolucionario en el área de sistemas ha permitido disminuir los tiempos invertidos en cualquier área, el hecho de llegar a una tienda departamental y pagar con una tarjeta virtual o el pasar por un estacionamiento automatizado el cual imprime un ticket que incluye la información del vehículo o el ya no tener que esperar tanto en las filas de los bancos debido a que sus plataformas virtuales permiten realizar tantas operaciones bancarias que años atrás requerían una espera larga de tiempo en llevarlas a cabo, son algunos de los ejemplos más destacados sobre el avance en las actividades cotidianas. Vehículos autónomos, robots, reconocimiento de imágenes, reconocimiento de voz, diagnóstico médico y arbitraje estadístico, representan algunas aplicaciones que se han realizado con éxito al implementar algoritmos de aprendizaje automático (Kulkarni y Harman, 2011).

Gran parte de las actividades mencionadas se deben a la generación de algoritmos de inteligencia artificial que permiten la programación de instrucciones específicas a partir de una o más condiciones. En la vida cotidiana, los algoritmos de aprendizaje automático se utilizan mucho en los programas de auto personalización. Cada vez que los usuarios utilizan plataformas como Amazon, Netflix, iTunes Genius, Spotify, etc., y estas recomiendan películas, productos, lugares y música, etc. Se ejecuta un algoritmo de aprendizaje que aprende las preferencias de cada usuario (Peña, 2018). Organizaciones como Google, Tesla, Apple, Facebook, IBM, Microsoft, están invirtiendo millones de dólares en desarrollar, potenciar e implementar los algoritmos de aprendizaje automático en sus productos y servicios. Y, por otra parte, les interesa pronosticar y estimar el mercado y sus proyecciones (Columbus, 2020).

En pronósticos se han utilizado los algoritmos de aprendizaje automático obteniendo buenos resultados. Una de las ramas más destacadas del campo científico de la inteligencia artificial es la que corresponde a las Redes Neuronales Artificiales (RNA's) entendiendo como tales aquellas redes en las que existen elementos procesadores de información de cuyas interacciones locales depende el comportamiento del conjunto del sistema (Hilera, 1995). Las RNA's tratan de emular el comportamiento del cerebro humano, caracterizado por el aprendizaje a través de la experiencia y la extracción de conocimiento genérico a partir de un conjunto de datos. Estos sistemas imitan esquemáticamente la estructura neuronal del cerebro, bien mediante un programa de ordenador (simulación), bien mediante su modelado a través de estructuras de procesamiento con cierta capacidad de cálculo paralelo (emulación), o bien mediante la construcción física de sistemas cuya arquitectura se aproxima a la estructura de la red neuronal biológica (implementación hardware de RNA's) (Flores, 2008).

En general, el funcionamiento de una RNA es el siguiente: la información que va a ser analizada es alimentada a las neuronas de la capa de entrada, es procesada y luego propagada a las neuronas de la siguiente capa para un procesamiento adicional. El resultado de ese proceso es transmitido hacia la siguiente capa y así sucesivamente hasta la capa de salida. Cada unidad (neurona) de la red recibe información proveniente de otras neuronas o del mundo externo y procesa dichos datos, generando un valor de respuesta (Abdi et al, 1999).

En la figura 2.8 se muestra la estructura de una red neuronal artificial (RNA) haciendo una analogía con una neurona biológica.

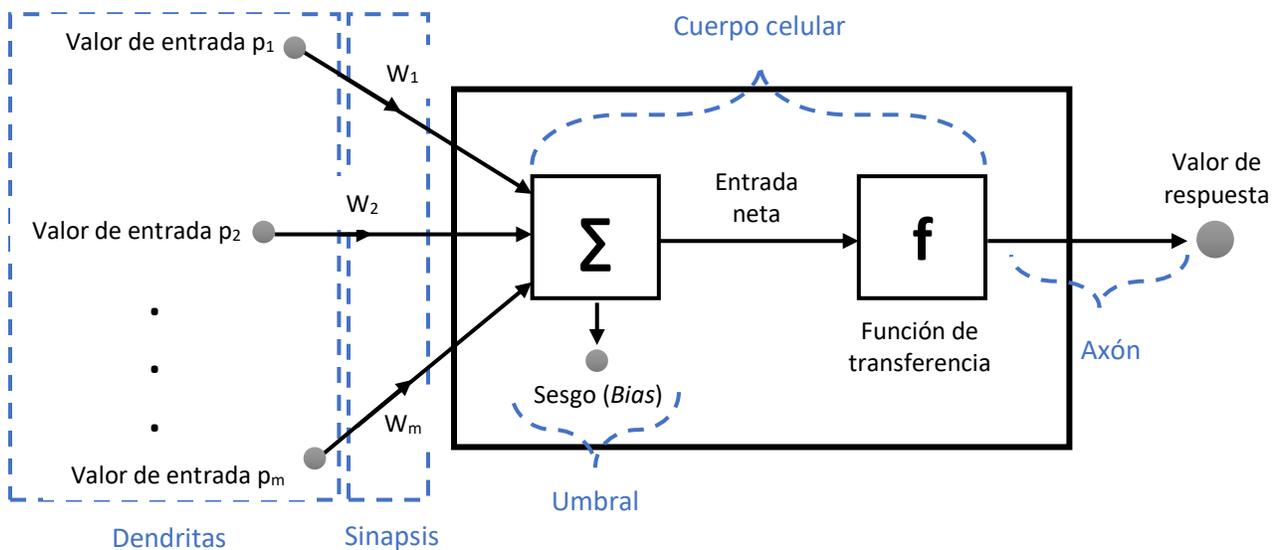


Figura 2.8. Estructura de una neurona de una RNA
Fuente: Sarmiento, 2014

Como se puede apreciar en la figura 2.8, el funcionamiento de una red neuronal consiste en un conjunto de varias entradas de información o neuronas artificiales hacia las entradas (p_i) que pueden provenir del entorno externo o de las salidas de otras neuronas con las cuales se interconectan. Al mismo tiempo, cada una de las entradas de las neuronas conlleva un peso asociado (W_i), conocido como peso sináptico, los cuales brindan mayor o menor importancia a cada entrada emulando el comportamiento existente entre las neuronas biológicas. Una de las salidas es el sesgo, también llamado *bias* (B), la cual hace referencia a cuánto se alejan en promedio las predicciones de un modelo respecto a los valores reales.

La entrada neta de una neurona consiste en la suma de los “m” valores de entrada que recibe, modificados por el peso sináptico respectivo más el *bias* de la neurona. La función matemática que lo describe es:

$$\text{Entrada neta} = \sum_{i=1}^m p_i W_i + B \quad (1)$$

En donde,

p_i = valor de entrada

W_i = peso sináptico

B = sesgo o bias

La entrada neta es transformada por la función de transferencia (también conocida como función de activación), el objetivo es limitar la amplitud de los valores de respuesta. Existen funciones de transferencia lineales y no lineales: la función paso o escalafón, la función lineal o identidad, la función rampa o por tramos, la función sigmoideal o logística y la función tangente hiperbólica. La función sigmoideal es la función de activación más utilizada en redes neuronales y se recomienda para problemas de predicción.

La cantidad importante de redes neuronales han permitido que con el tiempo muchas actividades se lleven a cabo mediante aprendizaje automático, derivado de estas técnicas se han ido creado o perfeccionando diferentes algoritmos no paramétricos, tal es el caso de los de segmentación binaria como los árboles de decisión. Los algoritmos clásicos del árbol de decisión han existido durante décadas y las variaciones modernas como el bosque aleatorio se encuentran entre las técnicas más poderosas disponibles (Brownlee, 2020).

Breiman (1984) desarrolló el algoritmo *Classification & Regression Trees* (CART, por sus siglas en inglés), que es un método no paramétrico de segmentación binaria donde el árbol es construido dividiendo repetidamente los datos. El principio de un árbol de decisión es partir de un conjunto de varios nodos hasta lograr concertar una decisión. En la figura 2.9 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo CART.

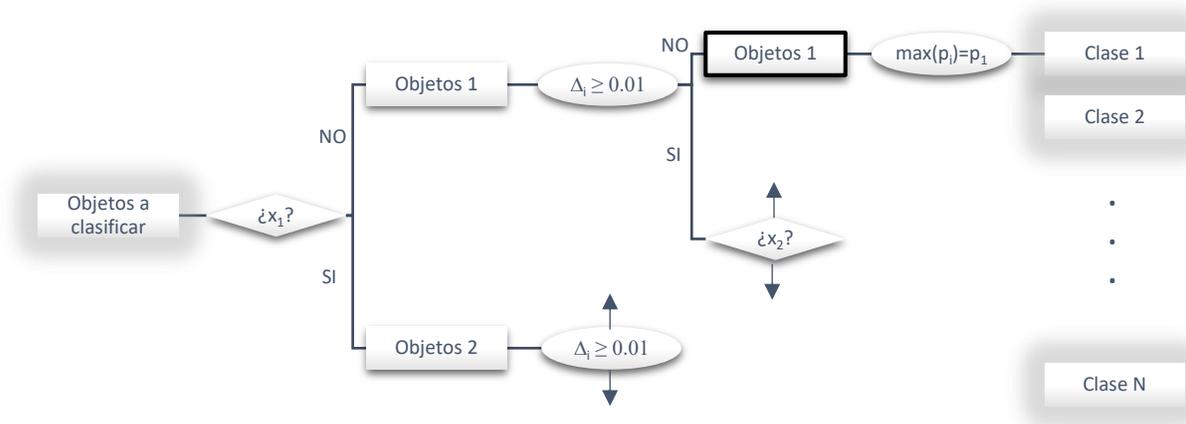


Figura 2.9. Diagrama de flujo de CART
Fuente: Serna, 2009

El algoritmo se explica de la siguiente forma: en cada división los datos son partidos en dos grupos mutuamente excluyentes. El nodo inicial es llamado nodo raíz o grupo madre y se divide en dos grupos hijos o nodos, luego el procedimiento de partición es aplicado a cada grupo hijo por separado. Las divisiones se seleccionan de modo que “la impureza” de los hijos sea menor que la del grupo madre y éstas están definidas por un valor de una variable explicativa (Deconinck, 2006). El objetivo es particionar la respuesta en grupos homogéneos y a la vez mantener el árbol razonablemente pequeño. Para dividir los datos se requiere un criterio de particionamiento el cual determinará la medida de impureza, esta última establecerá el grado de homogeneidad entre los grupos.

El análisis CART generalmente consiste en tres pasos (Timofeev, 2004):

1. Construcción del árbol máximo
2. Poda del árbol
3. Selección del árbol óptimo mediante un procedimiento de validación cruzada (“*cross validation*”)

El valor de cada hoja corresponde al promedio de los valores objetivos del conjunto de datos de entrenamiento para cada partición o región R_j , es decir, un valor constante por hoja c_j ,

$$x \in R_j \Rightarrow f_d(x) = c_j \quad (2)$$

La estructura de las estimaciones de superficie de regresión es de la forma,

$$f_d(x) = T(x, \Theta) = \sum_{j=1}^J c_j I(x \in R_j), T \in \mathcal{F} \quad (3)$$

Donde \mathcal{F} es el espacio de árboles de regresión o espacio CART. Los hiperparámetros $\Theta = \{R_j, c_j\}_1^J$, se encuentran minimizando el riesgo empírico L en la etapa de capacitación,

$$\hat{\Theta} = \underset{\Theta}{\operatorname{argmin}} \sum_{j=1}^J \sum_{x_i \in R_j} L(y_i, c_j) \quad (4)$$

El tamaño de árbol apropiado (número de divisiones en el árbol) evita el sobreajuste y determina la complejidad del modelo. Una práctica típica, una vez diseñado y alcanzado un tamaño de nodo inicial, es realizar una poda del árbol, es decir, eliminar nodos ineficaces y mantener la complejidad del modelo. Destacan por ser fáciles de entender e interpretar y pueden manejar problemas de salida múltiple. Por otro lado, no son robustos, ya que pueden generar diferentes modelos para pequeñas variaciones en los datos.

2.3.6. Métodos de ensamble

El algoritmo *CART* visto en la sección anterior proporciona la base para los algoritmos esenciales en los métodos de ensamble. Un problema importante con *CART* o los árboles de decisión es su alta varianza debido a la naturaleza jerárquica del proceso donde el error en una región R_j se propaga a todas las regiones posteriores (Hastie, 2009). El término *bias* hace referencia a cuánto se alejan en promedio las predicciones de un modelo respecto a los valores reales, es decir, que tan bien se aproxima el modelo a la relación real entre las variables. La varianza hace referencia a cuánto varía el modelo dependiendo de la muestra empleada en el entrenamiento (Amat, 2020).

Una forma de reducir la varianza es combinar modelos básicos simples o aprendices débiles para obtener un modelo más preciso (aprendices fuertes). Un aprendiz débil, una hipótesis débil o una función débil se define como aquella cuyo desempeño es ligeramente mejor que el azar, tiene un alto sesgo y una baja varianza (Shapire, 1990). Los métodos de ensamble abarcan un conjunto de técnicas que combinan múltiples modelos predictivos para lograr un equilibrio entre el *bias* y la varianza.

Bagging, *Boosting* y *Stacking* son métodos conjuntos que se han propuesto para mejorar una función de predicción estimada. A continuación, se mencionan dos de los métodos más conocidos de los métodos de ensamble:

Bagging: el término *bagging*, diminutivo de *bootstrap aggregation*, hace referencia al empleo del muestreo repetido (*bootstrapping*) con el fin de reducir la varianza de algunos métodos de aprendizaje estadístico, entre ellos los árboles de predicción. Construye múltiples modelos a partir de diferentes submuestras del conjunto de datos de entrenamiento (cada árbol no debe estar demasiado correlacionado). La predicción final se promedia a través de las predicciones de todos los submodelos (Breiman, 1996).

Dado n muestras de observaciones independientes Z_1, \dots, Z_n , cada una con varianza σ^2 , la varianza de la media de las observaciones \bar{Z} es σ^2/n (Walpole, 2012). En otras palabras, promediando un conjunto de observaciones se reduce la varianza. Basándose en esta idea,

una forma de reducir la varianza y aumentar la precisión de un método predictivo es obtener múltiples muestras de la población, ajustar un modelo distinto con cada una de ellas, y hacer la media (la moda en el caso de variables cualitativas) de las predicciones resultantes (Amat, 2020). En la figura 2.10 se muestra una estructura del método *bagging*.

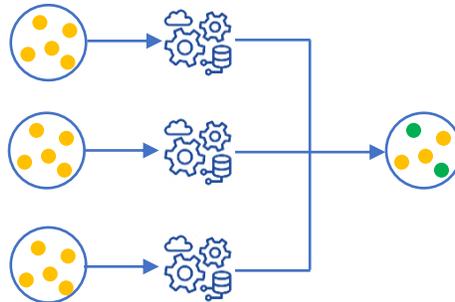


Figura 2.10. Métodos paralelos de *bagging*
Fuente: Breiman, 1996

Como se puede observar en la figura 2.10, los métodos de *bagging* son métodos donde los algoritmos simples son usados en paralelo. Los métodos *bagging* tienen por objetivo aprovechar la independencia que hay entre los algoritmos simples, ya que el error se puede reducir bastante al promediar las salidas de los modelos simples (Álvaro, 2020). De este método se derivan los algoritmos de bosque aleatorio y árboles extremadamente aleatorios.

- a) **Bosque aleatorio (Random Forest).** El método de bosque aleatorio es una modificación del proceso de *bagging* que consigue mejores resultados gracias a que reduce el grado de autocorrelación de los árboles generados en el proceso. Recordando el apartado anterior, el proceso de *bagging* se basa en el hecho de que, promediando un conjunto de modelos, se consigue reducir la varianza. Esto es cierto siempre y cuando los modelos agregados no estén correlacionados. Si la correlación es alta, la reducción de varianza que se puede lograr es pequeña.

Supóngase un set de datos en el que hay un predictor muy influyente junto con otros moderadamente influyentes. En este escenario, todos o casi todos los árboles creados en el proceso de *bagging* estarán dominados por el mismo predictor y serán muy parecidos entre ellos. Como consecuencia de la alta correlación entre los árboles, el proceso de *bagging* apenas conseguirá disminuir la varianza y, por lo tanto, tampoco mejorar el modelo. *Random forest* evita este problema haciendo una selección aleatoria de m predictores antes de evaluar cada división. De esta forma, un promedio de $(p - m)/p$ divisiones no contemplarán el predictor influyente, permitiendo que otros predictores puedan ser seleccionados (Amat, 2020). La predicción final está definida por,

$$f_d(x) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M T(x, \Theta_m) \quad (5)$$

Donde,

M = número de árboles

Θ_m = hiperparámetros que caracterizan el número y los valores de los nodos terminales de cada árbol m .

- b) **Árboles extremadamente aleatorios (*extremely randomized trees*)**. Los métodos de árboles extremadamente aleatorios llevan la disminución de la autocorrelación de los árboles un paso más allá que *random forest*. En cada división de los nodos, solo evalúa un subconjunto aleatorio de los predictores disponibles y, además, dentro de cada predictor seleccionado solo se evalúa un subconjunto aleatorio de los posibles puntos de corte. En determinados escenarios, este método consigue reducir un poco más la varianza (Geurts et al, 2006).

Boosting: agrega y entrena secuencialmente un modelo o aprendiz débil para corregir los errores de predicción del modelo anterior. Se combinan para producir una regla de predicción más precisa con el principal objetivo de reducir el sesgo (Bühlmann y Hothorn, 2007, Schapire y Freund, 2012). En la figura 2.11 se muestra la estructura del método *boosting*.

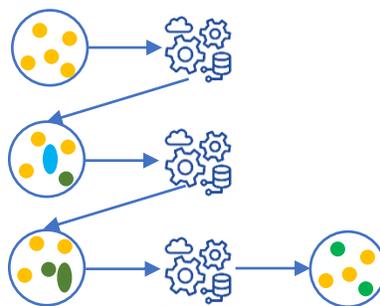


Figura 2.11. Métodos secuenciales de *boosting*
Fuente: Breiman, 1996

La figura 2.11 muestra la forma secuencial en cómo se va desarrollando el método *boosting*. El método tiene por objetivo aprovechar la dependencia entre los modelos simples. El rendimiento general puede ser mejorado haciendo que un modelo simple posterior le dé más importancia a los errores cometidos por un modelo simple previo (Álvaro, 2020). De este método se derivan los algoritmos de máquina de aumento de gradiente y el de aumento de gradiente extremo.

- a) **Máquina de aumento de gradiente (*gradient boosting machine, GBM*)**. Tomando un marco estadístico para el método de conjunto *boosting*, se desarrolló el *gradient boosting machine (GBM)* como un problema de optimización en el que el objetivo

es minimizar el error de un modelo de árbol mediante un procedimiento de gradiente descendiente (Friedman y Hastie, 2000).

Dada una función de costo (por ejemplo, residuos cuadrados para regresión) y un aprendiz débil (por ejemplo, un árbol de decisión), el algoritmo trata de encontrar el modelo que minimice la función de costo. Suele iniciarse con la mejor aproximación de la variable respuesta (la media en el caso de regresión), se calculan los residuos y con ellos se ajusta un nuevo aprendiz débil que intente minimizar la función de costo. Este proceso se repite M veces, de forma que cada nuevo modelo minimiza los residuos (errores) del anterior.

- b) **Aumento de gradiente extremo (extreme gradient boosting, XGB)**. Chen y Guestrin (2016) desarrollaron el algoritmo *XGBoost* basado en el modelo de máquina de aumento de gradiente, que se ha convertido en la opción preferida para estimar funciones y que recientemente ha dominado el aprendizaje automático aplicado. XGB es rápido, eficiente en memoria y de alta precisión, ya que combina un algoritmo para el aprendizaje de árboles paralelos, una estructura para el aprendizaje de árboles fuera del núcleo y un objetivo regularizado. La idea principal del modelo XGB es mejorar el desempeño de un aprendiz débil (árbol de decisión) adicionando árboles secuencialmente en una estrategia codiciosa para que al combinarse se logre un modelo más preciso (Friedman, 2001).

$$f_d(x) = \sum_t f_t(x_i) \quad (6)$$

Donde f_t corresponde a un árbol independiente $T(x, \Theta_t)$, $T \in \mathcal{F}$ en el tiempo t ,

$$f_t(x) = f_{t-1}(x_i) + T(x_i, \Theta_t) \quad (7)$$

Al igual que los demás algoritmos basados en árboles, Θ_t corresponde a los hiperparámetros que caracterizan el número y los valores de los nodos terminales de cada árbol, que se obtienen minimizando la función de pérdida,

$$L_{(t)} = \sum_{i=1}^N l(y_i, f_{t-1}(x_i) + T(x_i, \Theta_t)) + \Omega(f_t) \quad (8)$$

$\Omega(f_t)$ es el término de regularización. El algoritmo XGBoost implementa una aproximación de segundo grado para optimizar esta última ecuación, obteniendo:

$$L_{(t)} = \sum_{i=1}^N [g_i T(x_i, \Theta_t) + \frac{1}{2} h_i T(x_i, \Theta_t)^2] + \Omega(f_t) \quad (9)$$

Donde g_i y h_i son los gradientes de primer orden y segundo orden de la función de pérdida, respectivamente. El procedimiento continúa hasta obtener el predictor final f_d .

En resumen, de manera sencilla puede decirse que los métodos de ensamble son algoritmos formados por algoritmos más simples. Estos algoritmos se unen para formar un algoritmo más potente. La diferencia radica en que los métodos de *bagging* se entrenan de manera independiente con el objetivo de reducir la varianza, en cambio, los métodos de *boosting* se ponderan según los errores de los anteriores a fin de lograr la reducción del sesgo.

Debido a que estos algoritmos derivan de métodos con estructuras arbóreas se requiere controlar el tamaño que adquiere cada árbol para cada método de ensamble. Esto se puede indicar mediante reglas de parada que detengan la división de los nodos dependiendo de si cumplen o no determinadas condiciones. El nombre de estas condiciones puede variar dependiendo del software o librería que se emplee, pero suelen estar presentes en todos ellos (Amat, 2017). A continuación, se enuncian las condiciones de cálculo más importantes:

- Profundidad máxima del árbol: define la profundidad máxima del árbol, entendiendo por profundidad máxima el número de divisiones de la rama más larga (en sentido descendente) del árbol.
- Número máximo de nodos terminales (cantidad de árboles): define el número máximo de nodos terminales que puede tener el árbol. Una vez alcanzado el límite, se detienen las divisiones.
- Reducción mínima de error (proceso de validación cruzada): define la reducción mínima del error que tiene que conseguir una división para que se lleve a cabo.
- Observaciones mínimas para división (tasa de aprendizaje): define el número mínimo de observaciones que debe tener un nodo para poder ser dividido. Cuanto mayor sea el valor, menos flexible es el modelo.

A estas condiciones se les conocen como hiperparámetros porque no se aprenden durante el entrenamiento del modelo. El valor tiene que ser especificado por el usuario con base en el conocimiento del problema y mediante el uso de validación cruzada.

Capítulo 3. Metodología

El proyecto presentado busca la determinación de la cantidad de una de las tintas serigráficas, de nueva introducción, requerida para la impresión de un tiraje de estampillas postales de temporada.

Dentro de esta industria existen diferentes insumos para la impresión offset, tales como, las tintas, el papel impresión, soluciones químicas para la limpieza de los rodillos y planchas, algunos aditivos que permiten ajustar las tintas cuando tienen problemas de viscosidad o de color, por mencionar los más importantes. Los insumos de mayor volumen son el papel y las tintas, este último, por cuestiones de costos, es el de prioridad, además que por la caducidad que llegan a presentar es necesario procurar consumir todo el inventario posible de dicho insumo. Por otra parte, para elaborar las requisiciones de tinta se deben de realizar con anticipación de al menos 4 semanas previas, dificultando la disposición del insumo de un momento a otro.

La propuesta para dar solución a esta problemática se seccionó en diferentes pasos, como se puede apreciar en la figura 3.1.



Figura 3.1. Metodología
Fuente: Elaboración propia

En donde,

- **Recopilación de la información:** es la etapa que permite identificar el tipo de proceso que se lleva a cabo para obtener la impresión de una estampilla postal, rastrear el consumo de tinta que se tiene por cada etapa del proceso, obtener la información histórica de consumo y conocer que tipo de modelo de pronóstico se utiliza actualmente para estimar el consumo de tinta requerida.
- **Análisis de la información:** etapa en la que se selecciona un producto análogo o con mayor cantidad de características similares. Se caracteriza y categoriza la demanda del producto seleccionado y se plantean los modelos de pronósticos.
- **Determinación de tinta:** se determina el método de pronóstico que mejor estima la demanda de la tinta nueva con base en el menor porcentaje de error y se obtiene la cantidad de materia prima requerida para el tiraje de un lote de estampillas.

3.1. Recopilación de información

Para iniciar el análisis se tuvo que llevar a cabo un mapeo de procesos que permitiera identificar el proceso de producción de la imprenta. En la tabla 3.1 se muestran los elementos que conforman el proceso de imprenta de estampillas postales.

Tabla 3.1. Elementos en la impresión de estampillas postales

Elemento	Descripción
Giro de la empresa	Impresión de estampillas postales
Maquinaria empleada	Impresora offset
Número de operadores	15 personas
Insumos requeridos	Tintas, papel impresión y solventes

La tabla 3.1 permite visualizar que el proceso gira alrededor de una empresa de impresión de estampillas postales. El equipo utilizado es una máquina impresora offset. Los operadores que intervienen en el proceso suman un total de 15 personas, incluyendo los técnicos de máquina, operadores y encargados de limpieza. Los insumos requeridos son las tintas de impresión, papel impresión y solventes para limpieza.

Cada una de las etapas de impresión requiere emplear tinta por lo que mientras más identificado sea el gasto de tinta en cada etapa se tendrá una mayor precisión en la previsión de dicho insumo.

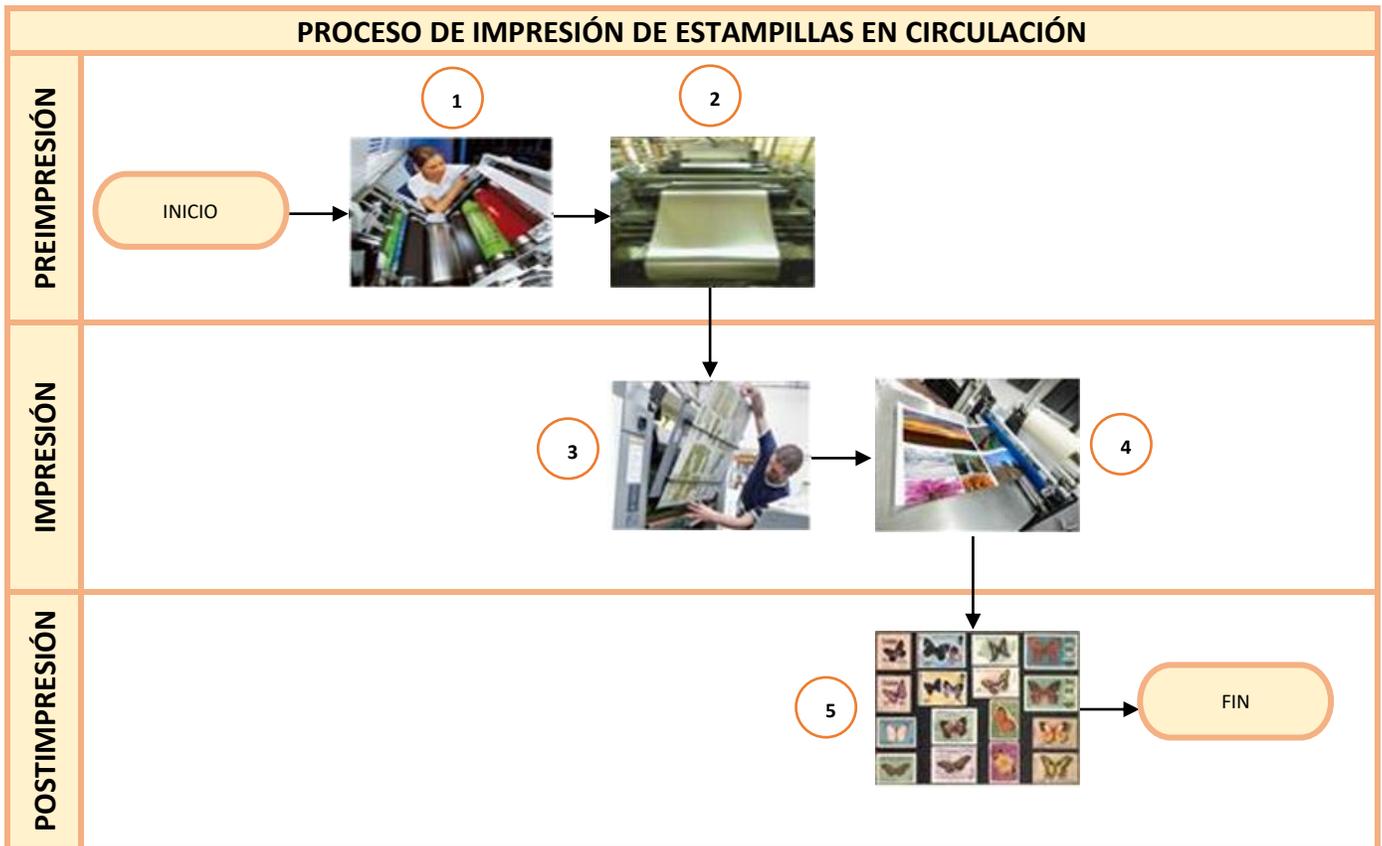


Figura 3.2. Flujo de proceso para la impresión de una estampilla
Fuente: Recolección de diversas fuentes digitales (Zumo, Sittic, AliExpress)

En la figura 3.2 se muestra el diagrama proceso en la impresión de estampillas postales. Por políticas de seguridad y privacidad de la empresa, no se pudo capturar las imágenes reales del proceso, por lo cual para conformar la figura 3.2 se tuvo que recolectar fotografías de diversas fuentes digitales.

El proceso se desglosa en diferentes pasos, los cuales se explican a continuación:

1. El proceso de impresión inicia con la colocación de las tintas en cada uno de los tinteros de acuerdo al color que le corresponde y la posición en la cual va a depositarse la tinta al realizar la impresión. De forma paralela, se reciben los requerimientos del papel (esto incluye las hojas para la prueba de impresión y el papel impresión).
2. Se colocan las láminas, las cuales son sometidos a tratamiento galvánico para retirar todas las partículas o deformidades que llegasen a presentar. Para el caso de las planchas, se preparan con los respectivos diseños de las estampillas postales a través de la formación de un negativo por medio de exposición a luz ultravioleta, con lo que quedan definidos los diseños, las dimensiones y las secciones en donde se depositarán las tintas.
3. Las planchas, ya preparadas, se posicionan de acuerdo a las necesidades de la máquina para comenzar el proceso de impresión.
4. Se inicia el proceso de impresión. El primer lote de hojas impresas se realiza con hojas de prueba, lo cual permite identificar si la impresión está siendo la esperada o, en su defecto, realizar los ajustes correspondientes. Una vez lograda la impresión correcta, se procede a colocar el papel impresión para comenzar con el tiraje de las estampillas postales.
5. Por último, las hojas se recortan para obtener las estampillas postales al tamaño requerido. Cuando se termina de imprimir el tiraje se procede a realizar la limpieza de la máquina y los complementos de la misma.

Una vez definido el proceso operacional, se procedió a rastrear los consumos de las tintas que se utilizan para la impresión de una estampilla postal en circulación. Con apoyo del administrador de producción, se recolectaron los consumos de 5 tintas, los cuales se muestran en la tabla 3.2.

Lamentablemente, en años anteriores no se tienen registros de los consumos de tintas debido a que no se llevaba a cabo un control de dicha información dado que el anterior planeador de producción basaba los pronósticos a su experiencia. A partir de esta administración fue como se empezaron a registrar los consumos de la tinta.

Tabla 3.2. Consumo de tinta (kilogramo empleado por cada lote impreso)

Año	Periodo	Consumo tinta 1 (kg/lote)	Consumo tinta 2 (kg/lote)	Consumo tinta 3 (kg/lote)	Consumo tinta 4 (kg/lote)	Consumo tinta 5 (kg/lote)
2014	1	0.450	0.160	0.075	0.086	0.503
	2	0.454	0.120	0.107	0.112	0.382
	3	0.455	0.122	0.065	0.065	0.372
	4	0.495	0.123	0.085	0.070	0.357
	5	0.445	0.100	0.086	0.055	0.349
	6	0.405	0.105	0.080	0.070	0.374
	7	0.400	0.150	0.100	0.075	0.413
	8	0.375	0.128	0.062	0.075	0.436
	9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2015	13	0.400	0.125	0.080	0.080	0.400
	14	0.575	0.161	0.087	0.089	0.450
	15	0.400	0.150	0.100	0.100	0.343
	16	0.475	0.150	0.087	0.050	0.423
	17	0.390	0.150	0.105	0.110	0.331
	18	0.425	0.150	0.075	0.075	0.449
	19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2016	25	0.305	0.142	0.100	0.095	0.497

Se puede apreciar en la tabla 3.2 que existen varios meses en los cuales no hubo movimiento de las tintas. Para el caso del año 2014, en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre no hubo movimiento de dichas tintas. Para el caso del año 2015, no se tienen movimientos durante la segunda mitad del año (desde julio hasta diciembre).

3.2. Análisis de la información

Se determinó dentro de que clasificación de producto nuevo pertenece la tinta nueva, de acuerdo al apartado 2.1.1. La tinta presenta nuevas características tales como, las holográficas, las cuales le proporcionan un efecto tridimensional, así también sus características fisicoquímicas, que contribuyen a la fluidez de la tinta depositada en los rodillos mejorando el proceso de impresión al disminuir la merma de tinta. Debido a estas características, la tinta nueva entraría en la clasificación de productos nuevos como mejoramiento del producto, es decir, un producto nuevo y mejorado.

Para analizar la información y determinar la cantidad de tinta requerida se contrastaron varios métodos de estimación, empezando con el propuesto por Sarmiento (2014).

Para el método de Sarmiento se tienen que seleccionar los artículos con mayores características similares al producto que se pretende pronosticar y se asigna un puntaje de similitud para correlacionar dichas características. En el caso de que las características sean cuantitativas será más fácil determinar el porcentaje de similitud de una característica con respecto a otra. Para el caso de cuando las características sean cualitativas será necesario recurrir al criterio de la persona con más experiencia que se tenga disponible.

A diferencia del método de Sarmiento, para este caso de estudio solo se tomó la información de una tinta (tinta 1) de la compañía, la de mayores características similares, debido a que las otras tintas disponibles poseen características muy contrastantes en comparación de la que se desea estimar.

Para comprender mejor este método se hace la siguiente analogía: para dos refrescos de diferente sabor (naranja y tamarindo), de una misma marca y del mismo contenido neto (2 litros), se utilizan los mismos envases, por lo que el puntaje de similitud correspondería a un valor de 10, es decir, son 100% similares, sucede el mismo caso del contenido neto y la marca, ambos tendrían un valor de 10 o 100% similares. En el caso contrario, como son de distinto sabor y no tiene nada que ver un sabor con respecto al otro, entonces, tendrían un valor de 0, es decir, son 0% similares.

A continuación, se muestra el ejemplo de un producto (artículo A) al que se le pretende estimar las ventas que tendrá al salir al mercado. En la tabla 3.3 se muestran sus respectivos puntajes y porcentajes de similitud que se le asignaron.

Tabla 3.3. Ejemplo de puntaje de similitud del artículo A

	Atributos			
	Empaque	Sabor	Color	Tamaño
Puntaje de similitud	5	8	9	9
Porcentaje de similitud	50%	80%	90%	90%

La tabla 3.3. incluye características tanto cuantitativas como cualitativas del artículo A. Las propiedades cualitativas son la forma del empaque en el que se presenta el artículo, el sabor y color que posee; en las 3 características se recurrió al juicio de una persona con experiencia para asignar dicha puntuación. El porcentaje de similitud de tamaño se obtuvo al comparar el volumen del artículo que se tomó como referencia, el cual poseía un volumen de 160 cm³ mientras que el artículo A, al salir a la venta, tendrá un volumen de 178 cm³.

Como se mencionó en el apartado 2.3.4, existen dos métodos para llevar a cabo la propuesta de Sarmiento: el método multiplicativo y el aditivo. Para ello se retoma la información de la tabla 3.3 y se obtuvieron los datos mostrados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Ejemplo de factores por el método multiplicativo y aditivo

Método	Factores		
	Factor por debajo	Factor por diferencia	Factor por arriba
<i>Multiplicativo</i>	0.324	0.676	1.676
<i>Aditivo</i>	0.775	0.225	1.225

En el método multiplicativo,

- El valor “factor por debajo” se obtiene como resultado de multiplicar los porcentajes de similitud. Es decir, factor por debajo = $0.5 \times 0.8 \times 0.9 \times 0.9 = 0.324$. El resultado indica que las ventas del producto nuevo serán sólo el 32% de la venta del artículo que se empleó como base.
- Para el valor “factor de diferencia” se determina como el complemento del factor por debajo, esto es, factor de diferencia = $(1 - \text{factor por debajo}) = 1 - 0.324 = 0.676$, este valor representa la no similitud entre los productos analizados.
- Por último, el valor “factor por arriba” representa el escenario en donde la venta del producto nuevo será 67% superior al del artículo que se tomó como base, es decir, se calcula como factor por arriba = $1 + \text{factor de diferencia} = 1 + 0.676 = 1.676$.

En el caso del método aditivo,

- El valor de la columna “factor por debajo” se calcula a partir de un promedio simple de los porcentajes de similitud, factor por debajo = $(0.5+0.8+0.9+0.9)/4 = 0.775$, es decir, la venta del producto nuevo será el 77% del producto que se tomó como base.
- Los factores de diferencia y por arriba se calculan exactamente igual que como en el método multiplicativo.

Durante este estudio, para obtener esta información se recurrió a la experiencia de uno de los ingenieros, encargado del área de producción, el cual tiene un poco más de los 12 años trabajando para la empresa, esto a consecuencia de que conoce la mayoría de las características de las tintas pues ha colaborado para varias de las áreas que conforman el proceso de impresión.

3.2.1. Pronóstico ajustado

Para elaborar un pronóstico del producto nuevo, se tiene que ajustar alguna de las técnicas mencionadas en el apartado 2.3. Para este caso de estudio, se seleccionó el método de Holt Winters debido a que pronostica la demanda a corto plazo, además de que presenta muchas ventajas con respecto a otras técnicas de estimación, esto es porque contempla 3 componentes importantes de cualquier serie de tiempo como lo son: la tendencia, la estacionalidad y el nivel (Sipper, 1998). El método emplea las siguientes funciones:

- El nivel es la componente constante que queda después de haber removido los efectos aleatorios y estacionales de la serie de tiempo.

$$\text{Nivel} = S_t = \alpha(d_t) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + B_{t-1}) \quad (10)$$

- La tendencia considera todo el comportamiento decreciente o creciente de la demanda desde el primer registro de tiempo hasta el último de ellos, la finalidad es que el periodo a pronosticar contemple cualquier fluctuación de la información histórica

$$\text{Tendencia} = B_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)B_{t-1} \quad (11)$$

- La estacionalidad determina el patrón de cambio que se repite a sí mismo en determinados periodos de tiempo.

$$\text{Estacionalidad} = C_t = \gamma\left(\frac{d_t}{S_t}\right) + (1 - \gamma)(C_{t-1}) \quad (12)$$

En donde,

d_t = Demanda real en el periodo t

S_t, S_{t-1} = Estimación de la constante en el periodo t y t-1

B_t, B_{t-1} = Estimación de la tendencia en el periodo t y t-1

C_t, C_{t-1} = Estimación de la estacionalidad en el periodo t y t-1

α = Ponderación en el proceso de nivel

β = Ponderación en el proceso de la tendencia

γ = Ponderación en el proceso de la estacionalidad

El método de Holt Winters presenta dos modelos dependiendo de la estacionalidad que presenten (Rosales, 2017):

- Modelo multiplicativo: el modelo presupone que a medida que se incrementan los datos, también se incrementa el patrón estacional. La mayoría de las gráficas de series de tiempo presentan este patrón. En este modelo, la tendencia y los componentes de estación se multiplican y luego se suman al componente de error.
- Modelo aditivo: un modelo de datos en el que los efectos de los factores individuales se diferencian y se agrupan para modelar los datos. Un modelo aditivo es opcional para los procedimientos de descomposición y para el método de Winters.

Para este caso se seleccionó el método de Holt Winters multiplicativo por la sensibilidad a cualquier fluctuación que presente la serie de tiempo. En contraste, al método aditivo le toma un periodo de tiempo más prologando para evaluar cualquier cambio en la demanda. A partir de este método se elaboró un modelo de pronóstico ajustado con el factor de similitud. La función propuesta se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} & \text{Pronóstico del insumo para productos nuevos en } t \\ & = (\text{Factor de similitud})(\text{Modelo Holt Winters}) \end{aligned} \quad (13)$$

Es decir, el pronóstico resultará de la multiplicación del valor obtenido por el método de Holt Winters y el factor de similitud.

3.2.2. Cálculo de los coeficientes CV^2 y ρ

Siguiendo con la premisa de la analogía de productos, se tomó la información histórica de la tinta 1 para evaluar el *coeficiente de variación cuadrático* (CV^2) y el *intervalo medio entre demandas* (ρ), los datos considerados se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Consumo de la tinta 1

Año	Periodo	Consumo (kg/lote)	Año	Periodo	Consumo (kg/lote)	Año	Periodo	Consumo (kg/lote)
2014	1	0.450	2015	13	0.400	2016	25	0.305
	2	0.454		14	0.575			
	3	0.455		15	0.400			
	4	0.495		16	0.475			
	5	0.445		17	0.390			
	6	0.405		18	0.425			
	7	0.400		19	0.000			
	8	0.375		20	0.000			
	9	0.000		21	0.000			
	10	0.000		22	0.000			
	11	0.000		23	0.000			
	12	0.000		24	0.000			

El intervalo medio entre demandas (*ADI*, por sus siglas en inglés) se obtiene mediante la siguiente función:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N}, \quad (14)$$

En donde,

N = número de periodos donde hubo demanda

Q_i = intervalo entre dos demandas consecutivas en el instante i

Esta función se calcula de la siguiente forma:

- a) Se lleva a cabo la diferencia de los periodos en los que hubo demanda, para el caso de la tabla 3.6, se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 8 - 1 = 7 \\ Q_2 &= 13 - 8 = 5 \\ Q_3 &= 18 - 13 = 5 \\ Q_4 &= 25 - 18 = 7 \end{aligned} \quad (15)$$

- b) Los valores de los intervalos se suman

$$\sum_{i=1}^N Q_i = 7 + 5 + 5 + 7 = 24 \quad (16)$$

- c) Se cuentan el número de periodos donde la demanda es diferente de cero.

$$N = 15 \quad (17)$$

- d) Se determina el valor del intervalo medio entre demandas.

$$\rho = ADI = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N} = \frac{24}{15} = 1.6 \quad (18)$$

Por último, se calculó el coeficiente de variación cuadrático obteniendo un valor de 0.73, dicho valor muestra que es alta la dispersión de los datos existentes con respecto a la media, este efecto se incrementará conforme haya más periodos con demanda nula.

Con ambos coeficientes cuantificados se puede caracterizar la demanda de la tinta 1 con base en la figura 2.4.

$$\rho = 1.6 \quad (19)$$

$$CV^2 = 0.73 \quad (20)$$

De acuerdo a estos valores, se concluyó que la información histórica presenta una demanda de tipo grumosa, es decir, presenta varios periodos en los que la demanda es cero y cuando ocurre un periodo de demanda, presenta gran variabilidad en la cantidad demandada. Una de las razones por las cuales se presenta este comportamiento es porque en esos periodos de tiempo no hubo necesidad de imprimir la estampilla en circulación porque el nivel de inventario satisfacía correctamente la demanda o en su defecto no hubo demanda; otra razón es porque en ciertos periodos de tiempo en las máquinas de impresión hay programas de mantenimiento preventivo, por lo cual la máquina de impresión no se encuentra en uso.

3.2.3. Funciones y paqueterías de los métodos de ensamble

En los últimos años, la demanda intermitente ha sido un motivo importante de estudio entre las empresas pues muchas de ellas se ven afectadas en los niveles de inventario al tener productos con demanda en periodos de tiempo discontinuos y esporádicos lo que genera el rezago de dichos productos. El método más común para tratar a la demanda intermitente ha sido el método de Croston. Desafortunadamente, el método de Croston presenta una deficiencia: no reacciona rápidamente a los casos en los cuales exista una demanda intermitente grumosa, es decir, no pronostica correctamente aquellos productos con obsolescencia repentina.

A causa de esta deficiencia, se optó por recurrir a los métodos de ensamble en busca de obtener un mejor pronóstico considerando la información disponible de la tinta con mayores características similares, es decir, la tinta 1.

Con el gran auge en el área de sistemas digitales, hoy en día se pueden encontrar diferentes tipos de software para evaluar algoritmos matemáticos robustos en el área de pronósticos, para el tratamiento de la información histórica de la tinta 1 se empleó el software *Python* 3.6.5 (Chen y Guestrin, 2016, Hofner et al, 2014). Los algoritmos y consideraciones para llevar a cabo los cálculos en este software se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.6. Funciones y paqueterías de los métodos de ensamble

Algoritmo	Función	Paquetería
Bagging	<i>BaggingRegressor ()</i>	Scikit-learn (Pedregosa et al, 2011)
Bosque aleatorio	<i>RandomForestRegressor ()</i>	Scikit-learn (Pedregosa et al, 2011)
Árboles extremadamente aleatorios	<i>ExtraTreesRegressor ()</i>	Scikit-learn (Pedregosa et al, 2011)
Máquina de aumento de gradiente	<i>GradientBoostingRegressor ()</i>	Scikit-learn (Pedregosa et al, 2011)
Aumento de gradiente extremo	<i>XGBRegressor ()</i>	XGBoost (Pedregosa et al, 2011)

Se puede apreciar a través de la tabla 3.6 las funciones y paqueterías con las que se deben tratar los datos, una vez que se trabaje en la interfaz del software *Phyton 3.6.5*, para hallar los pronósticos de la tinta nueva. De igual manera, además de la emisión de resultados, también se obtendrán los hiperparámetros considerados para hallar los valores con cada algoritmo.

3.3. Determinación de cantidad de tinta

3.3.1. Error medio absoluto porcentual (*MAPE*)

Para seleccionar el modelo de pronóstico de mejor desempeño se llevó a cabo la medición del error medio absoluto porcentual (*MAPE*, por sus siglas en inglés). Este error relaciona el error de pronóstico con el nivel de demanda, es útil para tener una perspectiva adecuada del desempeño del pronóstico. La función que define este valor se presenta a continuación:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Demanda_t - Pronóstico_t}{Demanda_t} \right|, \text{ expresado como porcentaje} \quad (21)$$

En donde,

n = número de periodos

3.3.2. Algoritmo para la estimación de tinta

Con la selección del artículo que tenga mayor similitud al insumo que se pretende estimar, con la respectiva información histórica, con los pronósticos ya definidos y con la medición del error medio absoluto porcentual, se estableció un algoritmo que permitiera visualizar de manera concisa y resumida el procedimiento para llevar a cabo la estimación del artículo nuevo que presente demanda intermitente, que para este caso de estudio es un insumo de materia prima, es decir, una tinta nueva. La figura 3.3 muestra el algoritmo para la obtención de la cantidad de tinta requerida para la impresión del tiraje de temporada.

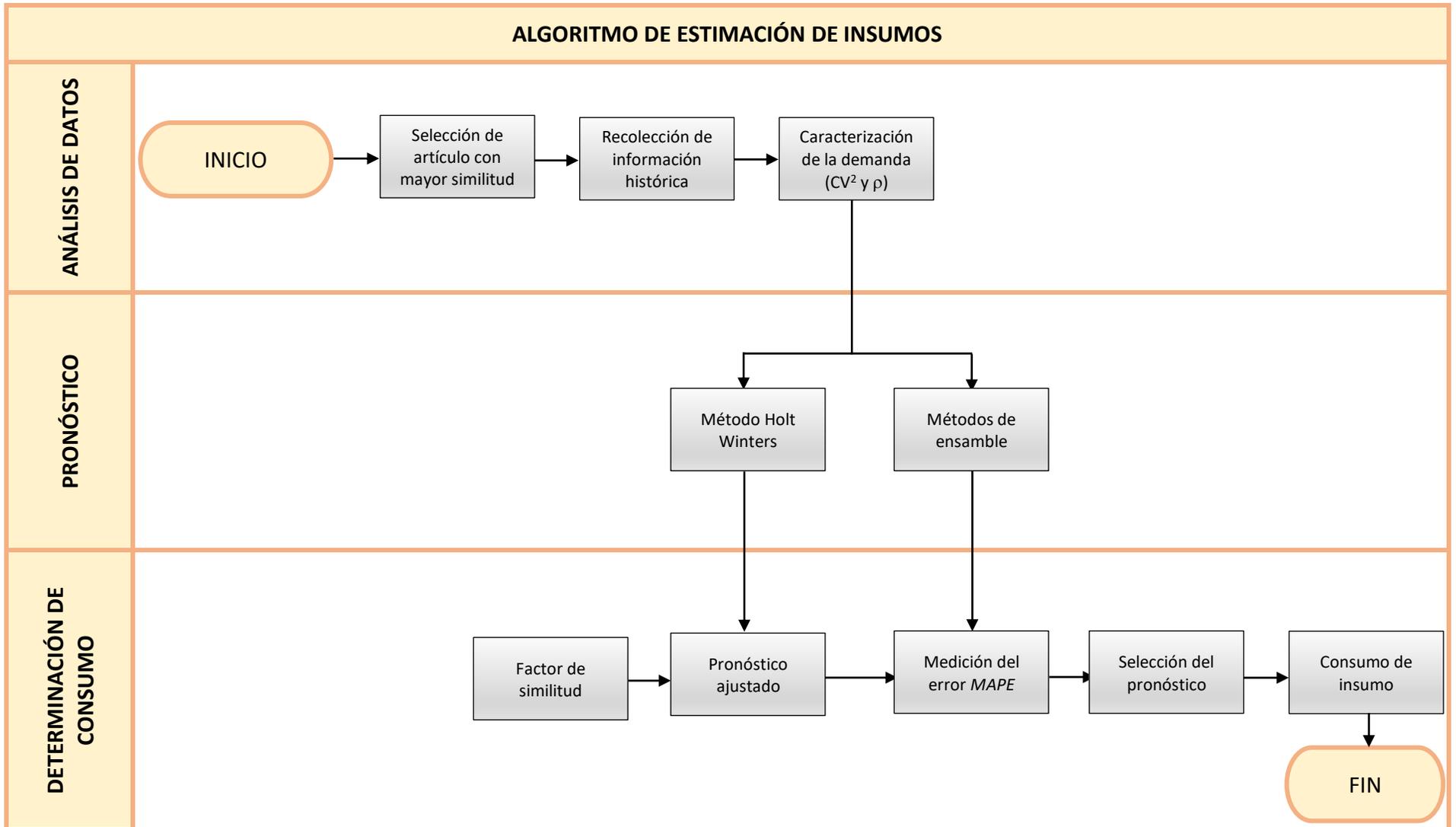


Figura 3.3. Algoritmo para la estimación de consumo
Fuente: Elaboración propia

El algoritmo se divide en 3 eslabones, los cuales consisten en lo siguiente:

1. **Análisis de datos:** el análisis inicia con la búsqueda de un producto que posea la mayor cantidad de características similares posibles, se toma la información histórica del insumo similar, con los datos históricos se calculan los coeficientes de variación cuadrático y el intervalo promedio entre demandas y se caracteriza la demanda para identificar a que categoría pertenece la demanda.
2. **Pronóstico:** los datos históricos se procesan con los métodos de pronóstico de Holt Winters y los métodos de ensamble.
3. **Determinación de consumo:** se calcula el valor del factor de similitud entre el producto de referencia y el insumo que se pretende pronosticar, entonces el resultado del pronóstico por el método de Holt Winters se ajusta con el valor del factor de similitud. Con la obtención de los resultados arrojados con cada técnica de pronóstico se determina el valor del error medio absoluto porcentual con la finalidad de identificar el pronóstico con el mejor desempeño. Una vez seleccionado el pronóstico, entonces, se podrá evaluar la cantidad tinta que habrá de solicitarse.

Capítulo 4. Análisis de resultados

Los datos de consumo de la tinta 1, mostrados en la tabla 3.6, se graficaron. La figura 4.1 refleja esta información.

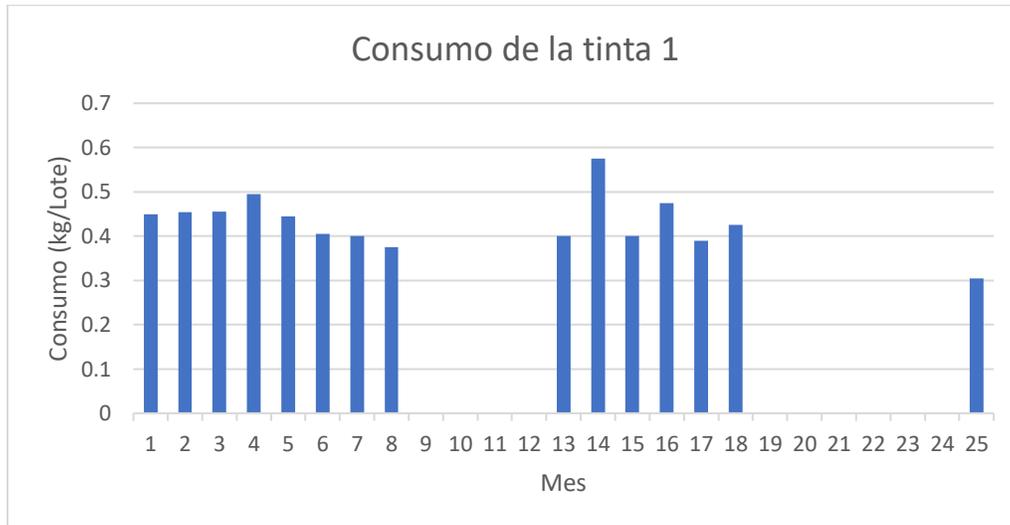


Figura 4.1. Demanda por mes de la tinta 1
Fuente: Elaboración propia

A partir de la figura 4.1 se puede visualizar aquellos periodos de tiempo en los cuales no hubo alguna demanda de tinta, es decir, en los meses del 9 al 12 y del 19 al 24 no hubo movimiento de la tinta lo que implica una demanda intermitente. Constantino (2017) muestra una matriz de cómo se comportan los diferentes tipos de demanda intermitente una vez que se han graficado los datos históricos, esto se refleja en la figura 4.2.

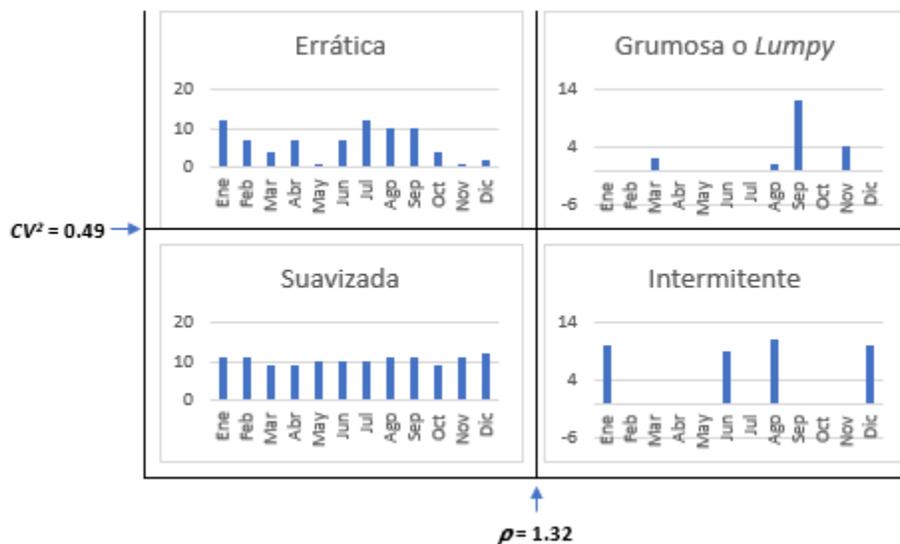


Figura 4.2. Patrones de demanda
Fuente: Constantino, 2017

Se puede apreciar de forma visual que la figura 4.1 se encuentra entre la demanda intermitente y la demanda grumosa (*lumpy*, por su traducción al inglés) de acuerdo a la matriz de la figura 4.2. Gracias a los valores obtenidos en el apartado 3.2.2 ($CV^2=0.73$ y $\rho=1.6$) se identifica que la demanda de la tinta 1 corresponde a una demanda de tipo grumosa.

4.1. Determinación de pronósticos

Para la determinación del pronóstico por el método de Holt Winters, primero se obtuvo la puntuación de similitud entre las características de la tinta 1 y la tinta nueva. Con apoyo del ingeniero de producción de la empresa, se obtuvieron los puntajes mostrados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Puntaje y porcentaje de similitud

		Atributos de la tinta 1					
		Viscosidad	Tack	Color	Proceso	Área de impresión	Caducidad
Puntaje de similitud		9.5	9.5	1.0	9.2	6.0	10.0
Porcentaje de similitud		95%	95%	10%	92%	60%	100%

Las características que son muy similares entre la tinta 1 y la tinta nueva son las propiedades fisicoquímicas, es decir, la viscosidad y el tack. Esto se debe a que las tintas provienen del mismo proveedor por lo que las especificaciones técnicas son muy similares, los valores varían muy poco entre sí (para la tinta nueva se obtuvo una viscosidad de 9500 cP¹ y un tack de 74 unidades, mientras que para la tinta 1 la viscosidad es de 10000 cP y presenta un tack de 79 unidades). Para el caso del proceso, se obtuvo ese valor debido a que la tinta nueva, durante el proceso de impresión, se estará colocando en un tintero distinto al que se utiliza para la tinta 1 actualmente, es importante recalcar que para la determinación de este valor se empleó el criterio del ingeniero debido a que él ya conoce si se utiliza alguna maniobra o paso extra para que la tinta no tenga problemas al estar en el proceso de impresión. En el caso del área de impresión, la tinta 1 ocupa un área de 4.3 cm³, mientras que la tinta nueva estará ocupando un área de 6.9 cm³. El puntaje para la fecha de caducidad corresponde a un valor de 10 pues poseen la misma fecha de caducidad, es decir, son 100% similares en ese atributo. Por último, la característica de menor similitud es el color, debido a que la tinta 1 posee una concentración de color tenue en contraste con la tinta nueva, la cual posee un color más concentrado, es decir, más intenso.

Los factores de similitud a partir de la información de la tabla 4.1 se muestran en la tabla 4.2.

¹ cP = centipoise, es la unidad con la que se reporta la viscosidad de las tintas, $1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$

Tabla 4.2. Factores de similitud

Método	Factores de similitud		
	Factor por debajo	Factor de diferencia	Factor por arriba
Multiplicativo	0.05	0.95	1.95
Aditivo	0.75	0.25	1.25

Para el método multiplicativo, el factor por debajo indica que el consumo de la tinta 1 de la estampilla de temporada será sólo el 5% del consumo de la tinta de la estampilla en circulación. El factor de diferencia representa la no similitud entre los productos analizados, es decir, que hay un 95% de no similitud entre ambas tintas por este método. El factor por arriba representa el escenario en donde el consumo de la tinta nueva para las estampillas de temporada será 95% superior al de la tinta 1 utilizada en las estampillas que se encuentran en circulación.

En cambio, para el método aditivo, el factor por debajo indica que el consumo de la tinta nueva será el 75% de la tinta 1. El factor de diferencia indica que hay un 25% de no similitud. El factor por arriba indica el escenario en el que la tinta nueva tendrá un consumo superior de 25% en comparación de la tinta 1.

De los factores obtenidos en la tabla 4.2, se seleccionó el factor de similitud de 0.75 obtenido por el método aditivo. Se eligió este valor y este método por dos razones:

1. Existe un 25% de no similitud por el método aditivo en contraste con el 95% obtenido por el método multiplicativo, es decir, habrá una mejor similitud de los resultados con respecto a la información histórica de la tinta 1 empleando el factor de similitud por el método aditivo.
2. Cómo se mencionó previamente, una particularidad de la tinta nueva es que su desempeño y funcionalidad dentro del proceso de impresión contribuye a la reducción del consumo de la tinta 1, por lo que se espera que el consumo de la tinta sea el 75% de la tinta 1.

A partir de este valor del factor de similitud se obtuvo el pronóstico de Holt Winters. Se llevo a cabo por el método Holt Winters multiplicativo por la sensibilidad en cortos tiempos a cualquier fluctuación que presente la serie de tiempo. Mediante el uso del software *R-Studio* a través de la función *HoltWinters()* se obtuvo un resultado de 0.395 kg/lote, por lo que, al evaluar la función,

$$\begin{aligned} \text{Pronóstico del insumo para productos nuevos en } t \\ = (\text{Factor de similitud})(\text{Modelo Holt Winters}) \end{aligned} \quad (22)$$

Se obtuvo el siguiente resultado:

$$\text{Pronóstico de consumo de tinta nueva} = (0.75) \left(0.395 \frac{\text{Kg}}{\text{lote}} \right) = 0.296 \frac{\text{Kg}}{\text{lote}} \quad (23)$$

Este resultado implica que para la impresión de un lote de estampillas postales se tendrá que utilizar 0.296 kg de tinta.

La evaluación de los métodos de ensamble se llevó a cabo en el software *Python 3.6.5*, los resultados e hiperparámetros considerados se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Resultados e hiperparámetros de los métodos de ensamble

Algoritmo	Consumo (kg/lote)	Hiperparámetros
Bagging	0.170	Profundidad de árbol {1 – 3} Cantidad de árboles {1 – 100} Tasa de aprendizaje {0, 1 – 1} Validación cruzada de 10 iteraciones (con la función <i>GridSearchCV</i> ())
Bosque aleatorio	0.152	Profundidad de árbol {1 – 3} Cantidad de árboles {1 – 100} Tasa de aprendizaje {0, 1 – 1} Validación cruzada de 10 iteraciones (con la función <i>GridSearchCV</i> ())
Árboles extremadamente aleatorios	0.292	Profundidad de árbol {1 – 3} Cantidad de árboles {1 – 100} Tasa de aprendizaje {0, 1 – 1} Validación cruzada de 10 iteraciones (con la función <i>GridSearchCV</i> () con la función de pérdida de error cuadrático medio)
Máquina de aumento de gradiente	0.304	Profundidad de árbol {1 – 3} Cantidad de árboles {1 – 100} Tasa de aprendizaje {0, 1 – 1} Validación cruzada de 10 iteraciones (con la función <i>GridSearchCV</i> ())
Aumento de gradiente extremo	0.149	Profundidad de árbol {1 – 3} Cantidad de árboles {1 – 100} Tasa de aprendizaje {0, 1 – 1} Validación cruzada de 10 iteraciones (con la función <i>GridSearchCV</i> ())

En la tabla 4.3 se puede observar que el método que arroja el resultado mínimo es el de aumento de gradiente extremo con un valor de 0.149, es decir, que se pronostica que con este valor se estima consumir 0.149 kg de tinta por cada lote impreso. Para el caso máximo de consumo que se pronostica es de 0.304, con el método de máquina de aumento de gradiente, lo que nos indica un consumo de 0.304 kg de tinta al imprimir un lote de las estampillas de temporada.

En ambos casos, se consideraron los mismos hiperparámetros, es decir, una profundidad de 1 a 3 árboles, es decir, que hasta 3 divisiones se consideró para llevar a cabo la iteración

con estos algoritmos. La cantidad de árboles considerados estuvo en un rango de 1 a 100 árboles, es decir, hasta 100 nodos terminales se consideraron. En el caso de la tasa de aprendizaje estuvo manejada en un rango de 0 a 1, es decir, que a lo más se consideró una observación para llevar a cabo la división de cada nodo. Por último, para encontrar el valor mínimo de error se llevó a cabo a través de 10 iteraciones con la función *GridSearchCV* () (Pedregosa et al, 2011) incluida en la versión de *Phyton 3.6.5*.

4.2. Selección de pronóstico

La empresa, en la que se llevó a cabo este estudio, durante su etapa de pruebas tuvo la oportunidad de imprimir un lote pequeño de 1,000 hojas de la estampilla de temporada, ya como producto final, en la que se obtuvo un de 0.120 kg/lote, por lo que se tomó este resultado como el valor de la demanda de la tinta nueva. Con este valor se realizó la comparación de los resultados obtenidos por cada pronóstico evaluado, los resultados se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Estimación de consumo de tinta por cada pronóstico y su error

Tinta nueva		
Modelo de pronóstico	Consumo (kg/lote)	MAPE (%)
Holt Winters ajustado	0.296	146.7
<i>Bagging</i>	0.170	41.7
Bosque aleatorio	0.152	26.7
Árboles extremadamente aleatorios	0.292	143.3
Máquina de aumento de gradiente	0.304	153.3
Aumento de gradiente extremo	0.149	24.2

Los resultados mostrados en la tabla 4.4 reflejan una amplia diferencia entre cada uno de los pronósticos, se puede apreciar que el método que pronostica de mejor manera es la técnica de aumento de gradiente extremo con un consumo de 0.149 kg/lote y un valor de *MAPE* de 24.2%.

El buen resultado obtenido por el algoritmo de aumento de gradiente extremo se puede deber a diferentes razones. La primera de ellas es que el método pertenece a los algoritmos de tipo *boosting* lo que implica que constantemente se retroalimenta de las de las capas anteriores (método secuencial) siendo capaz de captar toda la tendencia que conforma la serie de tiempo, de tal manera que la predicción sea tan cercana al valor real; es importante recalcar que los algoritmos *boosting* tienen por objetivo reducir el sesgo, en contraste a los algoritmos *bagging*, los cuales priorizan la disminución de la varianza. La segunda razón es que, a diferencia del método por el factor de similitud, no depende directamente de la subjetividad del puntaje que se asigna a cada uno de los atributos similares con respecto al producto análogo, esto suprime la desviación que puede generar un puntaje erróneo al asignar dichos valores. Por último, el método no depende de factores de estacionalidad, los cuales se ven afectados por los periodos en los cuales la demanda es nula; el algoritmo de

gradiente extremo al tener respuesta inmediata de periodos previos se ajustará a fluctuaciones en los cuales haya demanda y en las que no las haya.

Si bien, el error con el algoritmo de aumento de gradiente extremo posee un valor grande (24.2%), se debe recordar que el error aleatorio es resultado de factores impredecibles que ocasionan que el pronóstico se desvíe de la demanda real (Chopra y Meindl, 2008), aunado a que, como lo menciona Frechtling (2001), “un valor de MAPE entre el 20% y 30% es aceptable debido a que dichos factores que no logran ser identificados no se pueden modelar a causa de la propia naturaleza no lineal de todas las variables que intervienen”, por lo que es aceptable el valor de 0.149 kg/lote con un error de 24.2%, obtenido por el algoritmo aumento de gradiente extremo.

4.3. Determinación de kg/lote, kg/mes y L/mes

Existen diferentes maneras de reportar el consumo de la tinta nueva, para este caso de estudio el consumo estimado se reporta en términos de kilogramos empleados de tinta por cada lote impreso de estampillas, es decir, 0.149 kg/lote, de acuerdo al algoritmo de aumento de gradiente extremo. Sin embargo, el consumo se puede reportar en otras unidades dependiendo de las necesidades que el planeador de producción requiera.

Si se desea reportar el consumo en términos de kilogramos de tinta por cada mes bastaría sólo con especificar el número de lotes que se han de ocupar por mes para satisfacer la demanda y con ello obtener los kilogramos necesarios del insumo. La función con la que se podría obtener dicho consumo se muestra a continuación,

$$\text{Consumo por mes} = \left(\frac{\text{Kilogramos}}{\text{lote}} \right) \left(\frac{\text{lote}}{\text{mes}} \right) \quad (24)$$

Por ejemplo, en el caso que se pretenda producir 10 lotes a lo largo de medio año, el consumo se expresaría de la siguiente forma,

$$\text{Consumo por mes} = \left(\frac{0.149 \text{ Kg}}{1 \text{ lote}} \right) \left(\frac{10 \text{ lotes}}{6 \text{ meses}} \right) = 0.248 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}} \quad (25)$$

Para el caso de que el consumo se desee en términos de litros por mes, sólo será necesario multiplicar la ecuación no. 24 por el inverso de la densidad de la tinta obteniendo la siguiente función,

$$\text{Litros por mes} = \left(\frac{\text{Kilogramos}}{\text{lote}} \right) \left(\frac{\text{lote}}{\text{mes}} \right) \left(\frac{\text{litros}}{\text{kilogramos}} \right) \quad (26)$$

Para ello se recurre a la información proporcionada por el proveedor quien reporta un valor de 1.14 kg/L. Retomando el ejemplo de la ecuación no. 25, se obtiene el siguiente resultado,

$$\text{Litros por mes} = \left(\frac{0.149 \text{ Kg}}{1 \text{ lote}}\right) \left(\frac{10 \text{ lotes}}{6 \text{ meses}}\right) \left(\frac{1 \text{ L}}{1.14 \text{ Kg}}\right) = 0.218 \frac{\text{L}}{\text{mes}} \quad (27)$$

4.4. Reducción de costos

Para ver reflejado un beneficio de la tinta nueva con respecto a la tinta 1, se realizó un comparativo de lo que actualmente se invierte con el consumo de la tinta 1 y lo que se ahorrará con el consumo de la tinta nueva.

El precio de cada kilo de la tinta 1 es de 1,250 dólares y el costo de la tinta nueva es de 1,600 dólares por kilo. En primera instancia, se podría pensar que es más caro el uso de la tinta nueva, sin embargo, la diferencia entre ambos insumos es su consumo. Con el uso de la información de la tabla 3.5, se determinó el promedio mensual de consumo de la tinta 1, considerando los años 2014, 2015 y 2016, obteniendo un valor de 0.258 kg. El costo de fabricación se obtendría con la siguiente función,

$$\begin{aligned} \text{Costo de fabricación} \\ = (\text{Consumo de materia prima mensual})(\text{Precio unitario}) \end{aligned} \quad (28)$$

Sustituyendo los valores, se obtuvo el siguiente resultado,

$$\text{Costo de fabricación}_{\text{tinta 1}} = \left(\frac{0.248 \text{ kg}}{1 \text{ lote}}\right) \left(\frac{1,250 \text{ USD}}{1 \text{ kg}}\right) = 310 \frac{\text{USD}}{\text{lote}} \quad (29)$$

Esto representa que cuesta 310 dólar la impresión de un lote de estampillas postales con el uso de la tinta 1. De la misma forma, se consideró la función no. 29 para hallar el costo de fabricación de la tinta nueva considerando el consumo obtenido por el algoritmo de aumento de gradiente extremo,

$$\text{Costo de fabricación}_{\text{tinta nueva}} = \left(\frac{0.149 \text{ kg}}{1 \text{ lote}}\right) \left(\frac{1,600 \text{ USD}}{1 \text{ kg}}\right) = 238 \frac{\text{USD}}{\text{lote}} \quad (30)$$

Para visualizar, en términos de porcentaje, el ahorro que se tendrá con la tinta nueva se lleva a cabo la evaluación de la siguiente función,

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de disminución} \\ = \left(\frac{\text{Costo original}_{\text{tinta 1}} - \text{Costo original}_{\text{tinta nueva}}}{\text{Costo original}_{\text{tinta 1}}}\right) (100\%) \end{aligned} \quad (31)$$

Por lo tanto, se obtiene un valor de,

$$\text{Porcentaje de disminución} = \left(\frac{310 \frac{\text{USD}}{\text{lote}} - 238 \frac{\text{USD}}{\text{lote}}}{310 \frac{\text{USD}}{\text{lote}}} \right) (100\%) = 23.2\% \quad (32)$$

Se puede observar entonces que la tinta que tiene un menor costo de fabricación es la tinta nueva, por lo tanto, habrá un ahorro del 23.2% en los costos de fabricación al utilizar la tinta nueva. Se puede concluir que la tinta nueva cumple con el desempeño que señaló el proveedor: reducción del consumo de tinta, disminución significativa de la merma y economización del proceso de impresión de las estampillas postales.

Capítulo 5. Conclusiones

Es sabido de la importante función que desempeña el área de planeación dado que de ella emana toda la información para el flujo correcto de las operaciones de cualquier empresa. Sus principales funciones son la estimación de ventas que se ha de tener en un determinado periodo de tiempo, las cantidades de insumos que se habrán de producir o adquirir para cumplir con el bien o servicio que se ofrece, los tiempos destinados para cada actividad dentro de la empresa, la logística de distribución hasta que el cliente tenga en sus manos el bien o servicio, así como la plantilla necesaria en cada área para cumplir con dichas actividades.

El estudio presentado en este escrito trata de una empresa que se dedica a la impresión de estampillas postales a través de la impresión offset que, por las festividades de la temporada, tiene como meta emitir un tiraje de estampillas conmemorativas bajo la premisa que se va emplear una tinta de nueva introducción, la cual presenta ciertas características que mejoran y facilitan el proceso de impresión, además de economizar su consumo.

A través de un mapeo de procesos se observó que el proceso de impresión se divide en tres etapas. La primera etapa se llama preimpresión, la cual involucra la recepción y colocación de las tintas en su respectivo tintero, así mismo, se reciben los requerimientos del papel. Posteriormente, se colocan las láminas que previamente han sido sometidas a tratamiento galvánico, a su vez, las planchas se preparan con los diseños requeridos por medio de un negativo formado a través de la exposición a la luz ultravioleta. La segunda etapa se denomina impresión, en esta etapa se montan las planchas ya con los diseños finales y se procede, como su nombre lo indica, con la impresión de las estampillas postales; para llevar a cabo la impresión, primero se realizan impresiones de prueba hasta que se alcanza la impresión deseada, una vez establecido el proceso y la calidad deseada se imprime en el papel impresión. La última etapa recibe el nombre de postimpresión, en esta etapa se termina la impresión del tiraje y se procede a recortar las estampillas postales al tamaño requerido. Dentro de este paso se incluye la limpieza de la máquina y sus complementos.

De las tintas disponibles, que se encuentran en uso para la impresión de las estampillas postales en circulación, se seleccionó a la tinta 1 como el producto análogo o de mayor similitud. Con la información histórica de este insumo se determinaron los coeficientes de coeficiente de variación cuadrática (CV^2) con un valor de 0.73 y el coeficiente de intervalo promedio entre demandas (ρ o ADI) con un valor de 1.6. De acuerdo a la tipología de la demanda intermitente, se logró identificar que la demanda de la tinta nueva corresponde a una demanda de tipo grumosa. A raíz de este tipo de demanda, no se puede utilizar el método de Croston debido a que presenta una deficiencia en sus estimaciones en productos que presenten una obsolescencia repentina.

El factor de similitud obtenido para evaluar el método de Sarmiento fue de 0.75, evaluado por el método aditivo, este factor permitió ajustar uno de los métodos de estimación más conocidos, el método de Holt Winters.

Además del método de Sarmiento, se evaluaron dos métodos de ensamble, los métodos de *bagging* y el de *boosting*; el primero de ellos contempla los algoritmos de bosque aleatorio y árboles extremadamente aleatorio; el segundo método involucra los algoritmos de máquina de aumento de gradiente y aumento de gradiente extremo; ambos métodos parten de los métodos de ensamble cuyo objetivo es combinar modelos básicos (aprendiz débil) para obtener un modelo más preciso (aprendiz fuerte).

Los resultados arrojaron que el pronóstico que tiene un mejor desempeño es el de Aumento de Gradiente Extremo (XGB), con un valor de consumo de 0.149 kg/lote y un valor de error (MAPE) de 24.17%. Para obtener el valor MAPE, se comparó el consumo que se obtuvo dentro de la etapa de pruebas en el área de impresión el cual fue de 0.120 kg/mes. El buen desempeño del pronóstico de Aumento de Gradiente Extremo puede deberse a diferentes circunstancias tales como, el método se retroalimenta constantemente de las capas anteriores siendo capaz de captar la tendencia y estacionalidad de la información histórica lo que implica un ajuste del comportamiento, de tal manera que la predicción sea tan cercana al valor real; otra razón es porque a diferencia del método por el factor de similitud, no depende directamente del puntaje que se asigna a cada uno de los atributos similares con respecto al producto análogo. Por otra parte, no depende de factores de estacionalidad que se ven afectados con los periodos en los cuales la demanda es nula.

Finalmente, en términos de costos, se cuantificó que con el consumo que presenta la tinta 1 se invierte un total de 310 dólares, mientras que para la tinta nueva se estará haciendo una inversión de 238 dólares por cada kilogramo de tinta nueva, lo que implica un ahorro en los costos de fabricación del 23.2%.

Se puede confirmar que la tinta nueva tendrá un gran desempeño dentro del proceso de impresión debido a que se reduce el consumo de la tinta, hubo una disminución de la merma que se deposita en los rodillos y se aminoran los costos de fabricación.

Bibliografía

- ABDI, H., VALENTIN, D., & EDELMAN, B. (1999). *Neural Networks*. Inglaterra: Sage publications.
- ALIEXPRESS. (15 de Marzo de 2021). *AliExpress*. Obtenido de Sellos postales: <https://es.aliexpress.com/i/32665048424.html>
- ÁLVARO, G. (11 de Abril de 2020). *Machine learning, data science y analítica avanzada*. Obtenido de ¿Cuál es la diferencia entre los métodos de bagging y los de boosting?: <https://machinelearningparatodos.com/cual-es-la-diferencia-entre-los-metodos-de-bagging-y-los-de-boosting/>
- AMAT RODRIGO, J. (11 de Abril de 2020). *Ciencia de datos, estadística, machine learning y programación*. Obtenido de Árboles de decisión, random forest, gradient boosting y C5.0: https://www.cienciadedatos.net/documentos/33_arboles_decision_random_forest_gradient_boosting_c50
- BABILONI, E., CARDOS, M., ALBARRACIN, J. M., & PALMER, M. E. (2010). Demand Categorisation, forecasting, and inventory control for intermittent demand items. *South African Journal of Industrial Engineering*, 1 - 3.
- BREIMAN, L. (1996). Bagging predictors. *Machine Learning*, 123 - 140.
- BREIMAN, L., FRIEDMAN, J. H., OLSHEN, R. A., & STONE, C. G. (1984). *Classification and regression trees*. California, U. S. A.: Wadsworth International Group.
- BROWNLEE, J. (5 de Abril de 2020). *Classification and regression trees for machine learning*. Obtenido de Machine Learning Mastery: <https://machinelearningmastery.com/classification-and-regression-trees-for-machine-learning/>
- BÜHLMANN, P., & HOTHORN, T. (2007). Boosting algorithms: regularization, prediction and model fitting. *Statistical science*, 477 - 505.
- CABRILLO, F. (5 de Marzo de 2019). *Expansion*. Obtenido de Johannes Gutenberg y el arte de la imprenta: <https://www.expansion.com/directivos/2017/07/04/595b79d1268e3efb5b8b45fb.html>
- CHASE JR., C. W. (2013). *Demand-Driven forecasting: A structured approach to forecasting*. U. S. A.: Wiley.
- CHEN, T., & GUESTRIN, C. (2016). Xgboost: a scalable tree boosting system. *International conference on knowledge discovery and data mining* (págs. 785 – 794). New York: Proceedings of the 22Nd ACM SIGKDD.
- CHOPRA, S., & MEINDL, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación*. México: Pearson.
- COLUMBUS, L. (8 de Marzo de 2020). *Forbes*. Obtenido de Roundup of machine learning forecasts and market estimates, 2020: <https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2020/01/19/roundup-of-machine-learning-forecasts-and-market-estimates-2020/?sh=310247a95c02>

- CONSTANTINO, F., DI GRAVIO, G., & TRONCI, M. (2013). Multi-echelon, multi-indenture spare parts inventory control subject to system availability and budget constraints. *Elsevier*, 95 - 101.
- CORDERO, R. (21 de Marzo de 2019). 2019). *Innovación y Emprendimiento, motores del cambio. Obtenido de Innovación y Emprendimiento*. Obtenido de Motores del cambio: <http://www.rodrigocordero.org>
- DE MENDIETA, F. (1870). *Historia eclesiástica indiana: obra escrita a fines del siglo XVI*. España: Colección Digital UANL.
- DECONINCK, E., ZHANG, M. H., COOMANS, D., & VANDER HEYDEN, Y. (2006). Classification tree models for the prediction of blood-brain barrier passage of drugs. *American Chemical Society*, 1410 - 1419.
- ESTUGRAF IMPRESORES S. L. (8 de Marzo de 2020). *Estugraf impresores S. L*. Obtenido de Estugraf - imprimimos tus sueños: <http://estugraf.com/funciona-la-impresion-offset/>
- FISCHER, L., & ESPEJO, J. (2004). *Mercadotecnia*. México: McGraw-Hill.
- FLORES LÓPEZ, R., & FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, J. M. (2008). *Las redes neuronales artificiales: fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas*. España: Oleiros.
- FRECHTLING, D. C. (2001). *Forecasting tourism demand: methods and strategies*. United Kingdom: Butterworth-Heinemann.
- FRIEDMAN, J. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *The Annals of Statistics*, 1189 - 1232.
- FRIEDMAN, J., & HASTIE, T. (2000). Additive logistic regression: a statistical view of boosting. *The annals of statistics*, 337 - 407.
- GEO tutoriales. (13 de Enero de 2021). *Gestión de operaciones*. Obtenido de Método del ciclo de vida del producto para pronósticos de ventas: <https://www.gestiondeoperaciones.net/proyeccion-de-demanda/metodo-del-ciclo-de-vida-del-producto-para-pronosticos-de-ventas/>
- GEURTS, P., ERNST, D., & WEHENKEL, L. (2006). Extremely randomized trees. *Machine learning*, 3 - 42.
- GRAÑEN PORRUA, M. I. (2010). *Los grabados en la obra de Juan Pablos*. México: Fondo de Cultura Económica.
- HANKE, J., & WICHERN, D. (2006). *Pronósticos en los negocios*. España: Prentice Hal.
- HASTIE, T., TIBSHINARI, R., & FRIEDMAN, J. (2009). *The elements of statistical learning. Data mining, inference, and prediction*. U. S. A.: Springer.
- HILERA GONZÁLEZ, J. R., & MARTÍNEZ HERNANDO, V. J. (1995). *Redes neuronales artificiales*. España: RA-MA Editorial.
- HOFNER, B., MAYR, A., ROBINZONOV, N., & SCHMID, M. (2014). Model-based boosting in R: a hands-on tutorial using the R package mboost. *Computational Statistics*, 3 - 35.
- INSTITUTO REGIONAL DE SEGURIDAD Y SALUD - MADRID. (8 de Marzo de 2020). *Guía práctica de prevención de riesgos laborales en impresión offset tradicional*. Obtenido de Impresión offset: http://www.exyge.eu/blog/wp-content/uploads/2014/10/prl_artes_graficas.pdf
- JAIN, C. L. (2007). Benchmarking forecasting models. *The Journal of Business Forecasting*, 28 - 29.

- KHAN, K. B. (2006). *New product forecasting : an applied approach*. Inglaterra: U. S. A.
- KOTLER, P., & KELLER, K. L. (2016). *Dirección de marketing*. México: Pearson.
- KULKARNI, S., & HARMAN, G. (2011). *An elementary introduction to statistical learning theory*. U. S. A.: John Wiley & Sons.
- LAMB, C. W., FAIR, J. F., & McDANIEL, C. (2014). *MKTG. Marketing (séptima edición - edición del estudiante)*. México: Cengage Learning.
- LEÓN, N. (10 de Enero de 2020). *We are testers*. Obtenido de Test de concepto y test de producto: valida tu idea y minimiza riesgos:
<https://www.weareresters.com/investigacion-de-mercados/test-de-concepto-y-test-de-producto-valida-tu-idea-y-minimiza-riesgos>
- MAKRIDAKIS, S. G., & WHEELWRIGHT, S. C. (1997). *Métodos de Pronósticos*. México: Limusa.
- MEMORIA CHILENA. (11 de Marzo de 2020). *Memoria chilena Biblioteca Nacional de Chile*. Obtenido de Memoria chilena Biblioteca Nacional de Chile:
<http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-64270.html>
- MONTEMAYOR, J. (2013). *Métodos de pronósticos para negocios*. México: Editorial digital Tecnológico de Monterrey.
- MUNIVE ROJAS, M. A. (2015). 2015). Detonadores de la modernización tecnológica en la industria gráfica de México: una metodología y un caso de éxito. *Ingeniería, Investigación y Tecnología, UNAM*, 317 - 334.
- PEDREGOSA, F., VAROQUAUX, G., GRAMFORT, A., MICHEL, V., & THIRION, B. (2011). Scikit-learn: machine learning in python. *Journal of Machine Learning Research*, 2825 - 2830.
- PEÑA ARAYA, J. A. (2018). *Pronósticos con algoritmos de aprendizaje automático. Estudio comparativo*. México: Tesis.
- RODRIGUEZ DOMINGUEZ, G. (2019). Primeros vagidos de tipografía y biblioiconografía mexicana del siglo XVI. *Scielo*, 565 - 594.
- ROSALES VILLAVERDE, N. (13 de Mayo de 2020). *RPubs*. Obtenido de Holt-Winters:
<https://rpubs.com/nanrosvil/283121>
- RUNCITER, G. (14 de Marzo de 2020). *The spanish prisoner*. Obtenido de Los 5 sellos más caros del mundo: <http://www.spanishprisoner.net/2013/07/los-5-sellos-mas-caros-del-mundo.html>
- SANTA CRUZ, R., & CORREA, C. (2017). Intermittent demand forecasting with time series methods and artificial neural networks: A case study. *DYNA, Universidad Nacional de Colombia*, 9 - 16.
- SARMIENTO, A. T., & SOTO, O. C. (2014). New product forecasting demand by using neural networks and similar product analysis. *DYNA, Universidad Nacional de Colombia*, 311 - 317.
- SCHAPIRE, R. E. (1990). The strength of weak learnability. *Machine learning*, 197 - 227.
- SCHAPIRE, R., & FREUND, Y. (2012). *Boosting: foundations and algorithms*. San Diego: The MIT press.
- SERVICIO POSTAL MEXICANO. (11 de Marzo de 2020). *Correos de México*. Obtenido de Correos de México: <http://www.correosdemexico.com.mx/Paginas/Inicio.aspx>

- SERVICIO POSTAL MEXICANO. (8 de Marzo de 2020). *Servicio Postal Mexicano*. Obtenido de El arte de la filatelia:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/70039/EL_ARTE_DE_LA_FILATELIA.pdf
- SERVICIO POSTAL MEXICANO. (8 de Marzo de 2020). *Servicio Postal Mexicano*. Obtenido de Historia de la filatelia en México:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/70052/Historia_de_la_Filatelia_en_Mx.pdf
- SIPPER, D., & BULFIN, R. (1998). *Planeación y control de la producción*. U. S. A. : McGraw-Hill.
- SITTIC. (15 de Marzo de 2021). *Sittic*. Obtenido de ¿Por qué contratar servicios de impresión offset?: <http://www.sittic.com/es/por-que-contratar-servicios-de-impresion-offset/>
- STANTON, W. J., ETZEL, M. J., & WALKER, B. J. (2007). *Fundamentos de marketing (decimocuarta edición)*. México: McGraw-Hill.
- SYNTETOS, A. A., & BOYLAN, J. E. (2005). The accuracy of intermittent demand estimates. *El Sevier*, 303 - 314.
- SYNTETOS, A. A., BOYLAN, J. E., & CROSTON, J. D. (2005). On the categorization of demand patterns. *Journal of the Operational Research Society*, 495 - 503.
- TIMOFEEV, R. (2004). *Classification and regression trees (CART). Theory and applications*. Berlin: Tesis de maestría.
- TURIENZO, P. (2018). La enseñanza de la entomología mediante sellos postales como recurso didáctico. *Idesia*, 119 - 229.
- WALPOLE, R. E., MYERS, R. H., & MYERS, S. L. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, novena edición*. México: Pearson.
- ZONALOGISTICA. (14 de Febrero de 2021). *Zonalogistica*. Obtenido de Gestión de inventarios VI: el control de Inventarios con demanda constante:
<https://zonalogistica.com/gestion-de-inventarios-vi-el-control-de-inventarios-con-demanda-constante/>
- ZUMO GRÁFICA SAC. (15 de Marzo de 2021). *Zumo imprenta integral*. Obtenido de 5 Características principales para una Impresión Offset:
<https://zumografica.com/caracteristicas-impresion-offset/>