

Trabajo Fin de Grado

Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales

Desarrollo de una aplicación para el estudio de los
modelos de previsión de la demanda

Autor: Manuel Barrera López
Tutor: Pablo Aparicio Ruiz

Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Carrera
Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales

Desarrollo de una aplicación para el estudio de los modelos de previsión de la demanda

Autor:
Manuel Barrera López

Tutor:
Pablo Aparicio Ruiz

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Grado: Desarrollo de una aplicación para el estudio de los modelos de previsión de la demanda

Autor: Manuel Barrea López

Tutor: Pablo Aparicio Ruiz

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia
A mis maestros

Agradecimientos

Con una inconmensurable alegría y orgullo, quiero dar las gracias a:

Mis padres, por haberme apoyado; bien fuese de forma explícita alentándome a seguir cumpliendo objetivos durante la carrera o de forma económica; bien de forma implícita aguantando mis cambios de humor en época de estrés o facilitándome mis tareas para que la mayor parte de mi tiempo estuviese dedicado a estudiar. Sin su dedicación y cariño nunca hubiese llegado a este último paso para obtener el grado.

Todos los compañeros que, por breve que haya sido el tiempo que hemos coincidido, dejaron huella en mi. Personas con nombre y apellido como Antonio Aranda, Jose Antonio Díaz, Aaron Cuder, Francisco Cano y Juan Luis Garcia entre otros.

Mi tutor Pablo Aparicio, por darme la oportunidad de embarcarme en este proyecto con él y por su dedicación y cariño durante la elaboración de éste.

Todos los profesores que pusieron su granito de arena en mi enseñanza.

La Junta de Andalucía, por convertir la universidad en algo accesible para todos.

Manuel Barrera López
Sevilla, 2020

Resumen

Después de años de experiencia adquirida impartiendo la asignatura de “Diseño de Sistemas Productivos”, se determinó que, para una mayor comprensión para los alumnos de los métodos impartidos de previsión de la demanda, era interesante desarrollar una aplicación interactiva con el alumno.

Se ha desarrollado una aplicación en el lenguaje de programación Python que permite el cálculo de los métodos de previsión de la demanda impartidos en clase.

A lo largo de este proyecto se ha desarrollado un marco teórico que sirve como fundamento para justificar el por qué son necesarios dichos métodos de previsión de la demanda. Los primeros capítulos son una introducción a la oferta, demanda y función de costes en una empresa y los últimos, sin pretender que sea un manual de como se ha realizado el proyecto, se explican algunos aspectos destacables del idioma que se ha usado para la codificación: Python, y el entorno de programación elegido: PyCharm.

Abstract

After years of experience gained in the subject of “Diseño de Sistemas Productivos”, it was determined that, for students' understanding of the methods of demand forecasting, it was interesting to develop an interactive application with the student.

An application has been developed in the Python programming language that allows the calculation of demand forecasting methods taught in class.

Throughout this project, a theoretical framework has been developed to serve as a basis for justifying why such demand forecasting methods are necessary.

The first chapters are an introduction to supply, demand and cost function in a company, and the latter, without pretending to be a manual of how the project has been carried out, explain some noteworthy aspects of the language used for encoding: Python, and the chosen programming environment: PyCharm.

-translation by Cambridge Dictionary-

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
1 Estado del arte	1
1.1 <i>La oferta y la demanda</i>	1
1.1.1 La curva de la demanda	1
1.1.2 <i>La curva de la oferta</i>	7
1.1.3 El precio de equilibrio. La ley de oferta y demanda	9
1.2 <i>Producción y costes</i>	10
1.2.1 La función de producción	10
1.2.2 Curvas isocuantas	12
1.2.3 Rendimientos de escala	13
1.2.4 Costes de Producción	14
2 Previsión de la demanda	19
2.1 <i>Introducción</i>	19
2.2 <i>Clasificación de los métodos</i>	20
2.3 <i>Métodos cualitativos</i>	21
2.3.1 Método Delphi	21
2.3.2 Encuesta de Mercado de consumo	22
2.3.3 Consulta a las fuerzas de ventas	23
2.3.4 Jurado de opinión ejecutiva	23
2.3.5 Análisis de analogías históricas	24
2.4 <i>Métodos cuantitativos</i>	24
2.4.1 Series temporales	24
2.4.2 Relaciones Causales	30
2.5 <i>Métodos de inteligencia artificial</i>	32
2.5.1 Modelo de redes neuronales	32
2.6 <i>Fiabilidad en la previsión</i>	32
2.6.1 Bias	33

2.6.2	MAD	33
2.6.3	MSE	34
2.6.4	Método de la normal	34
2.6.5	Método de “tracking signal”	35
2.7	<i>Previsión de la demanda con la herramienta Excel</i>	35
3	Python	39
3.1	<i>¿Qué es Python?</i>	39
3.1.1	Objeto	40
3.1.2	Clase	40
3.1.3	Método	40
3.1.4	Herencia	41
3.1.5	Encapsulamiento	41
3.1.6	Polimorfismo	41
3.2	<i>¿Por qué Python?</i>	41
3.3	<i>Herramientas básicas. Librerías</i>	42
3.3.1	XlsxWriter	42
3.3.2	Xlrd	43
3.3.3	Tkinter	43
3.3.4	Random	46
3.3.5	Numpy	46
3.3.6	Pandas	46
3.4	<i>Diagrama de uso de la aplicación</i>	46
4	PyCharm	49
4.1	<i>IDE vs editores de texto</i>	49
4.1.1	Atom	50
4.1.2	VIM	51
4.1.3	Spyder Python	52
4.1.4	PyCharm	53
5	Herramienta	57
5.1	<i>Media Móvil Simple</i>	57
5.1.1	Marco teórico	57
5.1.2	Modelo matemático	58
5.1.3	Análisis hoja de resultados	59
5.2	<i>Ajuste Exponencial Simple</i>	60
5.2.1	Marco teórico	60
5.2.2	Modelo matemático	60
5.2.3	Análisis hoja de resultados	61
5.3	<i>Media Móvil Doble</i>	62
5.3.1	Marco teórico	62
5.3.2	Modelo matemático	62
5.3.3	Análisis hoja de resultados	64
5.4	<i>Ajuste Exponencial Doble</i>	65
5.4.1	Marco teórico	65
5.4.2	Modelo matemático	65
5.4.3	Análisis hoja de resultados	68
5.5	<i>Método de Holt</i>	69
5.5.1	Marco teórico	69
5.5.2	Modelo matemático	69
5.5.3	Análisis hoja de resultados	70
5.6	<i>Método de Winter</i>	72
5.6.1	Marco teórico	72

5.6.2	Modelo matemático	72
5.6.3	Análisis hoja de resultados	74
6	Conclusiones	77
7	Futuras Mejoras	79
7.1	<i>Mejoras en la aplicación</i>	79
7.2	<i>Mejoras en la previsión de la demanda</i>	80
	Referencias	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Efecto del cambio en la oferta y demanda (Arcos, 2019a).	10
Tabla 2-1: Métodos más comunes de proyección de demanda.	21
Tabla 4-1: Métodos de codificación y ejemplos propuestos.	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Desplazamientos en la curva de demanda (Hortalà i Arau, 2009).	3
Figura 1-2: Desplazamientos de la curva de demanda (Hortalà i Arau, 2009).	3
Figura 1-3: Elasticidad cantidad precio en la curva de demanda (Hortalà i Arau, 2009).	4
Figura 1-4: Curva elasticidad-ingreso de la demanda (Hortalà i Arau, 2009).	5
Figura 1-5: Curva de Engel. Imagen extraida de (Pindyck & Rubinfeld, 2017).	6
Figura 1-6: Desplazamiento de la curva de oferta (Pindyck & Rubinfeld, 2017).	8
Figura 1-7: Ley de oferta y demanda (Hortalà i Arau, 2009).	9
Figura 1-8: Exceso de oferta y demanda (Hortalà i Arau, 2009).	10
Figura 1-9: Función de Cobb-Douglas (Vargas Biesuz, 2014).	11
Figura 1-10: Representación curvas isocuantas (Pindyck & Rubinfeld, 2017).	12
Figura 1-11: Rendimientos de escala en curvas isocuantas.	13
Figura 1-12: Sendas de expansión (Pindyck & Rubinfeld, 2017).	15
Figura 1-13: Costes corto plazo I (Hortalà i Arau, 2009).	16
Figura 1-14: Costes corto plazo II (Hortalà i Arau, 2009)	17
Figura 1-15: Curva de costes largo plazo (Pindyck & Rubinfeld, 2017).	18
Figura 2-1: Subgrupos de métodos de pronósticos.	20
Figura 2-2: Proceso del método de Delphi (Gestión de Operaciones Tutoriales, 2015).	22
Figura 2-3: Elementos de la demanda (Corres et al., 2009).	25
Figura 2-4: Demanda nivelada.	26
Figura 2-5: Demanda con tendencia.	27
Figura 2-6: Demanda estacional.	28
Figura 2-7: Ejemplo regresión lineal simple.	31
Figura 2-8: Datos para la previsión de demanda con Excel.	35
Figura 2-9: Localización de la herramienta Previsión en el Excel.	36
Figura 2-10: Hoja desplegada por la herramienta de previsión.	36
Figura 2-11: Hoja desplegada al hacer click en crear.	37
Figura 3-1: Botones en tkinter.	44
Figura 3-2: Mensaje de error	45
Figura 3-3: Ventana Top Level	45

Figura 3-4: Diagrama de uso para el usuario.	48
Figura 4-1: Apariencia de Atom (Atom, 2015).	51
Figura 4-2: Apariencia de VIM (“VIM como ide de Python,” 2011)	52
Figura 4-3: Apariencia de Spyder para Python (Peña-Castellanos, 2015).	53
Figura 4-4: Apariencia PyCharm	55
Figura 5-1: Hoja de resultados de la MMS.	59
Figura 5-2: Hoja de resultados del AES	61
Figura 5-3: Hoja de inicialización del AES.	62
Figura 5-4: Hoja de resultados de la MMD	64
Figura 5-5: Hoja de resultados del AED.	68
Figura 5-6: Hoja de inicialización del AED.	69
Figura 5-7: Hoja de resultados del MH.	71
Figura 5-8: Hoja de inicialización del MH.	71
Figura 5-9: Hoja de resultados MW.	74
Figura 5-10: Hoja de inicialización del MW.	75

1 ESTADO DEL ARTE

Este capítulo aporta unas nociones teóricas sobre la oferta, la demanda y la curva de costes de las empresas que justifiquen la necesidad de realizar una buena previsión de la demanda. Intentando no ahondar mucho en términos económicos, se exponen la curva de la oferta, la curva de demanda, la curva de producción, la curva de costes y sus características respectivas.

1.1 La oferta y la demanda

1.1.1 La curva de la demanda

La demanda se define en (Gómez-Puig, 2006) como la solicitud para adquirir algo. En economía, la demanda es la cantidad total de un bien o servicio que los consumidores desean adquirir. Hay que hacer dos incisos sobre esta definición:

- La cantidad que los consumidores desean adquirir no son las que realmente adquieren.
- Se debe entender la demanda como un flujo continuo de compras y no como una compra puntual.

Para una unidad de consumo, las variables que determinan la demanda (q_i) según (Cárdenas Vidaurri & Casimiro Zacarías, 2002) y (Viscencio-Brambila, 2002) son:

- El precio de los bienes y servicios (p_i): en general, cuánto más caro sea un producto normalmente menor será su demanda, mientras que cuanto más barato sea, más consumidores podrían adquirirlo y, por tanto, mayor será ésta.
- El precio de los bienes relacionados (p_j): distinguimos dos tipos de bienes:
 - Bienes complementarios: son aquellos que, el consumo de uno implica necesariamente el consumo del otro. Ejemplos de ellos son los coches, la gasolina, los ordenadores y los microprocesadores. Al aumentar el precio de estos bienes, disminuirá su demanda y la de su bien complementario. El aumento del precio de los coches afectará negativamente la demanda de estos y a la demanda de gasolina y lo mismo ocurre con los ordenadores y los microprocesadores.
 - Bienes sustitutivos: son aquellos que son consumidos con un mismo fin y por tanto excluyentes entre sí. Si se consume uno no se consume el otro. Ejemplos de estos son el té, el café, la gasolina y el diésel. Al aumentar el precio de uno, disminuirá su demanda, pero aumentará la de su bien sustitutivo. El aumento del precio del té afectará positivamente a la demanda de café y lo mismo ocurre con la gasolina y el diésel.
- La renta disponible (R_d): existe una relación entre los cambios en la renta y las variaciones de demanda.
- Las preferencias del consumidor (preferencias): los gustos, las preferencias y la moda determinan el comportamiento de los demandantes independientemente de la renta y los precios.

Así, se obtiene la demanda como función de:

$$q_i = f(p_i, p_j, Rd, preferencias) \quad (1.1)$$

La demanda comprende un gran abanico de bienes y servicios que pueden ser adquiridos por un consumidor específico o por un conjunto total de consumidores con el fin de satisfacer sus necesidades o deseos.

Estos bienes engloban desde los productos y servicios más básicos producidos por y para el ser humano como son la alimentación, el transporte, los medicamentos y un largo etcétera, a artículos de lujo. Por esta razón, casi todos los seres humanos que participan en la vida moderna son considerados demandantes.

La cantidad demandada de un bien se refiere al conjunto de las unidades de consumo en general y no a una única unidad de consumo:

$$Q_i^d(P_i) = \sum_{j=1}^n Q_{ij}^d(P_i) \quad (1.2)$$

Los determinantes son los mismos, solo que el término de renta por unidad de consumidor pasa a ser renta universal, apareciendo así el nuevo concepto de distribución de la renta.

De todos los argumentos de la función anterior, el predominante es el precio, por lo que se pueden considerar el resto de las variables constantes, es decir, "ceteris paribus".

$$Q_i = f(p_i) \quad (1.3)$$

Según (Arcos, 2019a), se define la ley de la demanda de la siguiente manera: manteniéndose todas las demás variables constantes (ceteris paribus), la cantidad demandada de un bien disminuye cuando sube su precio y viceversa. Esta afirmación es cierta menos en las siguientes excepciones:

- Demanda especulativa: son variaciones en el precio de un bien debido a la variación del precio de un bien relacionado. Por ejemplo, los terrenos que se revalorizan cuando se ha hecho una inversión atractiva en terrenos colindantes.
- Demanda esnob: el término esnob hace referencia al comportamiento de aquellas personas que intentan imitar a aquellas que consideran superiores a ellos. Un ejemplo de esto son las marcas de ropa de lujo.
- Bienes Giffen o inferiores: bienes inferiores cuyo consumo disminuye con el aumento de la renta, como son las marcas blancas.

Se pueden distinguir dos tipos de desplazamientos de la curva de demanda:

- Desplazamiento en la curva de demanda: debido una variación del precio. Varía el precio y todas las demás variables se mantienen constantes.

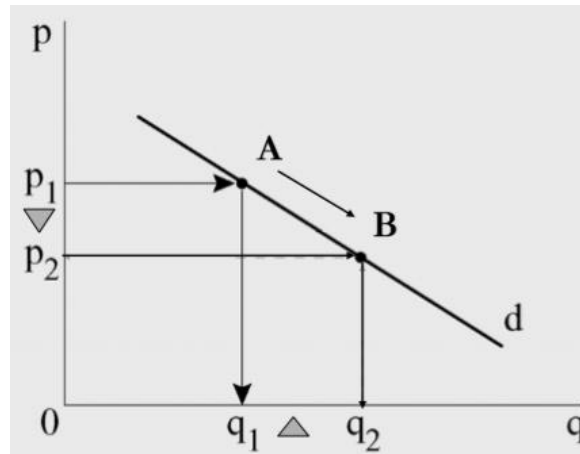


Figura 1-1: Desplazamientos en la curva de demanda (Hortalà i Arau, 2009).

- Desplazamiento de la curva de demanda: debido a variaciones de otros parámetros. Varía algún parámetro de los que antes se consideraban constantes.

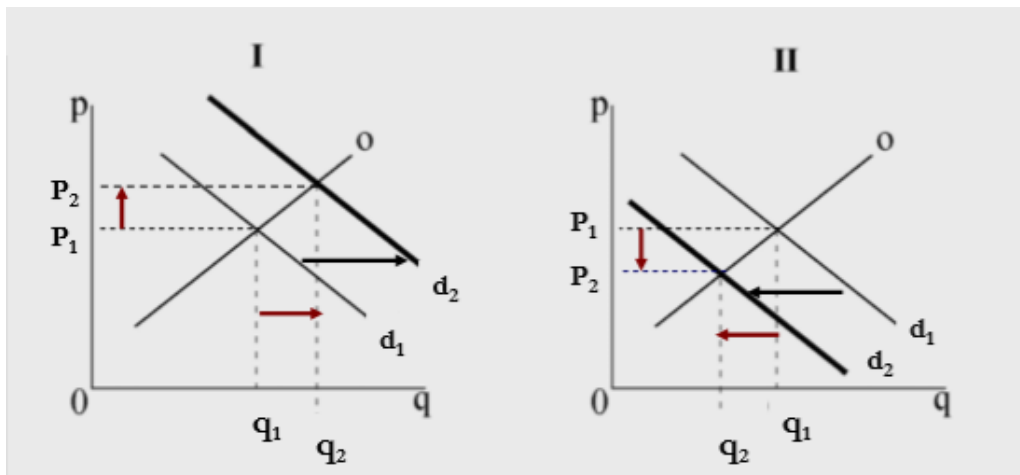


Figura 1-2: Desplazamientos de la curva de demanda (Hortalà i Arau, 2009).

Bajo la idea de la variación de la demanda de un bien con respecto a la variación de su precio nace el concepto de elasticidad de la demanda. En (Arcos, 2019a) se expone la elasticidad de la demanda como la variación porcentual en la cantidad demandada del bien X ante un cambio porcentual en la variable exógena (precio, renta). A continuación, se desarrollan las variaciones de la demanda con respecto a su precio y posteriormente respecto a su renta.

1.1.1.1 Variaciones de la curva de demanda con respect al precio

$$\varepsilon_{Q^d, P} = \frac{dQ^d / Q^d}{dP / P} = \frac{dQ^d}{dP} \times \frac{P}{Q} = \frac{d(\log Q^d)}{d(\log P)} \quad (1.4)$$

La demanda de un bien es elástica o flexible con respecto al precio ($\varepsilon_{Q^d, P} > 1$) si la demanda del bien (Q) responde más que proporcionalmente a la variación del precio (P), en cambio, la demanda de un bien es inelástica o rígida con respecto al precio ($\varepsilon_{Q^d, P} < 1$) si la demanda del bien responde (Q) menos que proporcionalmente a la variación del precio (P). Los determinantes de la elasticidad de la demanda con respecto al precio son cinco:

- Disponibilidad de sustitutos cercanos: cuantos más sustitutos tenga un producto, mayor será

su elasticidad, debido a que al consumidor ante una variación de precio le será más sencillo sustituirlo.

- Participación en el presupuesto de gasto del consumidor: si el producto supone un pequeño porcentaje en el presupuesto de gasto del consumidor, su demanda será inelástica, ya que, ante variaciones porcentuales de su precio, el consumidor seguirá comprándolo (por ejemplo: el azúcar). Si el producto supone un gran porcentaje en el presupuesto de gasto del consumidor, su demanda será muy elástica (por ejemplo: un coche).
- Como se define el bien: cuanto mayor sea la definición del bien, más rígida será su elasticidad. Por ejemplo: el producto alimenticio en sentido amplio no es un bien que se pueda sustituir, sin embargo, el pan de barra, que es también un alimento, si se puede sustituir por un pan de molde, y por tanto su elasticidad será mayor.
- Bienes de lujo frente a bienes necesarios: aquellos bienes que consideramos de lujo (por ejemplo: un reloj de miles de euros), tienen una elasticidad muy elevada, ya que una variación en su precio provocaría un cambio considerable en su demanda. Aquellos bienes que consideramos necesarios (por ejemplo: el agua), tienen una elasticidad muy rígida, ya que, aunque su precio varíe, su demanda se mantendría casi estable.
- El periodo de tiempo considerado: a mayor horizonte temporal, mayor se vuelve la elasticidad de un bien, bien sea porque los consumidores tienen más posibilidades de ajustar sus hábitos de consumo, bien sea porque cuanto más tiempo pase, más fácil será encontrarle un sustitutivo.

Conociendo lo anterior, se realiza una clasificación de las curvas de demanda según su elasticidad respecto al precio:

- $e = 0$: Demanda perfectamente inelástica en un punto o en un intervalo (curva horizontal).
- $e < 1$: Demanda inelástica en un punto o en un intervalo.
- $e = 1$: Demanda de elasticidad unitaria en un punto o en un intervalo.
- $e > 1$: Demanda elástica en un punto o en un intervalo.
- $e = \infty$: Demanda perfectamente elástica en un punto o en un intervalo.

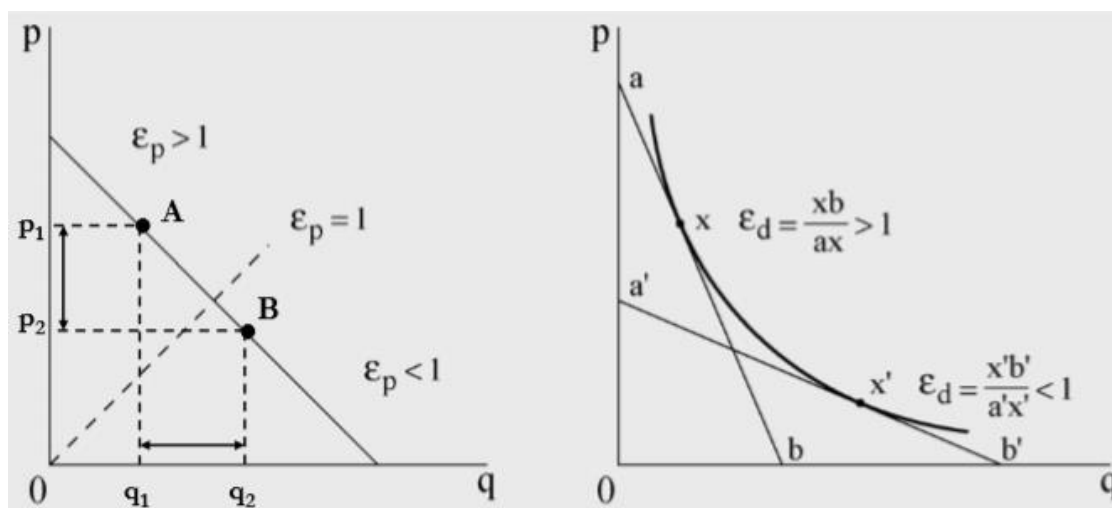


Figura 1-3: Elasticidad cantidad precio en la curva de demanda (Hortalà i Arau, 2009).

Otra forma de ver la variación de la demanda de un bien que ofrece (Arcos, 2019a) en sus estudios es con respecto a la elasticidad de dicho bien. Este ingreso de los productores o gasto de los consumidores es usado para calcular el punto de ingreso máximo. En ese punto, aunque el precio del bien varíe, el gasto de los consumidores no lo hace.

$$I = pQ(p) \quad (1.5)$$

Con el objetivo de obtener el punto de máximo ingreso, derivamos la función de ingreso, la igualamos a cero y se obtiene la siguiente expresión dependiente de la elasticidad:

$$\frac{dI}{dP} = \frac{d(PQ^d)}{dP} = Q^d + P \times \frac{dQ^d}{dP} = \frac{Q^d}{Q^d} \left(Q^d + P \times \frac{dQ^d}{dP} \right) = Q^d \left(1 + \frac{P}{Q^d} \times \frac{dQ^d}{dP} \right) = Q^d (1 - e_{Q^d, P}) \quad (1.6)$$

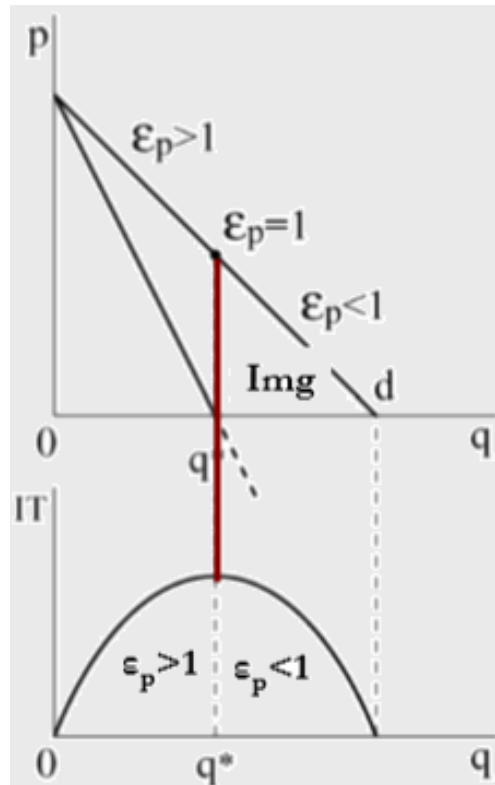


Figura 1-4: Curva elasticidad-ingreso de la demanda (Hortalà i Arau, 2009).

Con la ecuación (1.6) se llega a la curva situada abajo en la Figura 1-4. Se pueden diferenciar los siguientes casos

- Si $|\varepsilon| < 1$ se cumple que $\frac{dI}{dP} > 0$, es decir, que en los puntos de inelasticidad de la demanda, si el precio aumenta, el gasto del consumidor aumenta y si el precio disminuye, el gasto del consumidor también disminuye. Estamos en la zona situada a la derecha en la Figura 1-4.
- Si $|\varepsilon| > 1$ se cumple que $\frac{dI}{dP} < 0$, es decir, que en los puntos de elasticidad de la demanda, si el precio aumenta, el gasto del consumidor disminuye y si el precio disminuye, el gasto del consumidor aumenta. Estamos en la zona situada a la izquierda en la Figura 1-4.
- Si $|\varepsilon| = 1$ se cumple que $\frac{dI}{dP} = 0$, es decir, que en los puntos de elasticidad unitaria de la demanda, ante variaciones del precio, el gasto del consumidor no varía. Es el punto de máximo ingreso en la Figura 1-4.

1.1.1.2 Variaciones de la curva de la demanda con respecto a la renta

$$\varepsilon_{Q^d, P} = \frac{dQ^d / Q^d}{dP / P} = \frac{dQ^d}{dP} \times \frac{P}{Q} = \frac{d(\log Q^d)}{d(\log P)} \quad (1.7)$$

(Gómez-Puig, 2006, pp. 70–71) define la demanda de un bien como elástica o flexible con respecto a la renta ($\varepsilon_{Q^d, R} > 1$) si la demanda del bien (Q) responde más que proporcionalmente a la variación de la renta (R).

La demanda de un bien se define como inelástica o rígida con respecto a la renta ($\varepsilon_{Q^d, R} < 1$) si la demanda del bien responde (Q) menos que proporcionalmente a la variación de la renta (R).

Según el comportamiento de la elasticidad de la demanda respecto de la renta se pueden hacer la siguiente clasificación de los bienes:

- Giffen o Inferiores ($\varepsilon_{Q^d, R} < 0$): son aquellos cuya demanda disminuye al aumentar la renta disponible, y por tanto su elasticidad es negativa. Ejemplos de estos son las marcas blancas y el transporte público.
- Normales ($\varepsilon_{Q^d, R} > 0$): son aquellos los cuales, si la renta de los demandantes aumenta, su demanda también lo hace. Se pueden diferenciar:
 - Bienes de primera necesidad ($1 > \varepsilon_{Q^d, R} > 0$): son aquellos cuya demanda aumenta en el mismo orden de magnitud que la renta de los demandantes, es decir, una gran variación en la renta de los demandantes apenas se reflejaría en su demanda. Ejemplos de estos son los alimentos.
 - De lujo ($\varepsilon_{Q^d, R} > 1$): son aquellos cuya demanda aumenta en mayor medida que la de los bienes normales al aumentar la renta de los demandantes, y por tanto tienen una elasticidad positiva muy grande. Ejemplos de estos son las marcas de lujo, las segundas residencias o las joyas

Para entender estos conceptos de una forma más geométrica, Se introduce la curva de Engel representada en la Figura 1-5. La pendiente de esta curva depende de la naturaleza del bien, siendo creciente para un bien normal y decreciente para un bien inferior.

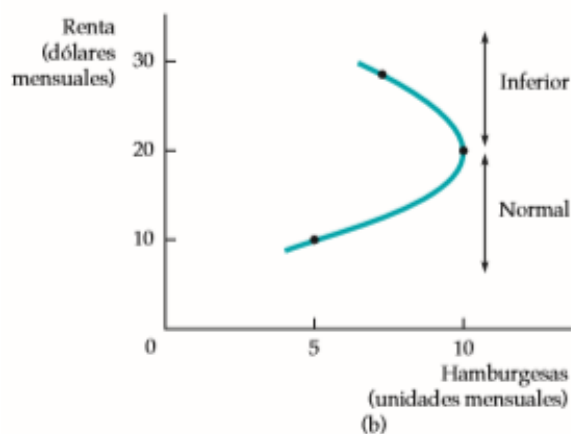


Figura 1-5: Curva de Engel. Imagen extraída de (Pindyck & Rubinfeld, 2017).

1.1.2 La curva de la oferta

(Gómez-Puig, 2006) define la oferta en sentido económico como la cantidad de bienes y servicios que los oferentes están dispuestos a poner a la venta en el mercado a unos precios concretos, es decir, la oferta es la cantidad de un bien o servicio que las empresas están dispuestas a producir a cierto precio. (Arcos, 2019a) expone los siguientes factores como modificadores de la oferta:

- El precio del bien en cuestión: cuanto mayor sea el precio del bien en el mercado, mayor será la cantidad de éste que la empresa está dispuesta a ofrecer y viceversa.
- Los costes de producción: los cuales dependen de:
 - Los costes de los factores de producción: son los costes asociados a la fabricación del bien. A mayor coste de producción sin variación de los ingresos totales, el beneficio económico de la empresa sería menor, lo que implicaría que la empresa se plantee reducir su oferta para gastar menos.
 - La tecnología: cuanto más se investiga en una tecnología, más barata y accesible se vuelve. A menor coste de producción sin variación de los ingresos totales, el beneficio económico de la empresa sería mayor, lo que implicaría que la empresa se plantease aumentar su oferta para incrementar el beneficio.
- Los objetivos empresariales: las expectativas de crecimiento influyen en la decisión de producción de una empresa. Cuánto mayor sean dichas expectativas, mayor será la oferta de la empresa.
- Tipo de mercado: si se encuentra en competencia, monopolio, etc.

La oferta engloba todos los bienes y servicios descritos para la demanda, pero vistos desde el punto de vista de los oferentes.

La cantidad ofrecida de un bien se refiere al conjunto de las unidades ofrecidas en general y no a una única unidad:

$$Q_i^s(P_i) = \sum_{j=1}^n Q_{ij}^s(P_i) \quad (1.8)$$

En la curva de la oferta también se asume el supuesto *ceteris paribus*, así dicha curva solo relaciona la oferta con el precio.

$$Q_i^s = f(p_i) \quad (1.9)$$

Hay dos formas de moverse en la curva de oferta:

- Hacia afuera: mayor cantidad ofrecida para un mismo precio. Debido a una caída del precio de los insumos, una bajada del precio de los sustitutivos o un abaratamiento de la tecnología.
- Hacia dentro: menor cantidad ofrecida para un mismo precio. Debido a malas condiciones para producir, una política restrictiva por parte del gobierno o encarecimiento de la tecnología utilizada.

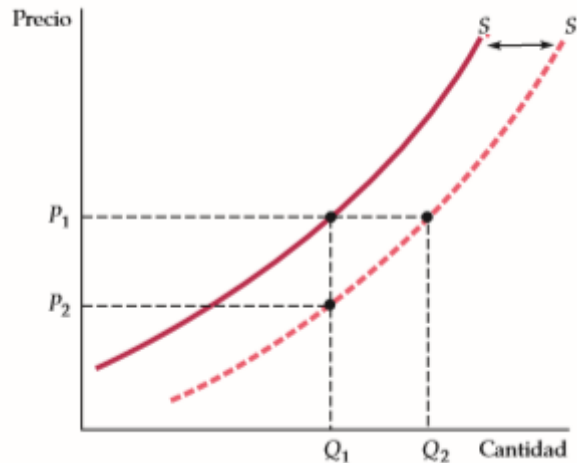


Figura 1-6: Desplazamiento de la curva de oferta (Pindyck & Rubinfeld, 2017).

En la curva de la oferta también se puede estudiar su elasticidad y se define como la variación de la cantidad ofrecida por los oferentes de un bien en relación con la variación en el precio de dicho bien.

$$\varepsilon_{Q^s, P} = \frac{dQ^s / Q^s}{dP / P} = \frac{dQ^s}{dP} \times \frac{P}{Q} = \frac{d(\log Q^s)}{d(\log P)} \quad (1.10)$$

En (Arcos, 2019a), análogamente a la elasticidad de la curva de demanda se dice que:

- La demanda de un bien es elástica o flexible con respecto al precio ($\varepsilon_{Q^s, P} > 1$) si la demanda del bien (Q) responde más que proporcionalmente a la variación del precio (P).
- La demanda de un bien es inelástica o rígida con respecto al precio ($\varepsilon_{Q^s, P} < 1$) si la demanda del bien responde (Q) menos que proporcionalmente a la variación del precio (P).

Los determinantes de la elasticidad oferta-precio son dos:

- Comportamiento de los costes de producción: a medida que sube el precio de un bien se incentiva el producir dicho bien por lo que la cantidad ofertada del mismo será mayor. Sin embargo, ese incremento de la producción va acompañado de un incremento de los costes de producción, los cuales, si aumentan de forma más que proporcional al aumento de producción, la curva de oferta del bien se tornará inelástica. Por tanto, si el incremento de los costes de producción aumenta lentamente, la curva del bien seguirá siendo elástica.
- Periodo considerado: en el momento en el que se aumenta el precio de un bien, los productores no están preparados para aumentar su escala de producción y satisfacer las necesidades de los demandantes, así pues, la cantidad ofrecida apenas variará. Pasado un periodo de tiempo, los oferentes se encuentran capacitados para aumentar su producción, incluso nuevas empresas pueden sumarse al mercado, es cuando, la oferta a largo plazo es más elástica.

En (Gómez-Puig, 2006) se clasifica las curvas de oferta atendiendo a su elasticidad respecto al precio:

- $e = 0$: Oferta perfectamente inelástica en un punto o en un intervalo (curva horizontal).
- $e < 1$: Oferta inelástica en un punto o en un intervalo.

- $e = 1$: Oferta de elasticidad unitaria en un punto o en un intervalo.
- $e > 1$: Oferta elástica en un punto o en un intervalo.
- $e = \infty$: Oferta perfectamente elástica en un punto o en un intervalo (curva vertical).

1.1.3 El precio de equilibrio. La ley de oferta y demanda

Para estudiar el precio de equilibrio se supondrá que las curvas de oferta y demanda son continuas y que nos encontramos en un mercado en competencia perfecta.

La ley de oferta y demanda según (Gómez-Puig, 2006) se define como el principio básico sobre el que se basa una economía de mercado. Este principio refleja la relación que existe entre la demanda de un producto y la cantidad ofrecida de ese producto teniendo en cuenta el precio al que se vende el producto

Después de haber estudiado por separado ambas curvas, la combinación de ambas permite conocer el precio y las cantidades que se intercambian de un bien.

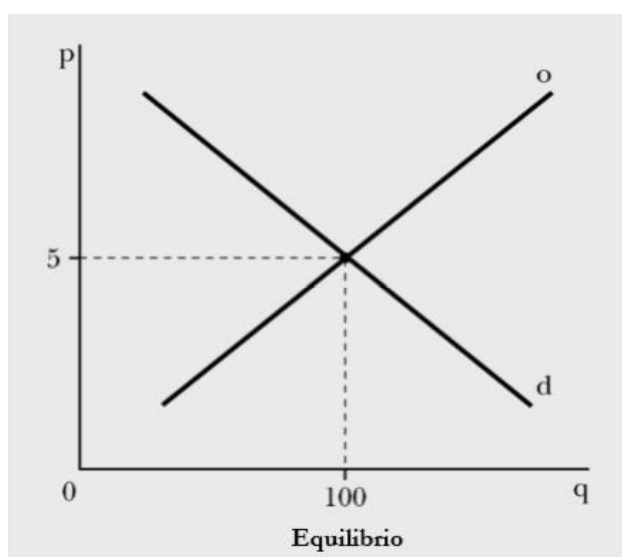


Figura 1-7: Ley de oferta y demanda (Hortalà i Arau, 2009).

Para el precio de equilibrio la cantidad del bien que los oferentes quieren vender y los compradores pueden y quieren comprar es la misma. Para la cantidad de equilibrio, la cantidad ofrecida y demanda coincide.

Si el precio no es el de equilibrio, según se infiere de (Gómez-Puig, 2006, pp. 18–21), el mercado se clasifica en los siguientes escenarios:

- Si el precio aumentase con respecto al precio de equilibrio se produciría un exceso de oferta. Habría más vendedores interesados en vender, pero a la vez menos compradores interesados en comprar. Para poder aumentar sus ventas, los oferentes deben bajar el precio hasta llegar al precio de equilibrio.
- Si el precio disminuyese con respecto al precio de equilibrio se produciría un exceso de demanda. Habría más demandantes interesados en comprar, pero la cantidad ofrecida por los vendedores sería insuficiente. Ante esta situación los oferentes subirían el precio hasta llegar al precio de equilibrio.

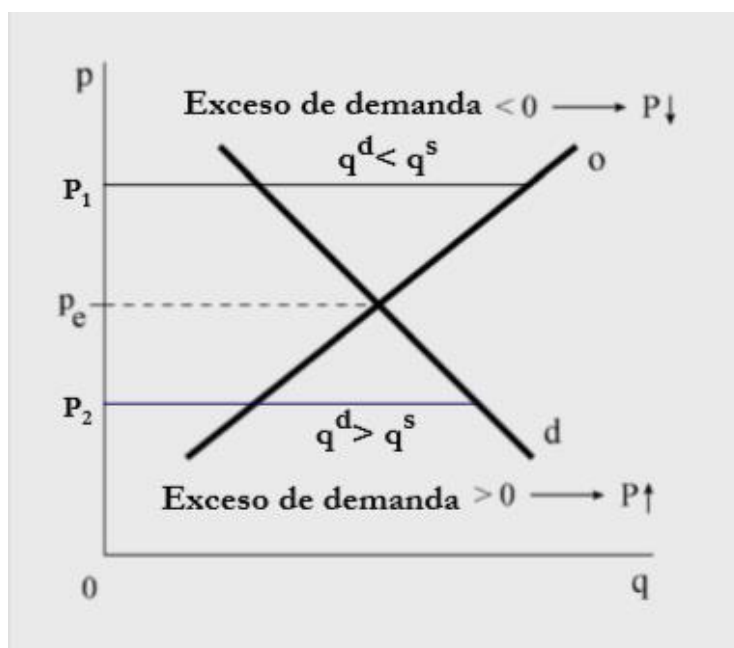


Figura 1-8: Exceso de oferta y demanda (Hortalà i Arau, 2009).

Cuando el mercado alcanza el equilibrio, el precio y la cantidad no se modificarán a menos que cambie alguno de los factores de la oferta o la demanda. Una variación en alguno de estos determinantes producirá cambios en el precio y la cantidad intercambiada de un bien. A continuación, se desarrolla una tabla explicativa con el efecto del cambio en la oferta y demanda.

Tabla 1-1: Efecto del cambio en la oferta y demanda (Arcos, 2019a).

Si la demanda	Y la oferta	Precio de equilibrio	Cantidad de equilibrio
Aumenta	No de modifica	Aumenta	Aumenta
Disminuye	No se modifica	Disminuye	Disminuye
No se modifica	Aumenta	Disminuye	Aumenta
No se modifica	Disminuye	Aumenta	Disminuye

1.2 Producción y costes

1.2.1 La función de producción

Según la defición de “producción” en términos de economía que encontramos en la RAE (Diccionario de la Real Academia Española (RAE), 2019) tiene dos significados: uno activo y otro pasivo. En sentido pasivo se define producción como los bienes económicos obtenidos a través de un determinado ciclo de elaboración. Por el contrario, el sentido activo se define como función de la cantidad de productos producidos, por ejemplo: si se fabrican carros, el número de carros producidos sería el significado de la producción en sentido activo.

Otro significado del término “producción” es en función de un conjunto de actos realizados por el hombre, esto es, se utiliza producción como sinónimo de actividad productiva. En este contexto, la producción en sentido activo sería todo lo que se hace para obtener lo que se produce, por ello producción forma parte de cualquier análisis económico.

La producción es la acción de proporcionar un valor añadido a unas materias primas o a otro producto, generando un producto nuevo. En el caso de un servicio, se definiría producción como la creación de un servicio nuevo, o la mejora de uno existente dotándolo de unas propiedades distintas a las de su antecesor.

La producción se puede clasificar en:

- Producción simple: en centros en los que se fabrica un solo tipo de producto.
- Producción compuesta: en centros en los que se fabrican varios tipos de producto. Este tipo de producción se puede clasificar a su vez en:
 - Producción acumulativa: al aumentar la producción de un bien, aumenta la producción de un bien ligado. Por ejemplo, una fábrica de zapatos y cordones para éstos.
 - Producción alternativa: al aumenta la producción de un bien, disminuye la producción del otro. Por ejemplo, una empresa que fabrique bolígrafos azules y negros.
- Producción paralela: en centros en los que existen varias líneas de producción independientes.

De (Arcos, 2019b) y (Gómez-Puig, 2006) se extrae la función de producción como la representación matemática de la cantidad total óptima a fabricar de un producto (Q) conociendo los factores de producción ($V_i \ i=1,\dots,n$) que posee la empresa. Los factores de producción se definen como los medios necesarios para la fabricación de un bien. La función de producción se define siempre por un tipo de tecnología (f) o también llamada productividad total de los factores (PTF).

$$Q = f(V_1, V_2, \dots, V_n) \quad (1.11)$$

Si asumimos como únicos factores de producción el número de empleados (L) y el stock de capital (K) y que el progreso tecnológico (A) actúa como factor multiplicativo, se obtiene la función de producción de Cobb Douglas.

$$Q = A \times K^\alpha \times L^\beta \quad (1.12)$$

Su representación gráfica es:

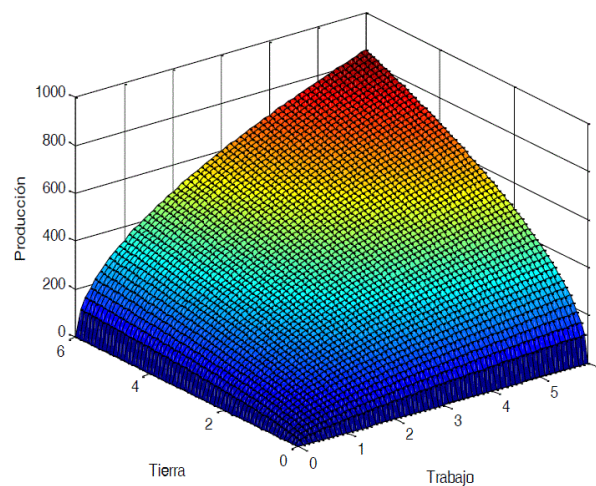


Figura 1-9: Función de Cobb-Douglas (Vargas Biesuz, 2014).

Los parámetros α y β son las elasticidades producto del trabajo y del capital respectivamente. La elasticidad mide la variación que sufre una variable cuando otra es alterada. Ambos parámetros determinan el grado de la función y el tipo de rendimiento de escala que presenta la función. Para entender que son estos rendimientos de escala primero se introduce el término de curvas isocuantas de una función.

1.2.2 Curvas isocuantas

Las curvas isocuantas son cortes paralelos a los planos de producción formados por el factor “a” y el factor “b” y perpendiculares al plano Q. Según (Vargas Biesuz, 2014) si los factores de producción, “a” y “b”, son el trabajo y el capital, se obtiene las curvas pertenecientes a la función de producción de Cobb-Douglas. Lo característico de dichas curvas es que con distinta composición de trabajo y capital dan como resultado el mismo nivel de producción para un producto fabricado.

Si lo representamos de forma matemática:

$$Q = f(K, L) = cte \quad (1.13)$$

Si lo representamos de forma gráfica:

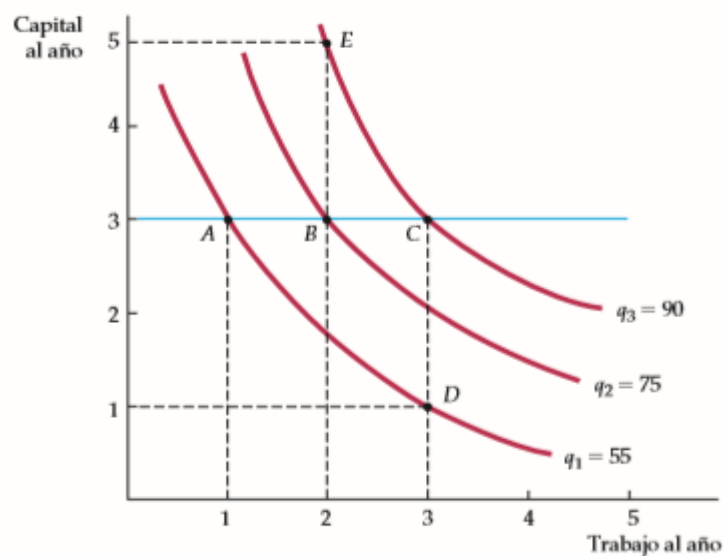


Figura 1-10: Representación curvas isocuantas (Pindyck & Rubinfeld, 2017).

Las curvas isocuantas presentan las siguientes características:

- No se cruzan o lo que es lo mismo, no se pueden cortar.
- Son convexas en el origen.
- Existen infinitas isocuantas.
- Las curvas más alejadas del origen se corresponden con niveles más altos de producción y viceversa.
- Tienen pendiente negativa, (desciende hacia la derecha).

1.2.3 Rendimientos de escala

Los rendimientos de escala explican cómo se comporta la producción ante una variación simultánea y proporcional de los factores productivos en el largo plazo. Se puede medir la elasticidad de estos rendimientos matemáticamente con la siguiente expresión según infiere de (Nicholson, 2008, Chapter 8):

$$\mu = \frac{\partial Q}{\partial K} \times \frac{K}{Q} + \frac{\partial Q}{\partial L} \times \frac{L}{Q} \quad (1.14)$$

Si Q es la expresión de la función de producción de Cobb-Douglas (1.12), se llega a la ecuación (1.15):

$$\mu = \alpha + \beta \quad (1.15)$$

En (Nicholson, 2008, Chapter 8) se definen los rendimientos de escala como:

- Rendimiento de escala constante cuando un aumento porcentual de ambos factores de producción se refleja en un aumento igual de proporción en la producción, entonces: $\mu = 1$.
- Rendimiento de escala creciente cuando un determinado aumento porcentual en todos los factores productivos se refleja en un aumento más que proporcional en la producción, entonces: $\mu > 1$.
- Rendimiento de escala decreciente cuando un determinado aumento porcentual en todos los factores productivos se refleja en un aumento menos que proporcional en la producción, entonces: $\mu < 1$.

Para hacerlo más sencillo, veamos el siguiente ejemplo:

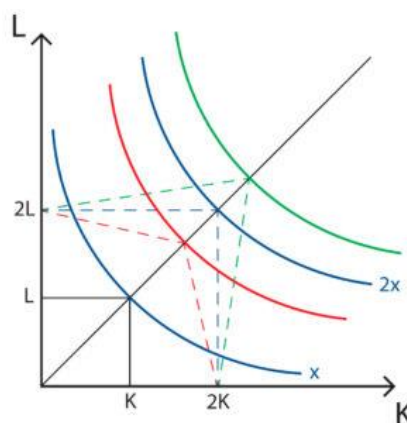


Figura 1-11: Rendimientos de escala en curvas isocuantas.

En la Figura 1-11 se halla la isocuenta x de color azul que refleja una cantidad x de fabricación del producto Q y a la cual se llega con una composición de número de trabajadores L y de stock de capital K . Si se decide hacer una ampliación de estos factores de producción pasando a usar el doble de ellos ($2L$ y $2K$), hay tres escenarios posibles:

- Que se produzca un rendimiento de escala constante y aumente el nivel x de producción de forma proporcional llegando a un nivel $2x$. Isocuanta azul.
- Que se produzca un rendimiento de escala creciente y aumente el nivel x de producción de forma más que proporcional llegando a un nivel mayor de $2x$. Isocuanta verde.
- Que se produzca un rendimiento de escala decreciente y aumente el nivel x de producción de forma menos que proporcional llegando a un nivel menor de $2x$. Isocuanta roja.

1.2.4 Costes de Producción

Los factores productivos que usan las empresas para la producción de bienes implican costes, los cuales se detraen de los ingresos para llegar al objetivo de cualquier negocio, obtener beneficios. Los costes se pueden clasificar según su naturaleza:

- Costes explícitos: implican un pago. Son fáciles de identificar.
- Costes implícitos o costes de oportunidad: hacen referencia al dinero que se deja de percibir por realizar ciertas acciones comerciales y no otras. Los costes implícitos más relevantes son; el salario del empresario, que es la remuneración que obtendría el empresario trabajando por cuenta ajena y sin riesgo, y el coste del capital invertido, que sería la rentabilidad que obtendría el empresario si invirtiese dicho capital en una actividad sin riesgo.

Por otra parte, en las finanzas de una empresa se distinguen en:

- Costes contables: formados por los costes explícitos. Son medidos por el valor histórico de los recursos.
- Costes económicos: formados por los costes explícitos más los costes implícitos. Todos los recursos son medidos por su coste de oportunidad.

Para analizar los costes de producción se usan siempre los costes económicos.

Los costes de una empresa crecen a medida que crece su nivel de producción: a mayor producción mayores son los costes asociados, pero en un mismo nivel de producción existen diversos costes de producción dependiendo de los factores productivos usados.

La función de costes relaciona los costes de producción de una empresa para cada nivel de producción y es la eficiencia económica la que estudia el mínimo de ellos.

De (Nicholson, 2008, Chapter 8) se infiere el siguiente modelo matemático:

$$\begin{aligned}
 \text{Max.} \quad & B^o(Q) = IT(Q) - CT(V_1, \dots, V_N) \\
 \text{Sa.} \quad & IT(Q) = P \times Q \\
 & Q = F(V_1, \dots, V_N) \\
 & CT = \sum_{i=1}^N p_i \times V_N
 \end{aligned} \tag{1.16}$$

Dependiendo de si estamos en el corto plazo o en el largo plazo, los costes de los factores productivos (p_i) son constantes o variables.

Este modelo se adapta teniendo solo en cuenta los factores de producción: stock utilizado de capital y número de trabajadores empleados (función de Cobb-Douglas). Quedaría de la siguiente forma:

$$CT = CT(Q) = CF + CV = v \times K + w \times L \tag{1.17}$$

Donde:

- Q es el nivel de producción.
- v es el precio por unidad de capital.
- K es la cantidad de capital usado.
- w es el salario percibido por cada trabajador.
- L es el número de empleados.

Al resolver el modelo (1.16) se obtiene la expresión de la ley de la igualdad de las productividades ponderadas, de la que se extrae la senda de la expansión:

$$\frac{dQ/dK}{v} = \frac{dQ/dL}{w} \quad (1.18)$$

De (Nicholson, 2008, Chapter 8) y la ecuación (1.18) se infiere que en el punto óptimo la productividad marginal de cada factor es proporcional a su precio.

A continuación, se expone de forma gráfica la senda de expansión a largo y corto plazo de una empresa:

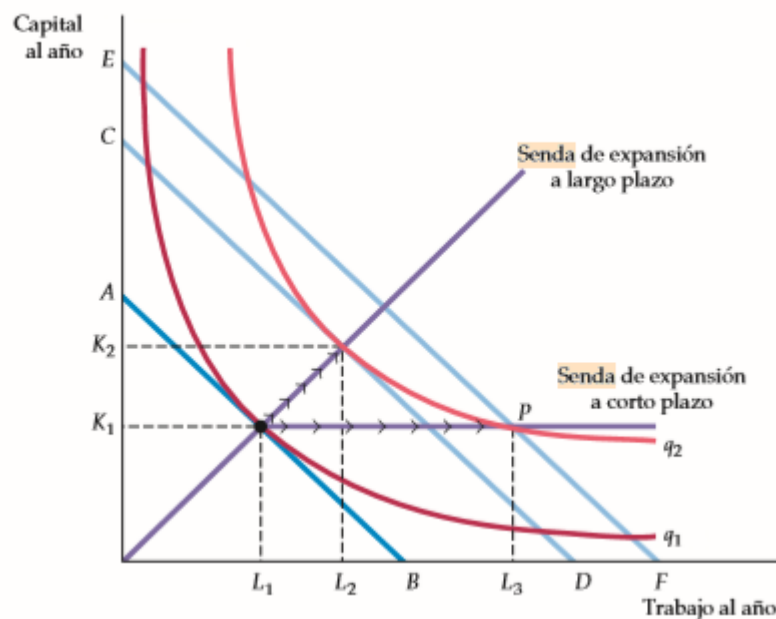


Figura 1-12: Sendas de expansión (Pindyck & Rubinfeld, 2017).

Una característica que une al largo y corto plazo es que ambos cumplen la ley de los rendimientos decrecientes. De dicha ley se infiere que, si sumamos una cierta cantidad de un factor variable a una cantidad fija de otro factor variable, el nivel de producción crece, pero a partir de un punto crecerá en menor medida que la cantidad invertida de factor variable.

1.2.4.1 Costes de Producción en el corto plazo

Según se infiere de (Nicholson, 2008, Chapter 8) el corto plazo es el periodo de tiempo en el que a las empresas les da tiempo de modificar su producción alterando aquellos factores que son susceptibles de cambio en un corto espacio de tiempo, por ejemplo, las materias primas. Estos factores reciben el nombre de factores variables. Los factores que no pueden modificarse en este periodo de tiempo son los llamados factores fijos y es normalmente el capital.

Una característica del corto plazo es que no se puede incorporar ninguna nueva empresa al mercado.

La representación gráfica de los costes en el corto plazo es la siguiente:

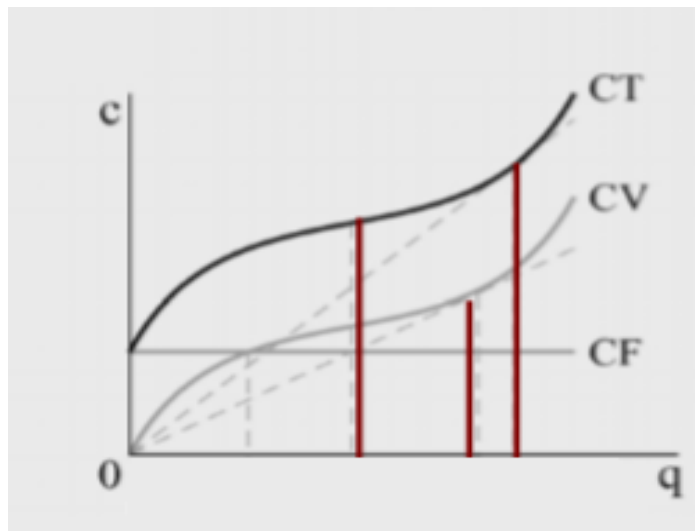


Figura 1-13: Costes corto plazo I (Hortalà i Arau, 2009).

Es importante señalar algunas características de la Figura 1-13:

- Los costes fijos son constantes en todo su tramo al no depender del nivel de producción.
- Los costes variables parten desde el origen porque si no se produce ninguna unidad, no se generan costes variables.
- Los costes totales son la suma de los costes fijos y los costes variables.
- En el tramo inicial (I) es un tramo de rendimientos marginales crecientes, donde aumentos del factor variable producen un aumento más que proporcional de la producción.
- El tramo intermedio (II) es un tramo de rendimientos marginales constantes. Este tramo muy corto, casi un punto en la función continua. Es el punto de inflexión de la curva.
- El tramo final (III) es un tramo de rendimientos marginales decrecientes, donde aumentos del factor variable producen un aumento menos que proporcional de la producción.

Además de los costes asociados a cada nivel de producción, a través de los costes medios se puede calcular el promedio de producir cada unidad de producto. También es posible calcular cuanto cuesta producir una unidad más de producto usando los costes marginales.

Los costes medios se calculan como:

- Coste total medio (CTMe):

$$CTMe = \frac{CT}{Q} \quad (1.19)$$

- Coste variable medio (CVMe):

$$CVMe = \frac{CV}{Q} \quad (1.20)$$

- Coste fijo medio (CFMe):

$$CFMe = \frac{CF}{Q} \quad (1.21)$$

- El coste marginal (CM) se calcula como:

$$CM = \frac{\Delta CT}{\Delta Q} \quad (1.22)$$

La representación gráfica es la siguiente:

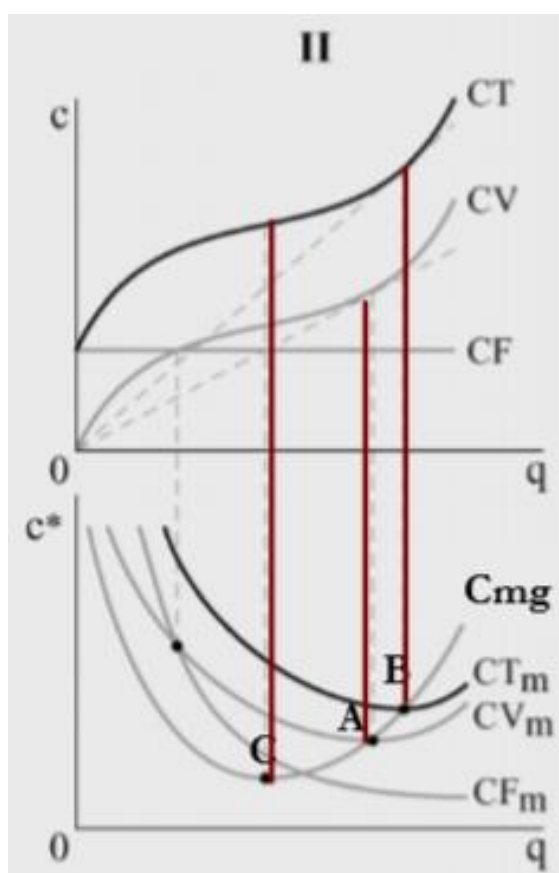


Figura 1-14: Costes corto plazo II (Hortalà i Arau, 2009)

1.2.4.2 Costes de Producción en el largo plazo

En (Nicholson, 2008, Chapter 8) en este caso, no se consideran los costes fijos. Es el periodo de tiempo en el que se pueden ajustar todos los factores de producción, incluso el capital, para determinar el nivel de producción.

Hay dos formas de entender la curva de costes medios a largo plazo (CM_{LTP}):

- Como la composición de tramos entre cortes de dos curvas de costes medios a corto plazo con la restricción de que en ese tramo para ese nivel de producción los costes medios sean los más pequeños.
- Como la envolvente de todos los puntos de máxima eficiencia de las curvas de costes medios a corto plazo.

Dependiendo de la escala de producción que se elija, en las empresas cada nivel de producción tendrá asociado unas curvas de costes a corto plazo. Cuando el coste medio disminuye con cada inversión adicional, nos encontramos con economías de escala creciente, en cambio, si el coste medio aumenta con cada inversión adicional nos encontramos con economías de escala decrecientes, por tanto, el punto de máxima eficiencia se encuentra cuando acaba un escenario y comienza el otro.

Cabe destacar que existe un punto de máxima eficiencia para cada curva de costes medios, pero solo un punto óptimo de producción correspondiente a una única curva de costes medios.

La curva de costes a largo plazo (CT_{LP}) supone un enfoque alternativo a la curva de costes medios a largo plazo para analizar la misma información. Se construye como la envolvente de los puntos de máxima eficiencia de todas las curvas de costes totales a largo plazo. Un aspecto a resaltar, es que esta curva nace en el origen al no tener unos costes fijos que la desplacen en el eje de ordenadas.

Los costes marginales a largo plazo (CM_{LP}) solo tienen sentido para cada nivel de producción. Esta curva se forma igual que su homóloga en el corto plazo y pasa por el punto óptimo de la función. Además, las variaciones del coste marginal a largo plazo son más suaves que las que se producen en el corto plazo debido a que los rendimientos de escala decrecientes son menos importantes pues compensar con factores tanto fijos como variables.

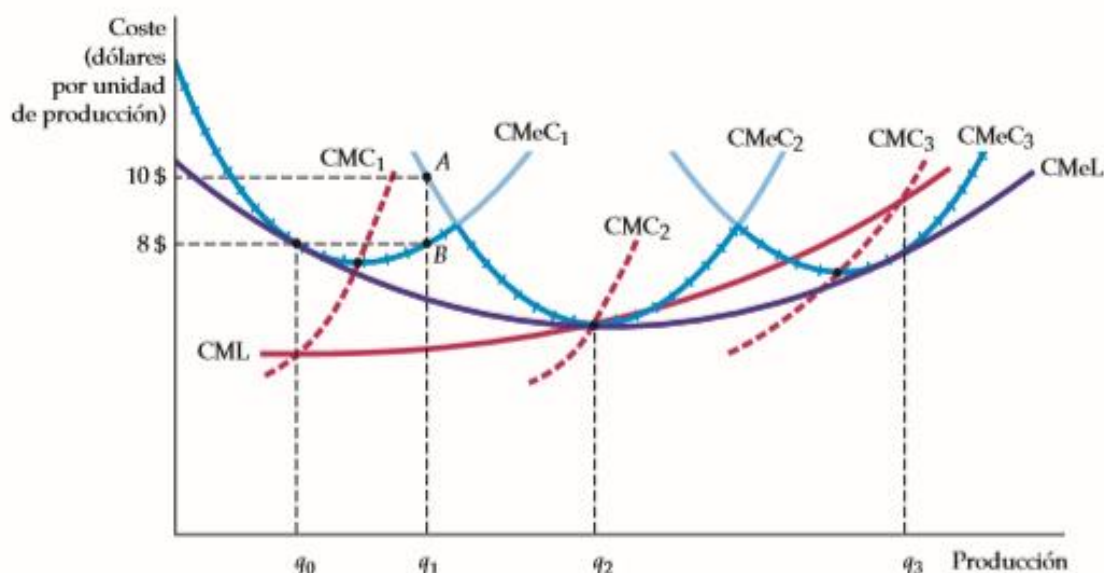


Figura 1-15: Curva de costes largo plazo (Pindyck & Rubinfeld, 2017).

2 PREVISIÓN DE LA DEMANDA

Este capítulo se centra en el fundamento teórico del proyecto, o lo que es lo mismo, en los métodos de previsión de la demanda.

En el capítulo anterior ya se desarrolló el concepto de demanda, a continuación, se estudiarán los métodos de previsión de la demanda, su clasificación y otros métodos existentes.

2.1 Introducción

En (Onieva Giménez, Escudero Santana, Cortés Achedad, Muñuzuri Sanz, & Guadix Martín, 2017) se define la previsión de la demanda como estimaciones sobre la cantidad que va a ser demandada de un producto o productos en un periodo de tiempo determinado utilizando datos históricos y otras informaciones.

Una previsión acertada de la demanda proporciona información muy valiosa a las empresas, con la que se pueden tomar decisiones, como:

- Determinar el precio de su producto, teniendo en cuenta los costes de producción y el precio de sus competidores.
- Elegir estrategias de crecimiento empresarial y potencial del mercado.
- Optimizar el inventario y el stock de seguridad aumentando los índices de rotación y disminuyendo sus costes asociados.
- Conocer los picos de demanda y actuar en consecuencia proporcionando los factores productivos necesarios.
- Tener una política de compras más ajustada a la demanda de la empresa. Éstas pueden presupuestar con mayor precisión para pagar a los proveedores y otros costes operativos.
- Ajustar el tamaño de los lotes.

Para que estos métodos sean efectivos, deben cumplir los siguientes requisitos:

- Deben necesitar poca información.
- Ser eficientes, es decir, poco costosos de implantar y mantener pero que proporcionen una información fiable.
- Se deben adaptar a cambios imprevistos.

En (Corres, Esteban, García, & Zárate, 2009, p. 22) se presenta el objetivo como encontrar un buen método de pronóstico para preparar la organización de la empresa en el sentido financiero, humano, técnico y así soportar operaciones futuras: producción, estimación de compras, necesidades de almacenaje, etc.

Los métodos que se van a exponer son métodos de previsión, no necesariamente de la demanda, aunque se van a enfocar en este sentido.

2.2 Clasificación de los métodos

Según (García García & Poler Escoto, 2018) las proyecciones de la demanda se pueden englobar en dos grandes grupos: proyecciones cualitativas y proyecciones cuantitativas. Las técnicas cualitativas son de juicio o subjetivas y principalmente están basadas en opiniones. Las técnicas cuantitativas son fórmulas o modelos matemáticos y se basan en la idea de que conociendo el historial de la demanda se puede predecir ésta en un plazo de tiempo futuro con un cierto grado de error.

Las proyecciones cuantitativas se dividen a su vez en tres grandes grupos:

- Análisis de series de tiempo, las cuales serán el objeto central de estudio para la realización del proyecto en Python.
- Proyecciones causales, las cuales predicen las demandas futuras a través del uso de progresiones lineales.
- Los modelos de simulación, los cuales permiten incorporar una serie de supuestos a quien realiza la proyección.

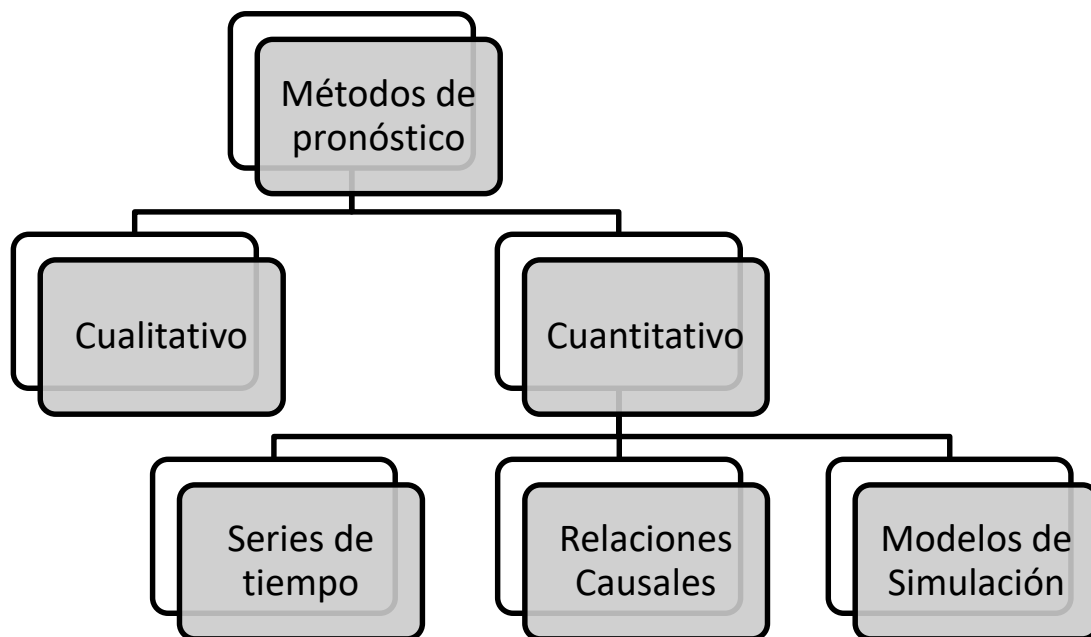


Figura 2-1: Subgrupos de métodos de pronósticos.

A continuación, se presentan en una tabla cuales son los métodos más comunes para cada técnica de proyección introducida.

Tabla 2-1: Métodos más comunes de proyección de demanda.

Técnicas de Proyección	Métodos más comunes
Cualitativas	Método Delphi
	Encuesta de mercado de consumo
	Consulta a las fuerzas de venta
	Jurado de opinión ejecutiva
	Análisis de analogías históricas
Cuantitativas. Análisis de series de tiempo	Media móvil
	Ajuste exponencial
	Media móvil doble
	Ajuste exponencial doble
	Método de Holt
	Método de Winter
	Métodos ARIMA
Cuantitativas. Causales	Análisis de regresión
	Modelos econométricos
	Modelo de insumo-producto
Modelos de simulación	Métodos basados en el computador

2.3 Métodos cualitativos

Son una estimación subjetiva o predicción, es decir, están basados en juicios humanos y por tanto son subjetivos. Estos métodos son útiles cuando la información histórica es escasa o no está disponible. Se van a introducir los más conocidos.

2.3.1 Método Delphi

El método Delphi según (Astigarraga, 2003) se define como un proceso donde convergen una serie de personas, consideradas expertas en la materia, ante una temática o problemática común. Es un proceso iterativo y estructurado que tiene como objetivo alcanzar un consenso.

Los pasos a seguir para completar una vuelta del método son: Primero se definen los objetivos de estudio, una vez aislados, se eligen los criterios para la conformación del panel de expertos. De forma paralela se diseña el cuestionario y se valida el pre-test que les será entregados a los expertos. Los expertos rellenaran los cuestionarios y se procederá al análisis de los datos. Si se obtiene la estabilidad deseada se realizará el informe final y le será remitido a los expertos. De lo contrario, si no se obtiene la estabilidad deseada, se volverán a enviar los cuestionarios a los expertos para que los realicen y así disminuir la dispersión.

Las ventajas de este método son:

- Al poder realizarse de manera anónima se evita así que unos expertos tengan mayor protagonismo sobre otros participantes.
- El consenso de la opinión de varios expertos permite obtener una información objetiva.
- Es posible obtener la información sesgada según la opinión de los expertos, aunque el proceso se haga de forma anónima.

Las desventajas son:

- El coste de involucrar a los expertos, generar la documentación, comunicaciones, etc.
- El método requiere de expertos según la temática a abordar, los cuales deben tener disponibilidad.
- Al involucrar diferentes actores y escenarios, el tiempo hasta llegar a un consenso se puede prolongar más de un año.
- El cuestionario es vital para continuar con el método. Si se realiza de forma indeseada, se llegarán a unas conclusiones erróneas que facilitarán un nuevo cuestionario mal realizado.

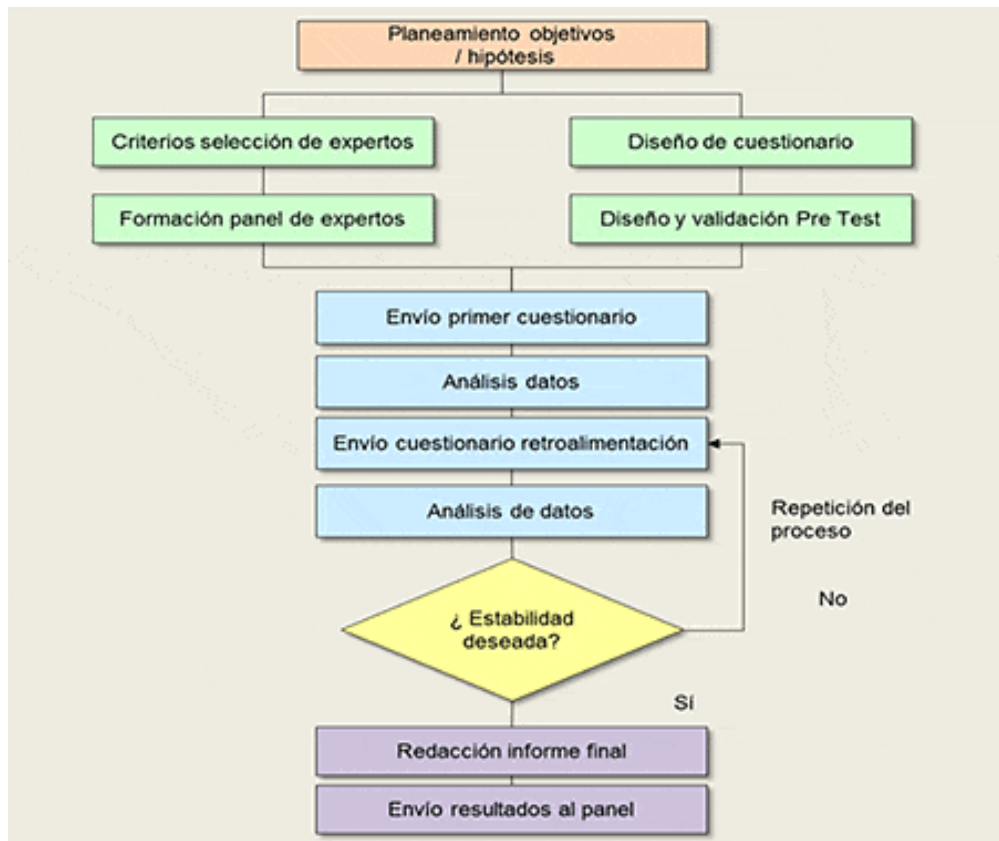


Figura 2-2: Proceso del método de Delphi (Gestión de Operaciones Tutoriales, 2015).

2.3.2 Encuesta de Mercado de consumo

Según (Montero, 2017) se puede obtener la percepción u opinión de personas sobre un producto y todo lo referido a éste mediante encuestas. Con el fin de obtener la información de dichas encuestas, se necesita una muestra bastante amplia de personas que permite tener una respuesta contrastada.

Los pasos a seguir para realizar una encuesta de mercado de consumo son: Primero se planifican las preguntas de la encuesta pensando en que se busca con su realización, quienes las responderán y el canal por el que serán transmitidas. La encuesta debería tener varios tipos de preguntas con respuestas abiertas, cerradas, de elección única o múltiple, etc. Al aplicar la encuesta hay que informar al encuestado del proceso en el que está participando y con que objetivo, incluso en algunos casos hacerlo conocedor de los resultados obtenidos. Finalmente, los resultados se calculan y analizan.

Las ventajas del método son:

- Su canal de transmisión es muy amplio, ya sea por correo, fax, teléfono, etc.
- No es necesario el uso de expertos para la realización de la encuesta.
- El entrevistador no tiene que estar pendiente del entrevistado, simplemente le facilita la encuesta y el entrevistado se la devuelve cuando la finalice.
- Su análisis estadístico es más sencillo y el método en sí es más barato que en comparación con el método Delphi.

Las desventajas del método son:

- El encuestado se limita a responder según las respuestas estipuladas sin dar su opinión real. Esta característica limita evidenciar las opiniones del entrevistado.
- El diseño de la encuesta es vital por lo comentado anteriormente.

2.3.3 Consulta a las fuerzas de ventas

Del artículo (Betancourt, 2015a) se extrae que esta técnica se basa en contactar con los vendedores y obtener toda la información posible para la estimación de la demanda futura.

Las ventajas del método son:

- Permite ajustar la meta de ventas comparando las respuestas de cada vendedor.
- Es un método incluyente al tener en cuenta a los vendedores del producto.
- Los pronósticos son agrupables por zonas teniendo así el pronóstico de un territorio mayor.

Las desventajas del método son:

- Este método delega su fiabilidad al pronóstico del vendedor, por lo que es necesario contrastar los datos obtenidos con otro método como el método Delphi o las encuestas de mercado de consumo.
- Si el propio fabricante es el vendedor, no es posible realizar este método.

2.3.4 Jurado de opinión ejecutiva

De (Betancourt, 2015b) se infiere que es una de las técnicas más usadas cuando se quiere lanzar un nuevo producto o cuando se debe tomar una decisión en un corto periodo de tiempo. Se basa en confiar en los conocimientos y experiencia de los altos cargos de la empresa para realizar una previsión de la demanda.

Las ventajas del método son:

- Permite una respuesta rápida ante variaciones repentinas de la demanda o una situación de urgencia en el mercado.
- Es un método poco costoso debido a que los recursos empleados ya pertenecen a la empresa.

Las desventajas del método son:

- No tienen tanto conocimiento sobre este campo como los propios vendedores.
- Ante personas del mismo nivel de mando con diferentes pensamientos es difícil elegir un camino.

2.3.5 Análisis de analogías históricas

Cuando se quiere pronosticar la demanda de un producto nuevo, la situación ideal sería poder usar como modelo un producto homólogo ya existente. Este método se basa en suponer que se puede conocer el pronóstico futuro de la demanda a partir de su comportamiento histórico y del ciclo de vida de éste.

El ciclo de vida de un producto se define como el periodo que abarca la creación de un producto nuevo hasta su declive, así, si se conoce el punto en el que se encuentra un producto en su ciclo de vida se puede crear una visión premeditada de cuál será la demanda de éste.

Las ventajas son:

- No son necesarios históricos del producto.
- Se pueden cotejar los históricos de varios productos análogos para obtener una información más ajustada.

Las desventajas son:

- Es necesario que el producto sea similar a uno ya existente y que se tengan datos históricos de éste.
- No tiene en cuenta agentes externos que provocan cambios en la demanda, como cambios en el gobierno, nuevos impuestos, tendencias nuevas entre los consumidores, etc.

2.4 Métodos cuantitativos

Según (Onieva Giménez et al., 2017) se entienden como pronósticos cuantitativos aquellos donde se utilizan modelos matemáticos para conocer la previsión futura de la demanda de un bien o servicio.

Para usar este tipo de métodos se debe cumplir tres condiciones previas:

- Debe haber un historial de la demanda lo suficientemente grande.
- Los datos deben seguir un comportamiento asociado a un patrón.
- Se debe confiar en que los factores que afectaron a la demanda en el pasado son cíclicos y no se añadirá ninguno nuevo.

2.4.1 Series temporales

En (Corres et al., 2009) se define una serie temporal es una sucesión de observaciones o secuencia de datos equidistantes en el tiempo, medidos en determinados momentos y ordenados cronológicamente. Dicha sucesión muestral en nuestro caso será la demanda.

En la mayoría de los casos, la sucesión de observaciones o secuencias puede dividirse en seis componentes: elemento estacional, tendencia, demanda promedio, variaciones aleatorias, elementos cíclicos y autocorrelación.

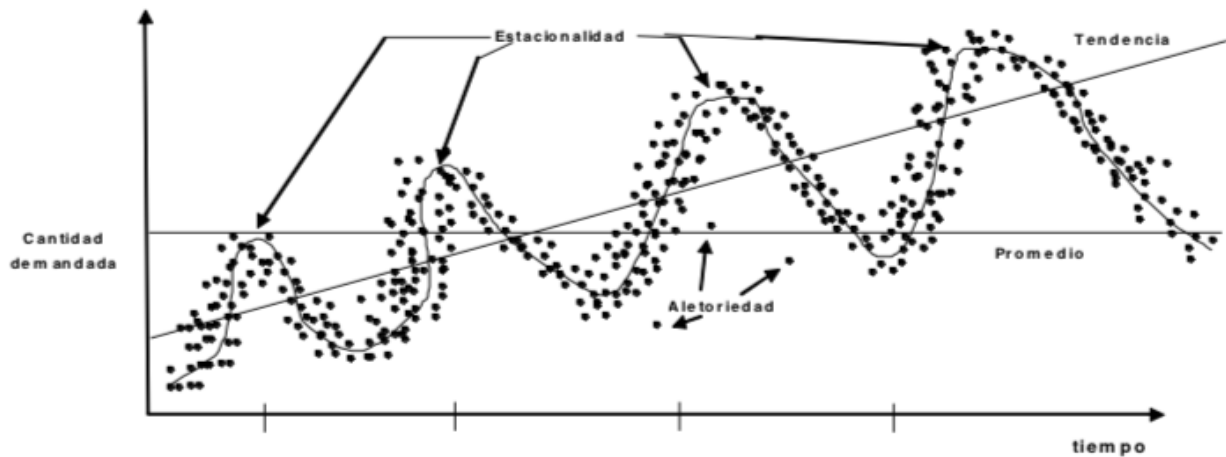


Figura 2-3: Elementos de la demanda (Corres et al., 2009).

Los factores cíclicos son los más difícil de predecir o bien porque el espacio de tiempo hasta que se repita se desconoce o bien porque la causa del factor cíclico no se puede considerar.

La autocorrelación de la demanda denota que un evento es persistente, es decir, que vuelve a ocurrir a lo largo del tiempo. Lo contrario ocurre en las variaciones aleatorias, que se producen por hechos al azar. En estadística, cuando se sustraen de la demanda todas las causas conocidas que la provocan, lo que queda es la porción inexplicada de la misma.

Las líneas de tendencia son el punto de partida para realizar una proyección. Éstas se ajustan a los efectos estacionales, el ciclo y cualquier otro evento que pueda influir en ella.

Las previsiones tienen las siguientes características:

- Los pronósticos a largo plazo son siempre menos precisos que a corto plazo.
- Las previsiones agregadas suelen ser más precisas que las desagregadas.
- Las proyecciones son mayormente erróneas, por tanto, se debe incluir un análisis del error obtenido.

En (Onieva Giménez et al., 2017) se exponen las estructuras más comunes de las series de datos: la demanda nivelada, la demanda con tendencia y la demanda estacional.

2.4.1.1 Demanda nivelada

Una demanda nivelada se corresponde a una serie temporal con ligeras variaciones sobre un valor (D) que se mantiene constante. Dicha variación se expresa mediante una componente aleatoria (ε_t).

Para verlo de manera gráfica, usamos el siguiente modelo de demanda nivelada:

$$D_t = D + \varepsilon_t$$

$$D = 100 \text{ uds}$$

$$\varepsilon \sim N(0, 50)$$

(1.23)

Donde la demanda va a estar nivelada a 100 unidades.

Demanda nivelada	
Semana t	Demanda Dt
1	123
2	91
3	115
4	83
5	110
6	77
7	95
8	89
9	109
10	81
11	124
12	86
13	76
14	94
15	110
16	107
17	87
18	82
19	75
20	118



Figura 2-4: Demanda nivelada.

En la Figura 2-4 se ha extraído una gráfica de unos valores históricos de demanda obtenidos a través de la observación y distribuidos en una escala temporal constante, en este caso semanas. Para este tipo de demanda se pueden aplicar dos métodos: las medias móviles y el ajuste exponencial.

2.4.1.2 Demanda con tendencia

Una demanda presenta tendencia cuando crece o decrece con el tiempo. Para generar una demanda con tendencia se usa una variante del modelo matemático (1.23). El modelo consta de un valor constante de demanda (D), un valor constante de pendiente que proporciona tendencia (p) proporcional a un valor temporal (τ) y una componente aleatoria (ε_t). Un ejemplo de dicho modelo sería:

$$\begin{aligned}
 D_t &= D + p \times \tau + \varepsilon_t \\
 D &= 50 \text{ unidades} \\
 p &= 4 \\
 \varepsilon &\sim N(0,30)
 \end{aligned}
 \tag{1.24}$$

Se obtiene:

Demanda con tendencia	
Semana t	Demanda Dt
1	57
2	54
3	54
4	71
5	80
6	71
7	88
8	95
9	81
10	76
11	86
12	94
13	104
14	106
15	104
16	114
17	107
18	135
19	140
20	131



Figura 2-5: Demanda con tendencia.

En la Figura 2-5 se ha extraído una gráfica de unos valores históricos de demanda obtenidos a través de la observación y distribuidos en una escala temporal constante, en este caso semanas. Para este tipo de demanda, se pueden aplicar tres métodos: las medias móviles dobles, el ajuste exponencial doble y el método de Holt.

2.4.1.3 Demanda estacional

Una demanda es estacional cuando presenta una estructura que se repite en el tiempo. Para generar una demanda estacional se usa una variante del modelo matemático (1.24) en el que se añade una componente que proporciona estacionalidad. El modelo consta de un valor constante de demanda (D), un valor constante de pendiente (p) proporcional a un valor temporal (τ) todo ello multiplicado por la componente estacional (f_t) y sumado a una componente aleatoria (ε_t). Un ejemplo de dicho modelo sería:

$$\begin{aligned}
 D_t &= (D + p \times \tau) \times f_t + \varepsilon_t \\
 D &= 100 \text{ unidades} \\
 p &= 4 \\
 \varepsilon &\sim N(0, 50)
 \end{aligned}
 \tag{1.25}$$

Se obtiene:

Demanda estacional		
Semana t	ft	Demanda Dt
1	0.2	74
2	0.3	89
3	0.4	86
4	0.1	17
5	1	49
6	0.2	137
7	0.3	154
8	0.4	121
9	0.1	54
10	1	48
11	0.2	139
12	0.3	211
13	0.4	183
14	0.1	161
15	1	104
16	0.2	74
17	0.3	164
18	0.4	231
19	0.1	249
20	1	139



Figura 2-6: Demanda estacional.

En la Figura 2-6 se ha extraído una gráfica de unos valores históricos de demanda obtenidos a través de la observación y distribuidos en una escala temporal constante, en este caso semanas. Dentro de este tipo de demanda, el método que destaca para hacer proyecciones es el método de Winter

2.4.1.4 Métodos ARIMA

El término ARIMA proviene de sus siglas en inglés ‘Autorregresive Integrates Moving Average’, que significa: media móvil integrada autorregresiva, en (Gaynor & Kirkpatrick, 1994) se definen como métodos iterativos autorregresivos que integran medias móviles. Se ajustan por tendencias y factores estacionales, determinan los pesos de cada parámetro, comprueban los resultados y si es necesario, se repite el proceso.

Estos métodos están basados en cálculos matemáticos de alto rendimiento que definen la previsión como una función lineal de los errores de pronóstico y valores pasados. Ofrecen una gran exactitud en sus resultados, pero consumen una gran cantidad de recursos económicos y de software.

Para ajustar los modelos a un modelo ARIMA se realiza por ciclos iterativos basados en las siguientes etapas:

- Especificar una clase general de modelos considerados para el análisis.
- La identificación de un modelo basado en el análisis de autocorrelaciones, autocorrelaciones parciales y otros criterios.
- Estimar las fases, es decir, los parámetros del modelo identificativo.
- Por último, existe la verificación del modelo ajustado, a través de un análisis de los residuos, para ver si es adecuado para el propósito pretendido (predicción en nuestro caso).

Si la validación resulta negativa, se volverá a la etapa de especificación inicial, si resulta positiva el método finalizará y se podrá usar el modelo generado.

Cabe resaltar que los modelos ARIMA constituyen una familia, es decir, existen diferentes modelos de estos métodos, entre los que cabe destacar: modelos autorregresivos (AR), modelos de medias móviles (MA), modelos autorregresivos de medias móviles (ARMA), modelos ARIMA y los modelos ARIMA con variables explicativas (ARIMAX)

2.4.1.4.1 Modelos autorregresivos (AR)

(de Arce & Mahía, 2003) se presenta que

los modelos autorregresivos (AR) como los modelos que explican su variable dependiente en función del tiempo. Se forman como una combinación lineal de sus valores pasados y un término de error. Se obtiene la siguiente expresión de orden p:

$$Y_t = \varphi_0 + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1.26)$$

Donde:

- Y_t es el valor pronosticado para el periodo t.
- $\varphi_0, \dots, \varphi_p$ son los parámetros correspondientes a la parte autorregresiva.
- ε_t se corresponde con el error.

2.4.1.4.2 Modelos de medias móviles (MA)

Los modelos de medias móviles (MA) son los modelos que explican su variable dependiente como la suma una combinación lineal de sus errores pasados debidamente ponderados sumados a un término independiente (de Arce & Mahía, 2003). Se obtiene la siguiente expresión de orden q:

$$Y_t = \theta_0 + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (1.27)$$

Donde:

- Y_t es el valor pronosticado para el periodo t.
- $\theta_0, \dots, \theta_p$ son los parámetros correspondientes a la parte de medias móviles.
- ε_t se corresponde con el error.

2.4.1.4.3 Modelos autorregresivos de medias móviles (ARMA)

Los modelos autorregresivos de medias móviles (ARMA) son la combinación de los modelos AR con los modelos MA. Se obtiene la siguiente expresión de orden p, q:

$$Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (1.28)$$

Donde:

- Y_t es el valor pronosticado para el periodo t.
- $\varphi_0, \dots, \varphi_p$ son los parámetros correspondientes a la parte autorregresiva.
- $\theta_0, \dots, \theta_p$ son los parámetros correspondientes a la parte de medias móviles.
- ε_t se corresponde con el error.

Destacamos el método de Box-Jenkins.

El método Box-Jenkins fue ideado en 1970 para facilitar explicar la estructura y predecir la evolución de series temporales.

Los puntos principales del método de Box-Jenkins son dos:

- Construir un procedimiento para encontrar el mejor modelo que defina una serie temporal dada.
- Describir una teoría para construir una clase general de modelos capaces de definir series temporales. El perfil general de los modelos Box-Jenkins es la familia de modelos ARIMA, con elementos determinísticos (con tendencia, estacionales, etc).

2.4.1.4.4 Modelos ARIMA

Los modelos ARIMA se obtienen cuando a una serie integrada de orden d , se le aplica un modelo autorregresivo de medias móviles (ARMA), de orden p, q . Se caracterizan por la siguiente expresión de orden p, q, d :

$$Y_t = \varphi_0 + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (1.29)$$

Donde:

- Y_t es el valor pronosticado para el periodo t .
- $\varphi_0, \dots, \varphi_p$ son los parámetros correspondientes a la parte autorregresiva.
- $\theta_0, \dots, \theta_p$ son los parámetros correspondientes a la parte de medias móviles.
- ε_t se corresponde con el error.

2.4.1.4.5 Modelos estacionales SARIMA

Los modelos estacionales SARIMA (Seasonal Autorregresive Integrates Moving Average según sus siglas en inglés), son modelos ARIMA que incluyen la componente estacional.

2.4.1.4.6 Modelos ARIMAX

Los modelos ARIMAX consideran el impacto de algunas variables como los festivos, factores de negocio, etc.

2.4.2 Relaciones Causales

Los métodos causales son capaces de anticiparse a los eventos futuros al contrario que los métodos basados en series temporales, que reaccionan ante lo ocurrido en el pasado. Los métodos causales se basan en identificar las variables que influyen en el comportamiento del consumidor, por tanto, un requisito fundamental es que las variables causales y sus relaciones se puedan expresar como modelos matemáticos.

De esta forma, si los eventos que conforman la serie temporal son conocidos, los métodos de relaciones causales serán capaces de modelarlos, sin embargo, si estos eventos son desconocidos serán necesarios otros métodos para su identificación y ajuste.

Como se señala en (Allen & Fildes, 2001), si la información esta contrastada, los resultados obtenidos por los métodos causales son más fiables que los proporcionados por otros métodos porque para su cálculo se incluyen informaciones más amplias como: decisiones gubernamentales, promociones, climatología, etc.

Por todo esto, el rendimiento del método causal elegido depende en gran medida de la fiabilidad de las informaciones que se tienen y requiere una inversión elevada de recursos para la recopilación de datos.

A continuación, se van a introducir los métodos de relaciones causales según (García García & Poler Escoto, 2018), los cuales son: método de regresión y métodos de espacio de estado.

2.4.2.1 Método de regresión

Se basan en suponer que una variable conocida como variable dependiente esta relacionada con una (regresión simple) o más (regresión múltiple) variables independientes a través de una ecuación lineal.

Se desea conocer la variable dependiente a través de las variables independientes porque se asume que ésta o éstas son la causa de los resultados obtenidos en el pasado.

Si la variable independiente es una sola, la relación teórica es una línea recta. Por ejemplo:

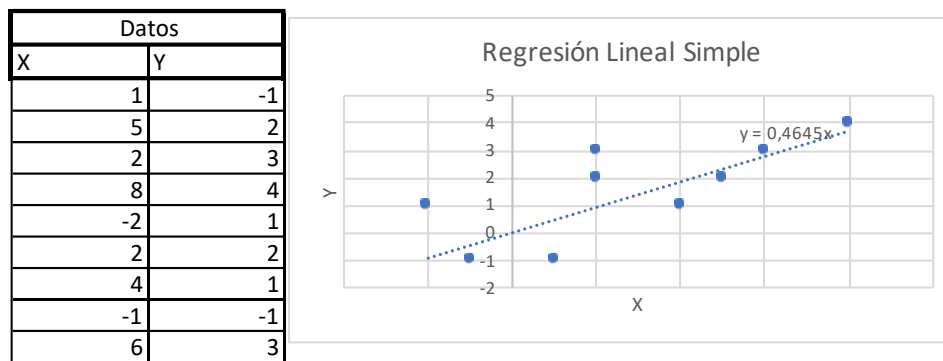


Figura 2-7: Ejemplo regresión lineal simple.

La recta viene expresada por la ecuación:

$$y = ax + b \quad (1.30)$$

Donde:

- y es la variable dependiente.
- x es la variable independiente.
- a es la pendiente de la recta.
- b es la intersección con el eje Y.

2.4.2.2 Métodos de espacio de estado

En ingeniería de control, para prescindir del número de entradas, salidas y variables de estado, las variables se expresan mediante vectores, y si el sistema dinámico no depende de la variable tiempo y es lineal, además las ecuaciones algebraicas se representan de forma matricial. Destacamos dos modelos: los modelos de filtro de Kalman y los modelos de componentes inobservables.

2.4.2.2.1 Modelo de filtro de Kalman

El modelo de filtro de kalman es un algoritmo diseñado en 1960 por R.E Kalman que permite estimar variables que no son observables a través de variables que sí lo son, asumiendo que pueden contener algún error.

La estimación se resume en dos pasos según (“El filtro de Kalman,” 2014):

- Etapa de predicción. En esta etapa se estiman de las variables de estado usando su propia dinámica.
- Etapa de corrección. En esta etapa se mejora la primera estimación obtenida añadiendo la información de las variables observables.

2.4.2.2.2 Modelo de componentes inobservables

Los modelos de componentes inobservables son aquellos que extraen los componentes observables de una serie temporal estudiada que se corresponde con sus patrones cíclicos. Para ellos se usan programas econométricos que permiten manejar varias series temporales de forma simultánea. Las componentes con las que suelen modelar la evolución de las series temporales son: la componente tendencial, estacional y cíclica. Éstas se han modelado de forma determinista. No obstante, se puede suponer que las componentes evolucionan de forma aleatoria cuando las series son lo suficientemente grandes (Ruiz, 1997).

2.5 Métodos de inteligencia artificial

Estos métodos surgen como respuesta a intentar superar las limitaciones humanas provocadas por la complejidad creciente a la que se ven sometidas las cadenas de suministros.

La inteligencia artificial es la inteligencia de las máquinas, es decir, la capacidad de una máquina de entender su entorno y proporcionar una respuesta acorde a una tarea pedida. En términos coloquiales, se denomina inteligencia artificial cuando una máquina imita las funciones cognitivas de un ser humano como: pensar, razonar y resolver problemas. Para llegar a este punto ha sido necesario un avance de la tecnología como así ha sido gracias al internet de las cosas.

Dentro de estos métodos destacamos el modelo de redes neuronales.

2.5.1 Modelo de redes neuronales

Las redes neuronales artificiales han sido una de las áreas que más se ha investigado en los últimos años debido a sus propiedades y características. Son una herramienta muy útil en tareas de reconocimiento de patrones, modelado de datos financieros, previsión de la demanda, etc.

Como se infiere de (Chu & Zhang, 2003) el modelo se llama así porque se basan en el concepto de funcionamiento de las redes neuronales de un ser humano. En comparación el cerebro humano trabaja de forma más lenta que un computador, sin embargo, el cerebro trabaja en tiempo real con una interacción continua con el medio que lo rodea y puede realizar hasta 10^{16} operaciones sinápticas por segundo, lo que quiere decir que asume bien los cálculos realizados en paralelo.

Su mayor ventaja es que puede realizar previsiones de modelos no lineales, pero eso lleva a que modelaje sea muy difícil debido a la cantidad enorme de modelos no lineales posibles.

2.6 Fiabilidad en la previsión

En la realidad, cuando se aplica un método de previsión a una serie temporal siempre existe un error, casi nunca se acierta completamente, por tanto, el objetivo principal de cualquier previsión ha de ser minimizar dicho error. El error será la variable que permitirá decidir que método es más válido para proyectar una serie temporal.

En (Onieva Giménez et al., 2017) se expone que existen dos fuentes de errores en los pronósticos además de los distintos tipos de indicadores que se van a introducir:

- Error aleatorio. Es aquel que se origina de forma imprevista y que como no se conoce la causa no se tiene una explicación.
- Error sesgado. Es aquel originado por un mal uso de las variables o una mala interpretación de la demanda. Este error se puede corregir según la experiencia del experto que se encargue de solucionarlo.

El error en el que estamos interesados es el siguiente:

$$e_T = D_T - M_T \quad (1.31)$$

Donde:

- e_t es el error en el tiempo t.
- D_T es el dato de demanda en el tiempo t.
- M_T es el dato previsto de la demanda en el tiempo t.

Sin embargo, para evaluar dicho error se dispone de diferentes indicadores. A continuación, se expondrán algunos de ellos:

2.6.1 Bias

Bias (o sesgo en español) es un estimador estadístico usado para calcular un parámetro desconocido de la población. Para cada parámetro se escogerá el estimador que mejor se ajuste al parámetro que se quiere calcular. Se intenta que los estimadores usados sean insesgados porque de lo contrario pueden amplificar el efecto real. En nuestro caso se basa en la fórmula (1.31) para su cálculo.

Así pues, definimos el Bias como:

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t \quad (1.32)$$

Donde:

- $Bias$ es la media de la desviación del error.
- N es el número total de periodos a prever.
- e_t es el error en el tiempo t.

2.6.2 MAD

El MAD (Mean Absolute Deviation según sus siglas en inglés), pertenece a las medidas de errores absolutos de pronóstico. Estos métodos se basan en el cálculo de un error absoluto del error:

$$e_T = |D_T - M_T| \quad (1.33)$$

Así pues, definimos el MAD como la media de la desviación absoluta del error:

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |e_t| \quad (1.34)$$

Donde:

- MAD es la media de la desviación absoluta del error.
- N es el número total de periodos a prever.
- e_t es el error en el tiempo t.

2.6.3 MSE

El MSE o (Mean Square Error según sus siglas en inglés), también pertenece al grupo del cálculo del error a través del error absoluto, por tanto, también es válida la ecuación (1.33). Este error, al estar elevado al cuadrado, castiga a aquellos periodos donde la diferencia entre la demanda y la demanda estimada ha sido mayor.

Así pues, definimos el MSE como el error cuadrático medio:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t^2 \quad (1.35)$$

Donde:

- MSE es la media de la desviación absoluta del error.
- N es el número total de periodos a prever.
- e_t es el error en el tiempo t .

Además del uso de estos indicadores, es conveniente hacer una vigilancia de los valores obtenidos en las series temporales, de esta forma se pueden identificar valores atípicos (outliers) y eliminarlos.

Las causas de estos valores atípicos son muy diversas:

- Por errores humanos; comportamientos fraudulentos.
- Fallos en la maquinaria de producción o variaciones naturales de comportamiento.

Es importante su eliminación para:

- No aumentar la medida de error obtenida.
- Obtener un mejor modelo de previsión.
- Mejorar el análisis de los datos y también el resultado de los pronósticos.

Se van a introducir dos métodos para la identificación de estos valores atípicos: el método de la normal y el método de “tracking signal”.

2.6.4 Método de la normal

Supongamos que la demanda se aproxima a una normal, es decir, la media de la demanda es la previsión y la desviación típica el indicador de error elegido:

$$D \sim N(\mu, \sigma) \quad (1.36)$$

Entonces si:

- $D_t \in (M_t \pm k\sigma_e) \Rightarrow$ Se acepta.
- $D_t \notin (M_t \pm k\sigma_e) \Rightarrow$ NO se acepta.

Donde:

- D_t es la demanda en el periodo t .
- M_t es la previsión de la demanda en el periodo t .
- k es la frecuencia. Baja para bienes importantes y alta para artículos poco importantes.
- σ_e es el estimador del error usado.

2.6.5 Método de “tracking signal”

El método de tracking signal o señal de seguimiento en español, compara cualquier pronóstico realizado con los datos reales y advierte cuando los resultados obtenidos son inesperados, es decir, determina cuando la previsión es insesgada. Se usa con mayor frecuencia cuando se tiene dudas de que el pronóstico que se va a obtener sea ajustado a la realidad.

Un estimador de tracking signal (TS) podría ser:

$$TS_t = \frac{BIAS_t}{MAD_t} \quad (1.37)$$

Se procede de la siguiente forma:

- Se establece un límite superior k y uno inferior $-k$ donde k ha de ser: $k \leq 1$.
- Si k supera dichos límites se emite una señal de alarma.
- Si k no supera dichos límites se sigue operando de la misma forma.

2.7 Previsión de la demanda con la herramienta Excel

La actualización de la herramienta Excel en 2016 trajo consigo la posibilidad de crear previsiones a partir de unos datos históricos. Para crear una previsión en Excel se deben seguir los siguientes pasos indicados en (Microsoft, 2016):

- Crear dos series de datos, una con las entradas (horas, días, semanas, o cualquier otra unidad de tiempo que sirva para escalarlo), y otra con los valores históricos correspondientes. Por ejemplo:

Mes	Demanda
1	109
2	100
3	109
4	108
5	110
6	100
7	91
8	107
9	97
10	97
11	100
12	107

Figura 2-8: Datos para la previsión de demanda con Excel.

- Se seleccionan los datos y, en la pestaña datos, en el grupo de previsión, se hace click en la herramienta Previsión.

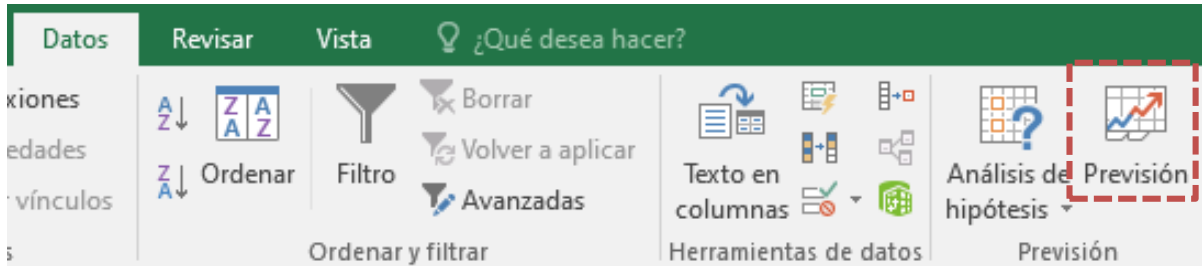


Figura 2-9: Localización de la herramienta Previsión en el Excel.

- Para tener una visión más visual, Excel deja elegir entre dos tipos de representaciones gráficas, un gráfico de líneas y otro de columnas:

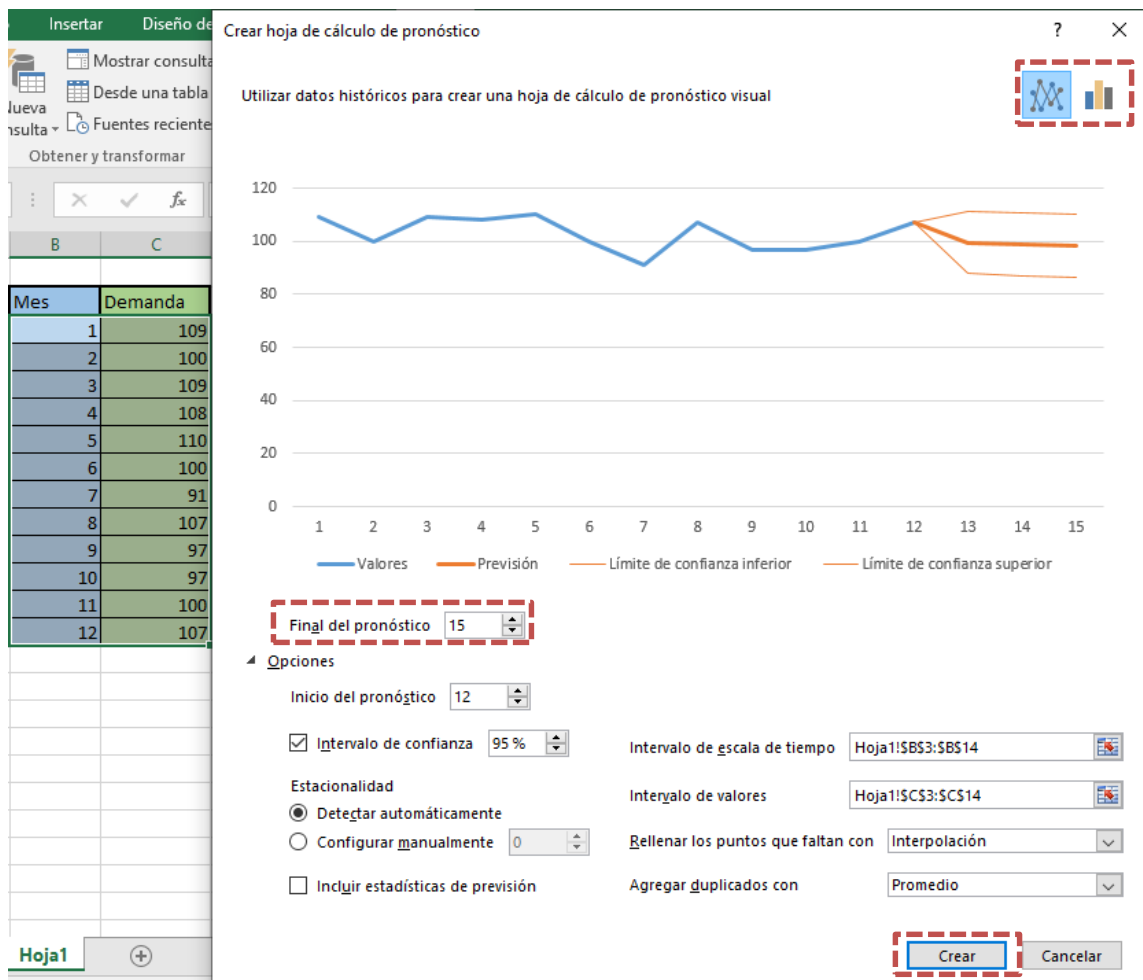


Figura 2-10: Hoja desplegada por la herramienta de previsión.

- En el cuadro Final de pronóstico se selecciona la última fecha para la que se quiere generar el pronóstico y posteriormente se hace click en 'Crear'. Excel creará una nueva hoja de cálculo con los datos de la previsión para los intervalos de tiempo señalados y los datos de los límites

superiores e inferiores de confianza:

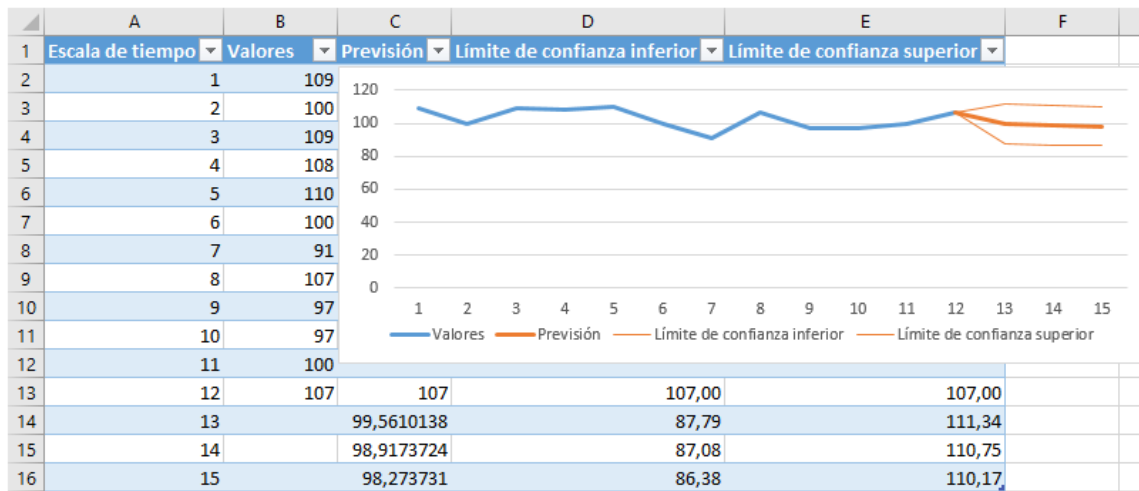


Figura 2-11: Hoja desplegada al hacer click en crear.

Si se desea variar algún aspecto avanzado de la previsión se podrá hacer en el cuadro de ‘Opciones’ de la Figura 2-10:

- Inicio del pronóstico: se puede elegir una fecha de inicio del pronóstico anterior al último dato histórico recogido.
- Intervalo de confianza: puede activarse o desactivarse. El intervalo de confianza al 95% es el intervalo aproximado en cada valor predicción donde se espera que pertenezcan el 95% de los puntos predichos. Cuanto menor sea el intervalo, mayor confianza se tiene en la previsión para el punto específico.
- Estacionalidad: es el número que define la longitud del patrón estacional. Puede detectarse automáticamente o ser facilitado por el usuario.
- Intervalo de escala de tiempo: para redefinir el intervalo temporal de datos históricos. Este intervalo se debe corresponder con el intervalo de valores.
- Intervalo de valores: para redefinir el intervalo de datos históricos. Este intervalo se debe corresponder con el intervalo de escala de tiempo.
- Rellenar los puntos que faltan: Excel puede completar los puntos que faltan con ceros o mediante una interpolación siempre que la cifra de valores que faltan sea menos del 30%.
- Agregar duplicados con: cuando Excel tenga varios valores para un tiempo determinado, realizará una media de los valores. También puede realizar otro método de cálculo de los propuestos como elegir el máximo, el mínimo, hacer una suma, etc.

3 PYTHON

Este capítulo se va a centrar en justificar por qué se ha elegido este lenguaje para la realización del proyecto, introduciendo algunos aspectos fundamentales del propio lenguaje de codificación.

Además de una introducción general a que es el Python, se detallarán las librerías usadas en la aplicación práctica del proyecto y se explicará como se pretende que sea la experiencia del usuario utilizando la aplicación.

3.1 ¿Qué es Python?

Según (Gonzalez Duque, 2018, pp. 7–9) Python es un lenguaje de programación creado a finales de los ochenta por Guido van Rossum como sucesor del lenguaje de programación ABC en el Centro para las Matemáticas y la Informática (CWI, Centrum Wiskunde & Informatica), en los Países Bajos. El nombre de “Python” fue inspirado en el nombre artístico de los cómicos ingleses “Monty Python”.

Se trata de un lenguaje interpretado o de script¹, es decir, que para ejecutarse se necesita un programa intermedio. Los lenguajes que las computadoras pueden comprender y ejecutar directamente se denominan lenguajes compilados.

La ventaja que tienen los lenguajes interpretados frente a los lenguajes compilados es que son más flexibles y portables, por el contrario, la compilación de los lenguajes compilados es más rápida. No obstante Python tiene muchas de las características de los lenguajes compilados, por lo que podría decirse que es un lenguaje semi interpretado.

Es un lenguaje de programación de tipado dinámico, es decir, una variable puede tomar varios valores de distinto tipo durante el tiempo de ejecución, así pues, no es necesario declarar el tipo de dato que va a contener una variable.

No se puede confundir que Python sea un lenguaje de tipado dinámico con que es un lenguaje fuertemente tipado. Sin contradecir lo previamente expuesto, en Python no se permite tratar una variable de un tipo como si fuese de otro tipo distinto, para ello es necesario convertirlo de forma explícita. Por ejemplo, un entero (variable de tipo int), no se puede entender como una cadena de texto (variable de tipo string) a menos que se convierta explícitamente.

Otra gran ventaja de Python es que sus intérpretes están disponibles en multitud de plataformas (Windows, MAC OS, Linux, Solaris, etc), por tanto, se podría decir que es un lenguaje multiplataforma.

Python es un lenguaje multiparadigma en el que se puede trabajar tanto con programación estructurada, o con programación orientada a objetos. La programación orientada a objetos (POO, u OOP según sus siglas en inglés), modela los conceptos del mundo real en forma de clases y objetos y los transforma a nuestro problema como interacciones de objetos. Para la obtención de datos de salidas específicos, los objetos manipulan los datos de entrada.

¹ Un script es un guión o conjunto de órdenes que permite automatizar tareas creando pequeñas utilidades.

Su desarrollador, Tim Peters, quiso dejar clara la filosofía de legibilidad del código mediante una sintaxis clara y limpia y para ello propuso 19 preceptos (Alchin & Peters, 2010) los cuales a partir de la versión 2.2.1 se incorporan en el módulo *this.py*:

- Bello es mejor que feo.
- Explícito es mejor que implícito.
- Simple es mejor que complejo.
- Complejo es mejor que complicado.
- Plano es mejor que anidado.
- Disperso es mejor que denso.
- La legibilidad cuenta.
- Los casos especiales no son tan especiales como para quebrantar las reglas.
- Lo práctico gana a lo puro.
- Los errores nunca deberían dejarse pasar silenciosamente.
- A menos que hayan sido silenciados explícitamente.
- Frente a la ambigüedad, rechaza la tentación de adivinar.
- Debería haber una –y preferiblemente solo una- manera de hacerlo.
- Aunque esa manera puede no ser obvia al principio a menos que sea usted holandés.
- Ahora es mejor que nunca.
- Aunque nunca es algunas veces mejor que **ahora** mismo.
- Si la implementación es difícil de explicar es una mala idea.
- Si la implementación es fácil de explicar, puede que sea una buena idea.
- Los espacios de nombres (namespaces²) son una gran idea ¡Hagamos esas cosas!

Existen seis conceptos que son básicos para entender cualquier lenguaje de programación orientado a objetos y se pueden encontrar en (Gonzalez Duque, 2018, pp. 42–49): objeto, clase, método, herencia, encapsulamiento y el polimorfismo .

3.1.1 Objeto

Un objeto es la instancia de una clase, es decir, una entidad que agrupa una funcionalidad o comportamiento (métodos) y un conjunto de propiedades o atributos (datos). Por ejemplo, dada unas instrucciones para construir una mesa, *clase_mesa*, todas las mesas individuales creadas a partir de dichas instrucciones serian un objeto de la *clase_mesa*.

3.1.2 Clase

Una clase es una plantilla en la que apelar a los objetos, dicho de otro modo, es la definición de los datos y métodos de los objetos. En dicha plantilla se define que atributos y métodos tendrán los objetos de dicha clase. La instanciación de una clase es su lectura y la creación de un objeto a partir de ellas.

En Python, definimos una clase con la palabra reservada *class*.

3.1.3 Método

Es un algoritmo que se asocia con un objeto (o clase de objetos), cuya ejecución se desencadena tras la recepción de una comunicación dirigida a un objeto (mensaje).

El mensaje ordena que se ejecute uno de los métodos con los parámetros asociados al evento que lo generó.

² Namespace es una técnica de programación en la que dos identificadores pueden ser iguales, pero deben estar definidos en espacios distintos.

3.1.4 Herencia

El acto de “heredar” o “extender una clase” hace referencia a cuando se hace que una subclase³ contenga todos los atributos y métodos que posee una superclase⁴.

Un ejemplo sería crear un objeto llamado “utensilios de escritura” con los atributos y métodos comunes, y hacer que objetos como “bolígrafo rojo”, “bolígrafo azul” y “lápiz” hereden de “utensilios de escritura”.

3.1.5 Encapsulamiento

El encapsulamiento establece desde fuera de la clase que atributos y métodos tienen restringidos el acceso.

En Python no existen los modificadores de acceso (`private` y `public`) como si existen en Java, el acceso a una variable o función viene determinado por su nombre de la siguiente manera:

- Si el nombre comienza por dos guiones bajos, y no acaba también con dos guiones bajos, es una variable o función privada.
- Si el nombre comienza y acaba por dos guiones bajos, se trata de métodos especiales que Python llama automáticamente bajo ciertas circunstancias.
- Si no ocurre alguno de los casos anteriores, es una variable pública.

3.1.6 Polimorfismo

El polimorfismo es la capacidad que tienen los objetos de diferentes clases para usar un comportamiento o atributo con el mismo valor, pero de diferente nombre.

Un ejemplo sería que todos los vehículos se desplazan, pero no de la misma manera. Las motos lo hacen sobre dos ruedas, los coches sobre cuatro, etc.

En Python el polimorfismo es de poca utilidad debido a su característica de tipado dinámico, ya que no impone restricciones a los tipos que se le pueden pasar a una función.

3.2 ¿Por qué Python?

Python es uno de los lenguajes con mayor tasa de crecimiento como es posible corroborar aquí (Rodríguez, 2019), y lo sorprendente es que no es un lenguaje recién llegado, por lo que descartamos la expectativa que generan los frameworks⁵ y lenguajes recién llegados que si gozan de la tendencia alcista por ser novedad. Es un lenguaje maduro y sólido que hace frente a lenguajes ya consolidados como son C/C++ o JavaScript. Entre sus usuarios se encuentra Google, Netflix, Facebook, Instagram, Spotify, etc.

Los motivos principales por los que comenzar a usar Python son:

- Cuenta con una amplia comunidad de desarrolladores y recursos disponibles. Hay más de 150.00 proyectos en la web <https://pypi.org/>.
- Los códigos elaborados en Python son tan sencillos y cercanos al lenguaje natural que parecen pseudocódigos.
- Es multiplataforma y de open source⁶.

³ Una subclase es una clase hijo de una clase padre.

⁴ Clase de la que deriva una subclase.

⁵ Un framework es una estructura conceptual y tecnológica que sirve como base para la organización y desarrollo web.

⁶ Open source es un término procedente de la informática y hace referencia a un código abierto y un software libre y gratuito.

Por todo esto hace que la curva de aprendizaje sea menos áspera que en otros lenguajes. Los motivos principales por los que seguir programando en Python y, por ende, por los que su curva de crecimiento es tan grande son:

- Existen una gran cantidad de librerías y frameworks, pero las más importantes son las aplicadas a Data Science como PyBrain, NumPy o PyMySQL. Con estas herramientas se puede hacer mucho más que recolectar y clasificar datos, se pueden automatizar procesos a través de scripts.
- El desarrollo web en Python con Django⁷ es un de los fuertes de este lenguaje de programación. Este framework es gratuito y de open source codificado en el propio lenguaje Python. Es usado por empresas como Instagram o Pinterest.
- El crecimiento del Machine Learning (aprendizaje automático o automatizado) va de la mano de Python por su carácter exploratorio. Resaltamos librerías como Keras, PyBrain o scikit-learn.
- Es el lenguaje oficial de la Raspberry Pi⁸.

3.3 Herramientas básicas. Librerías

En programación, existen archivos o conjunto de archivos que se utilizan para facilitar dicha tarea, estos son las llamadas librerías. Las librerías, o también llamada frameworks, se nombran al principio del código, aunque se puede insertar cualquier archivo al principio del texto, no todos ellos se consideran librerías, éstas además deben permitir la inserción de nuevo código en la página.

Existen varios tipos de librerías según su origen de creación:

- Librerías de fabricación propia. Son librerías creadas por el propio usuario con el objetivo de facilitar tareas concretas. Éstas se ponen en un archivo con la intención de poder utilizarlo en distintas páginas que enlacen con el archivo.
- Librerías externas. Son librerías creadas por expertos programadores que no solo sirven para casos concretos, se pueden usar de forma general.

Normalmente las librerías están enfocadas a solucionar problemas concretos, no se puede hacer un proyecto entero solo con ellas, pero son una forma de acortar los pasos para conseguir algo. El procedimiento para instalar librerías se explicará en el siguiente apartado, ya que se hará desde el propio intérprete.

Se van a definir las librerías usadas en la parte practica del proyecto:

3.3.1 XlsxWriter

XlsxWriter (“The Worksheet Class — XlsxWriter Documentation,” n.d.) es un modulo de Python para escribir archivos en Excel 2007 o superior con formato .xlsx. Puede escribir números, texto y fórmulas en distintas páginas además de poder insertar distintos formatos de escritura, imágenes, tablas, filtros, condicionales, etc.

XlsxWriter tiene algunas ventajas y desventajas si lo comparamos con otros módulos usados con la misma finalidad.

Ventajas:

- Soporta más características del Excel que cualquier otro módulo.
- Tiene un alto porcentaje de fidelidad en archivos producidos por Excel. En algunos casos, los

⁷ Django es un framework de código abierto y escrito en Python diseñado para facilitar la creación de sitios webs complejos.

⁸ La Raspberry pi es un ordenador de placa reducida, o placa única, que se creó con la principal motivación de estimular la programación en las escuelas.

archivos producidos con este módulo son 100% equivalentes que los generados por el propio Excel.

- Dispone de mucha documentación, ejemplos y pruebas.
- Es rápido y fácil de instalar y puede ser configurado para usar muy poca memoria de la computadora.

Desventajas:

- No puede modificar un archivo Excel ya existente.

3.3.2 Xlrd

Xlrd (Machin, 2005) es un modulo que permite a Python leer archivos desde el Excel tanto con extensión xls como xlsx.

3.3.3 Tkinter

Python ofrece muchas opciones para desarrollar una interfaz gráfica de usuario (IGU o GUI según sus siglas en inglés), pero de todos los métodos posibles, tkinter es el más utilizado. Crear una IGU con tkinter es una tarea sencilla (Bansal, 2018).

Una interfaz gráfica de usuario (IGU) es un programa informático que actúa de interfaz para el usuario utilizando un conjunto de objetos gráficos e imágenes con los que representar todas las acciones disponibles. Estas imágenes y gráficos con información enlazada son denominados 'widgets'.

Su finalidad es permitir la comunicación del sistema operativo de un computador con el usuario a través de un entorno visual sencillo.

Para crear un tkinter primero hay que importarlo. Hay que tener en cuenta que el módulo para versiones de Python 2.x se denomina 'Tkinter', y para versiones de Python 3.x se denomina 'tkinter'.

Una vez importada la librería existen dos métodos para crear la aplicación de Python con una interfaz de usuario:

- Con el código: `Tk(screenName=None, baseName=None, className='Tk', useTk=1)`. Para cambiar el nombre de la ventana basta con cambiar el nombre asociado a `className`. El código básico para crear la ventana principal de la aplicación es:
`m=tkinter.Tk()` donde `m` es el nombre de la ventana principal.
- Con el código `m.mainloop()`. Esto es un loop⁹ infinito usado para ejecutar la aplicación. Espera a que ocurra un evento para ejecutarse y lo procesa hasta que la ventana no se cierre. Éste ha sido el método usado para nuestro proyecto.

Tkinter también ofrece acceso a configuración geométrica para organizar los elementos dentro de la ventana. Las tres funciones más importantes son:

- El método `pack()`: Empaqueta los widgets en bloques antes de situarlos en la ventana principal.
- El método `grid()`: Organiza los widgets en un mallado o estructura tipo tabla, antes de colocarlos en la ventana principal.
- El método `place()`: Organiza los widgets en unas posiciones específicas determinadas por el programador.

⁹ Loop o bucle hace referencia en la programación a una secuencia de código que se repite hasta cumplirse la condición que hace que se pare.

Hay muchos widgets que se pueden usar en tkinter. Los usados en el proyecto han sido:

- Botón. Se usa para tomar una decisión. La sintaxis general para añadir un botón es:
 $w=Button$ (*master, option=value*).
Donde ‘master’ es el parámetro usado para representar la ventana padre.
Existen diversos parámetros para cambiar el formato del botón. Se introducirían dentro de los paréntesis separados por comas y son los siguientes:
 - `activebackground`: para establecer el color del fondo cuando el cursor esta encima del botón.
 - `activeforeground`: para establecer el color del primer plano cuando el cursor está encima del botón.
 - `bg`: para establecer el color normal del fondo.
 - `command`: para llamar a la función.
 - `font`: para establecer la fuente de la letra del botón.
 - `image`: para establecer la imagen en el botón.
 - `width`: para establecer el ancho del botón.
 - `height`: para establecer la altura del botón.



Figura 3-1: Botones en tkinter.

- Mensaje. Se refiere a un texto de varias líneas y no editable que se puede generar al interactuar con alguno de los widgets de la aplicación. La sintaxis general para añadir un mensaje es:
 $w=Message$ (*master, option=value*).
Existen diversos parámetros para cambiar el formato del mensaje. Se introducirían dentro de los paréntesis separados por comas y son los siguientes:
 - `bd`: para establecer borde alrededor del indicador.
 - `bg`: para establecer el color normal del fondo.
 - `font`: para establecer la fuente de la letra del mensaje.
 - `image`: para establecer la imagen en el mensaje.
 - `width`: para establecer el ancho del mensaje.
 - `height`: para establecer la altura del mensaje.



Figura 3-2: Mensaje de error.

- Nivel superior (Toplevel). Es una ventana secundaria en la aplicación. Cerrar dicha ventana supondrá destruir los widgets que contenga, pero no cerrará el programa. En un programa solo puede existir una ventana principal abierta (tk), pero pueden coexistir tantas ventanas secundarias (Toplevel) como se deseen. La sintáxis general para añadir un mensaje es: $w=Message(master, option=value)$.

Existen diversos parámetros para cambiar el formato del mensaje. Se introducirían dentro de los paréntesis separados por comas y son los siguientes:

- bd: para establecer borde alrededor del indicador.
- bg: para establecer el color normal del fondo.
- cursor: lo que aparecerá cuando el ratón se sitúe encima del menú de botones.
- width: para establecer el ancho del widget.
- height: para establecer la altura del widget.

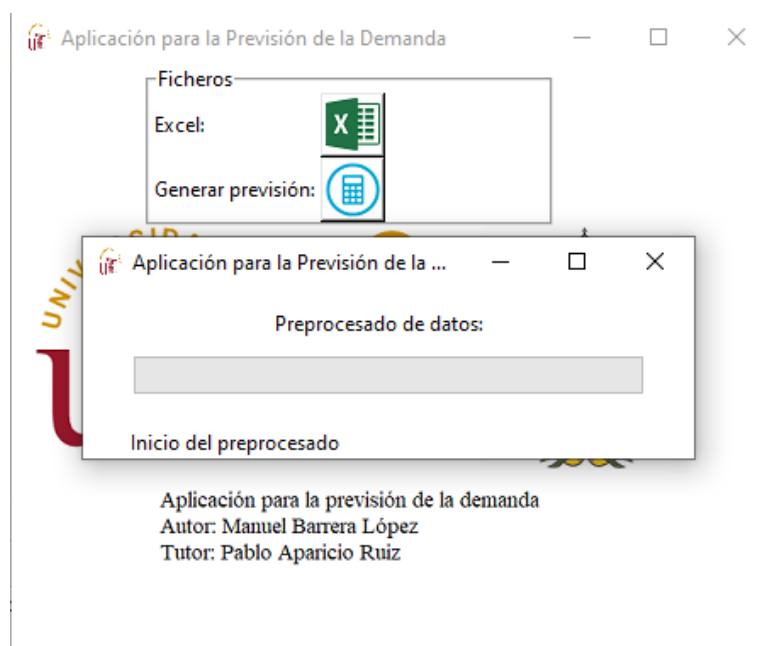


Figura 3-3: Ventana Top Level.

En la Figura 3-3 la ventana contenida en la principal, es la llamada ventana Top Level o ventana secundaria.

3.3.4 Random

Las computadoras están construidas para ser deterministas, sin embargo, en algunas ocasiones es necesario que generen algo de forma aleatoria, como mostrar un número. Este hecho es imposible, lo más cercano son los números pseudoaleatorios, donde parece que la máquina elige números aleatorios pero pasado un tiempo, un patrón emerge entre ellos.

Este módulo implementa número pseudoaleatorios.

A continuación, vamos a desarrollar algunas de las funciones que dependen de este módulo y se encuentran en (Python, 2020):

- *random.seed(a=None)*: inicializa el estado interno del generador del número aleatorio.
- *random.randint(a,b)*: devuelve un entero mayor o igual que a y menor o igual que b.
- *random.uniform(a,b)*: devuelve un flotante mayor o igual que a y menor o igual que b.
- *random.normalvariate(μ, σ)*: genera una distribución normal donde μ es la media y σ la desviación estándar.

3.3.5 Numpy

Numpy (Pandas, 2020) es una extensión de Python usada para operaciones matemáticas de alto nivel con vectores y matrices. Se puede decir que numpy es la librería fundamental para la computación científica. Entre otras características destaca:

- Un poderoso vector N-dimensional definido como objeto.
- Sofisticadas funciones (de transmisión).
- Herramientas para la integración del código en C/C++.
- Álgebra lineal, transformadas de Fourier y habilidades de números aleatorios.

3.3.6 Pandas

El nombre de Pandas (Pandas, 2020) viene de ‘Python Data Analysis Library’, es decir, biblioteca de análisis de archivos en Python. Pandas es una biblioteca de software escrita como extensión de Numpy de código libre. En particular ofrece operaciones y estructuras de datos para manejar series temporales y tablas numéricas.

Lo más destacable de Pandas es que coge archivos (como CSV o bases de datos SQL), y crea objetos con filas y columnas llamados data frame¹⁰ muy similares a tablas en softwares de estadística, como por ejemplo R. Trabajar con data frame es mucho más sencillo que operar con listas y diccionarios.

3.4 Diagrama de uso de la aplicación

Antes de comenzar con la codificación de la aplicación se ha necesitado estructurar los pasos que debe dar el usuario con el fin de que sea una experiencia sencilla y amigable. Se pueden dar tres tipos de acciones:

- Las elegidas por el usuario referidas la aplicación mediante el ratón o el teclado, representadas

¹⁰ Los data frame son estructuras de dos dimensiones que pueden contener distintos tipos de datos

con el color rosa palo en la Figura 3-4.

- Las elegidas por el usuario referidas a la previsión mediante el ratón o el teclado, representadas en color verde agua en la Figura 3-4.
- Las generadas automáticamente por la aplicación, representadas en color morado en la Figura 3-4.

El primer paso para generar una previsión es abrir la ‘Aplicación para la previsión de la demanda’ y ejecutarla. Después se elige en ‘Ficheros’ el botón con el nombre ‘Excel’, representado con la figura de un libro Excel. Aparecerá un Excel donde se debe escoger:

- El método con el que se desea hacer la previsión.
- Si el volcado de datos se hará de forma manual o automática:
 - Si se elige la opción de ‘Parámetros aleatorios (PA), no hay que rellenar ningún campo más.
 - Si no se elige esta opción, se deberán volcar los parámetros correspondientes

Con el Excel ya rellenado, se procede a guardarlo y cerrarlo, para finalmente poder elegir en ‘Ficheros’ el botón con el nombre ‘Generar previsión’. Pueden darse dos escenarios:

- Que el Excel se haya rellenado correctamente y se genere un Excel con la previsión deseada.
- Que se haya cometido un error rellenado el Excel y sea necesario volver a abrir el primer Excel mediante la aplicación.

:

El diagrama de flujo codificando los pasos para el uso de la aplicación sería:

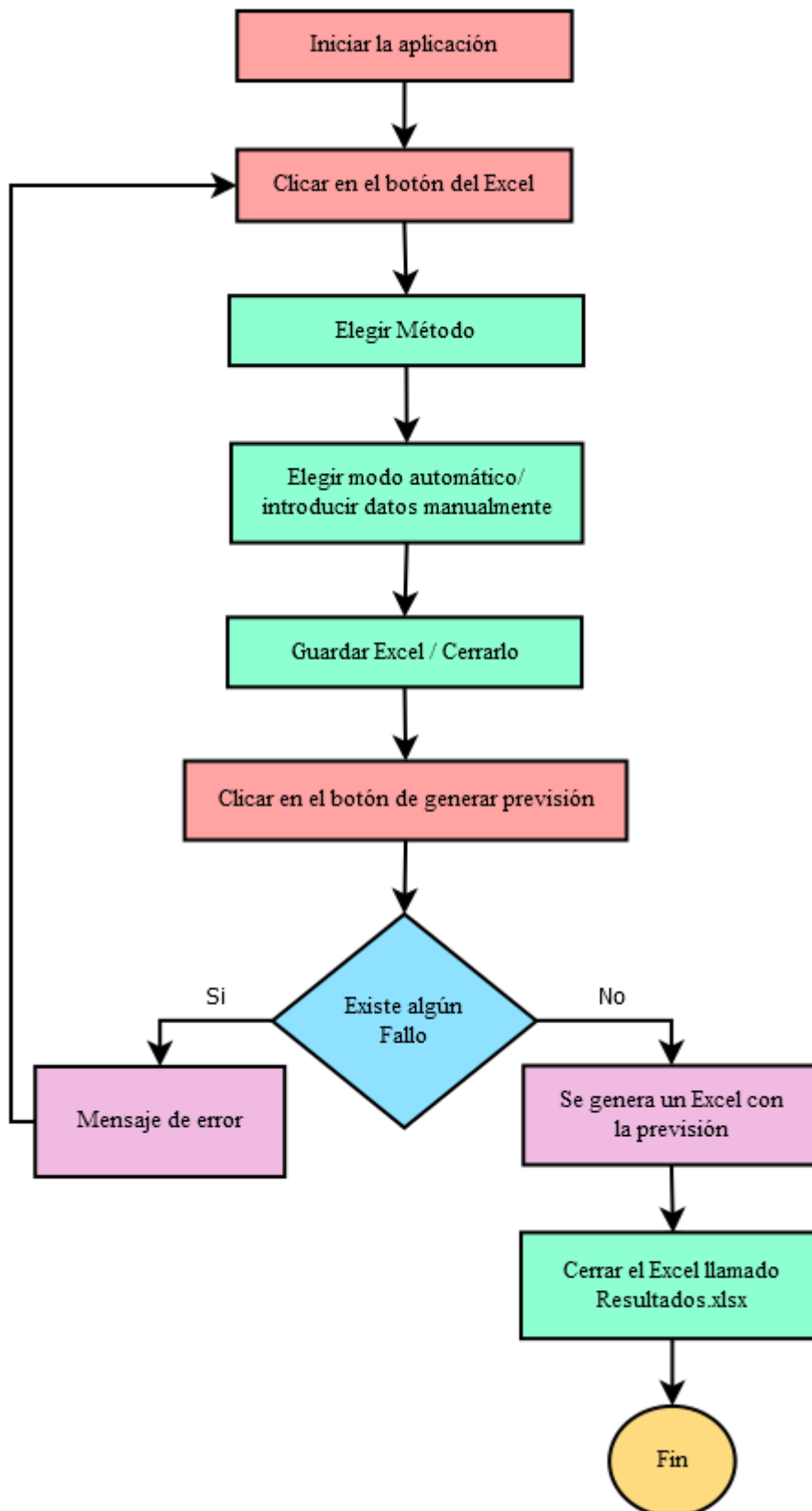


Figura 3-4: Diagrama de uso para el usuario.

4 PYCHARM

Gracias a su sintaxis clara y la sólida comunidad de desarrolladores, Python es uno de los lenguajes de programación más fáciles de aprender. Este hecho ha convertido a Python en el lenguaje de programación básico en muchas instituciones educativas como el Massachusetts Institute of Technology o MIT.

Para aprender a programar se le da mucha más importancia a la búsqueda de guías, manuales y/o tutoriales que a la correcta elección de un editor de texto o de un entorno de desarrollo integrado (o IDE según sus siglas en inglés), compatible con Python.

En este capítulo se expondrá el por qué se ha elegido un IDE frente a un editor de texto para el desarrollo de la parte práctica y por qué se ha escogido PyCharm frente a otros IDEs. También se desarrollarán algunos ejemplos de editores de texto e IDEs.

4.1 IDE vs editores de texto

A simple vista tanto un editor de texto como un IDE pueden parecer muy similares puesto que ambos se usan para escribir y ejecutar un código, sin embargo, las diferencias se encuentran en los detalles extraídos de (Agudo, 2016) y (Blancarte, 2017).

Los editores de texto son herramientas más minimalistas y compactas que se crearon para ver el código de una manera amigable y realizar algunas acciones muy simples como abrir refactors¹¹ muy simples y abrir terminales para ejecutar el programa.

Tienen una inteligencia muy limitada a la hora de predecir el código que se va a escribir y dan una ayuda muy básica. Sin embargo, los editores de texto modernos han adquirido funcionalidades que solo estaban al alcance de los IDEs.

Los editores de texto se caracterizan por trabajar con archivos de texto y carpetas. Al abrir una carpeta se trabaja con todo lo que contiene, para ello, su apariencia es en forma de árbol.

De entre los editores más avanzados que soportan Python destacamos: Atom y Vim.

Un IDE o Integrated Development Environment es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, o sea, consiste en un editor de código, un compilador y un constructor de interfaz gráfica que nos permite construir código de una forma más sencilla o didáctica.

Como se puede ver en su definición, un IDE tiene muchas más herramientas que se integran en un mismo programa como ejecutar el código en modo debug¹² en tiempo real, conectarse a terminales (locales o remotas), gestionar bases de datos, iniciar y detener servidores de aplicaciones o ayudas en tiempo real.

Los intérpretes no trabajan con archivos y carpetas, en su lugar usan los denominados Proyectos. A pesar de que el proyecto es también una carpeta, el IDE puede crear en él archivos adicionales al código que permiten optimizar la experiencia para el usuario.

¹¹ Un refactor es un método que permite cambiar el código de manera interna sin modificar su comportamiento externo.

¹² El debug mode o modo de depuración es un “truco” que permite identificar y corregir errores de una forma que solo se puede a través de este medio.

Entonces, ¿qué herramienta es mejor? Ambas herramientas han sido creadas para la productividad, todo depende de donde el usuario se sienta más cómodo programando. No obstante, y aunque los editores de texto han evolucionado mucho desde su creación, las facilidades que aportan los IDEs al poder usar tareas adicionales desde dentro del propio intérprete hacen que personas que se estén iniciando en la programación, estén un paso por delante.

De entre todos los IDEs disponibles que soportan Python destacamos: Spyder y PyCharm.

Tabla 4-1: Métodos de codificación y ejemplos propuestos.

Método de codificación	Ejemplos propuestos
Editor de Texto	Atom
	VIM
IDE	Spyder
	PyCharm

4.1.1 Atom

Atom es un editor de texto desarrollado por la compañía Github con el propósito de cubrir las necesidades de los usuarios. Que sea una herramienta gratuita, libre y multiplataforma contribuye al hecho de que exista una gran comunidad detrás del editor.

Algunas de las características extraídas de (Brugués, 2019) de este editor son:

- Posee una interfaz gráfica y personalizable con temas visuales. Atom dispone de una interfaz con un diseño agradable para el usuario, permitiendo a éste combinar los colores de los textos y elegir temas entre oscuros y claros. Dentro de este apartado destacamos las siguientes opciones:
 - Scroll Past End: permite desplazarse hasta la última línea de código.
 - Show Ident Guide: cuando se activa esta opción que viene desactivada por defecto, aparecerán las líneas que se corresponden con las tabulaciones en el editor.
 - Tab Length: muestra cuantos espacios deja por tabulación. El valor normal es dos espacios, pero en Python se deben dejar cuatro espacios.
- Facilidad para añadir funciones extra a través de extensiones: Atom posee un gestor de extensiones propio que permite instalar o desinstalarlas. Los paquetes relacionados con Python son:
 - autocomplete-python: permite completar el código con distintas sugerencias.
 - linter-flake8: resalta los errores cometidos en el código.
 - python-autopep8: permite formatear el código acorde con la guía de estilos PEP 8¹³.
 - script: permite ejecutar un código que esté escrito en otro lenguaje de programación.

Una de las grandes ventajas de Atom es que usa frameworks de Electron¹⁴, el cual permite crear en entornos de escritorio aplicaciones multiplataforma.

El uso de Electron a pesar de todas las ventajas que aporta, provoca el principal problema de este editor de texto que es la cantidad de recursos que consume en comparación con otros editores más antiguos. En término de equipos actuales, Atom suele superar el consumo de 8 Gb de RAM.

¹³ PEP 8 es el documento completo que recoge la guía de estilos para Python.

¹⁴ Electron es un framework de código abierto y multiplataforma diseñado para JavaScript que permite el desarrollo de aplicaciones de escritorio mediante el uso de tecnologías web.

La apariencia de Atom es la siguiente:

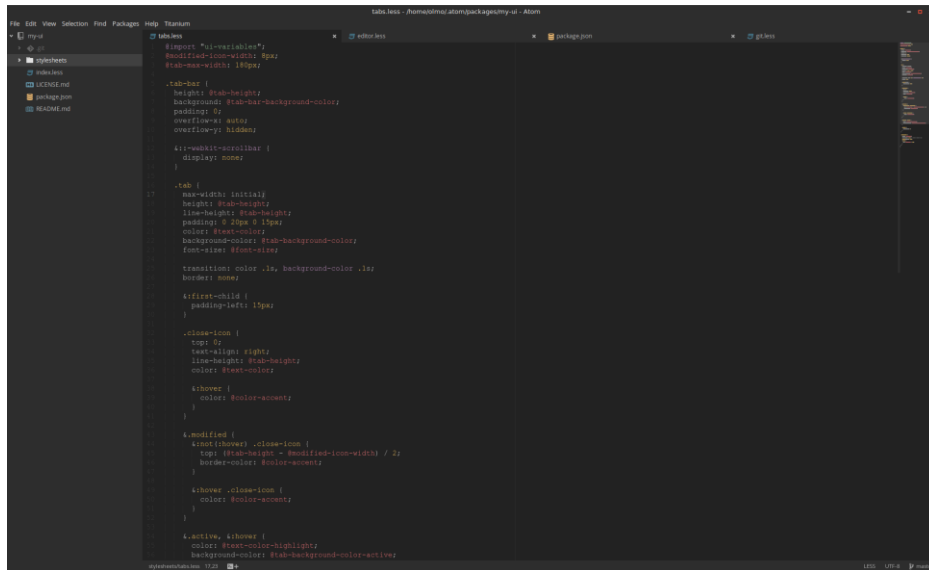


Figura 4-1: Apariencia de Atom (Atom, 2015).

4.1.2 VIM

VIM Editor es un editor de texto altamente configurable que trata de ser una versión mejorada del editor vi distribuido por los sistemas operativos UNIX. Su alto grado de configurabilidad es la causa de que sea comparable a un IDE.

Este editor cuenta con extensiones que se comporte como un IDE moderno, pero para ello, lo primero que se necesita configurar es un buen administrador de extensiones. Por ejemplo: Vundle Algunas de las características de este editor extraídas de (“VIM and Python – A Match Made in Heaven – Real Python,” 2018) comparables a las de un IDE son:

- Abandone el ratón: Probablemente es una de las características principales de VIM. Usando solo combinaciones con las teclas no es necesario el ratón. La principal desventaja es la cantidad de tiempo que hay que invertir para conocer y aprenderse todas las combinaciones posibles.
- Pantalla dividida: Se puede abrir otro archivo además del ya abierto, dividiendo la pantalla tanto de forma vertical como horizontal, y tantas veces como archivos se abran.
- Código contraíble: Como la mayoría de los IDEs modernos, VIM proporciona una forma de contraer el código, las clases y métodos de forma que solo aparezca la línea de definición.
- Sangría de Python: Cuando se quiere hacer un código basado en las sangrías, estas deben ser correctas. Atom falla cuando hace la sangría de forma automática después de definir una función, dicho problema se puede resolver de dos formas:
 - Con un mejor manejo de la sangría automática.
 - Obtener la sangría de los estándares PEP 8.
- Marca espacios vacíos innecesarios. Lo hará probablemente en color rojo.
- Autocompletado: El mejor complemento para el completado automático se llama YouCompleteMe, y se descarga a través de Vundle.
- Comprobación de sintaxis o resaltado: Gracias a la extensión syntastic, VIM comprueba la sintaxis del código cada vez que se guarda.

El principal problema de Vim es su dificultad de configurar, unido con la cantidad de plugins¹⁵ que están incorporando hacienda obsoletos a sus antecesores en un periodo de tiempo muy corto. Es muy útil para ediciones rápidas pero muy engorroso para la programación.

La apariencia de VIM es la siguiente:

```

TwitterDataCollector.py (-:rtcm_dj/src/rtcm_dj/web/robots) - VIM
File Edit Tools Syntax Buffers Window Help
Press ? for help | 373
.. (up a dir) | 374
/root/rtcm_dj/src/rtcm_dj/ | 375
+apache/ | 376
+web/ | 377
+bdutil/ | 378
+email/ | 379
+fixtures/ | 380
+middleware/ | 381
+migrations/ | 382
-robots/ | 383
| | 384
| |__init__.py* | 385
| |__init__.pyc | 386
| |DataCollector.py* | 387
| |DataCollector.pyc | 388
| |FacebookDataCollector.py* | 389
| |FacebookDataCollector.pyc | 390
| |TwitterDataCollector.py* | 391
| |TwitterDataCollector.pyc | 392
| |YoutubeDataCollector.py* | 393
| |YoutubeDataCollector.pyc | 394
+scripts/ | 395
+static/ | 396
+views/ | 397
| |__init__.py* | 398
| |__init__.pyc | 399
+models.py* | 400
+models.pyc | 401
+tests.py* | 402
+tests.pyc | 403
+__init__.py* | 404
+__init__.pyc | 405
+fabfile.py* | 406
+manage.py* | 407
+settings.py* | 408
+settings.py.default* | 409
+settings.pyc | 410
+settings_staging.py* | 411
+urls.py* | 412
* /root/rtcm_dj/src/rtcm_dj/web/robots/TwitterDataCollector.py | 402,5 99%
root@pedro:~/rtcm_dj/src/rtcm_dj#

TwitterDataCollector.py
373 users = self.users_gather(users)
374 self.log('Guardando información sobre retweets en la BD')
375
376 usersnb = 0
377 for user in users :
378     user = self.user_save(user, 'meta')
379     for tweet in retweeter_tweets[int(user.user_id)] :
380         tweet.retweeteado_por.add(user)
381         usersnb += 1
382
383 self.log("Listo, guardada información sobre "+ str(usersnb) + " usuario")
384 return i
385
386 def guardar_historia(self):
387     # update, we want the best possible version of the day
388     self.log('Guardando historia...')
389     try :
390         tuh = TwitterUserHistory.objects.get(date=datetime.now(), twitter
391         except TwitterUserHistory.DoesNotExist :
392             tuh = TwitterUserHistory()
393
394         retweets = TwitterStatus.objects.filter(twitterAccountSN=self.account_info).aggregate(retweets=Sum('retweets'))['retweets']
395         mentions = TwitterStatus.objects.filter(mencionas=self.account_info).aggregate(count=Count('user_id'))['count']
396
397         tuh.twitterAccountSN=self.account_info
398         tuh.tweets=self.twitter_info.tweets
399         tuh.retweets=retweets
400         tuh.mentions=mentions
401         tuh.follow=self.twitter_info.follow
402         tuh.followers=self.twitter_info.followers
403
404         # reggaeton mode on
405         tuh.save()
406
407
408
409
410
411
412

```

Figura 4-2: Apariencia de VIM (“VIM como ide de Python,” 2011).

4.1.3 Spyder Python

Spyder, anteriormente Pydee, es un entorno de programación integrado, multiplataforma y de código abierto (IDE), usado para la codificación científica en Python. Este intérprete funciona a través de Anaconda, que es una distribución de los lenguajes científicos R y Python. Esta distribución es libre y abierta.

Según la página principal de distribución de Anaconda (Anaconda, 2019) se caracteriza por:

- Administrar los entornos y las bibliotecas con el gestor de paquetes conda, el cual facilita mucho la tarea de instalar, ejecutar y actualizar los paquetes instalados.
- Desarrollar y manejar paquetes de ciencia de datos y aprendizaje automático como: Scikit-team, Scipy y TensorFlow.
- Uso de librerías para el ‘Data Science’ (o ciencia de datos en español), que permite acelerar el cálculo de operaciones matemáticas y otorgarle mayor estabilidad. Librerías como: Dask, Numpy, pandas, Numba.
- Visualizar resultados de manera gráfica con las librerías: Bokeh, Dashader o Matplotlib.

Además de todo lo anterior, según la página distribidora de Spyder (Spyder, 2018) añade las siguientes características para programar en Python:

- Posee las ventajas de un editor:
 - Es un editor multilingüe.
 - Uso del completado automático de código.
 - División horizontal y vertical del código.

¹⁵ Un plugin es un código o fragmento de código que tiene como finalidad ampliar las funciones de un programa o herramienta.

- Spyder cuenta con la consola IPython, la cual permite ejecutar comandos, interactuar y visualizar datos dentro de cualquier número de intérpretes con todas las funciones. Cada consola se ejecuta de forma separada permitiendo así al usuario iniciar, parar o reiniciar un comando sin afectar al resto del código.
- Tiene un explorador de variables el cual permite: Interactuar y modificar variables sobre la marcha, representar una serie temporal, editar data frames, un vector de Numpy u ordenar una serie numérica.
- Es capaz de analizar los cuellos de botella de un proceso y eliminarlos.
- Permite al usuario delimitar el código que desea ejecutar para depurarlo.
- Si se tiene dudas, la ayuda en línea es una función muy útil.

La apariencia de Spyder para Python es la siguiente:

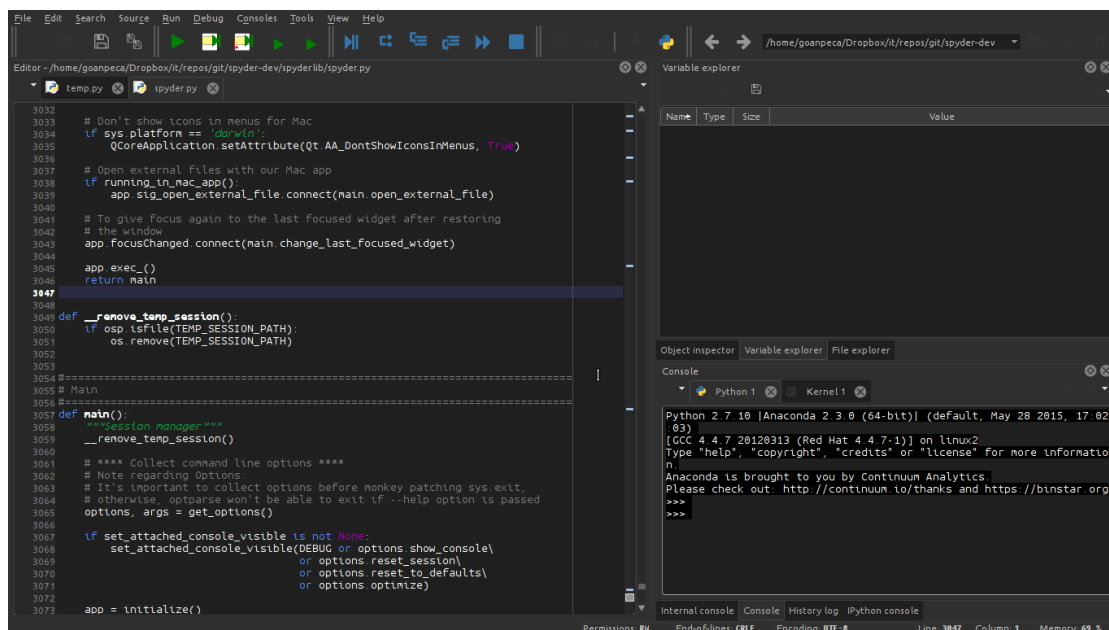


Figura 4-3: Apariencia de Spyder para Python (Peña-Castellanos, 2015).

4.1.4 PyCharm

PyCharm es un entorno de desarrollo integrado (IDE), multiplataforma, creado por la compañía JetBrains. Posee tres versiones:

- PyCharm Edu, que es gratis para propósitos educacionales
- PyCharm community, también gratuita y destinada al desarrollo puro de Python.
- PyCharm Professional, que es de pago. Usado para el desarrollo científico.

Este IDE ofrece las siguientes características en la página principal de uno de sus distribuidores (“ComponentSource,” 2020):

- Asistencia de codificación inteligente: PyCharm proporciona terminación de código inteligente, inspecciones de código, resaltado de errores sobre la marcha y soluciones rápidas junto con refactorizaciones¹⁶ de código automatizadas y capacidades de navegación

¹⁶ La refactorización es una técnica de la ingeniería de software para reestructurar un código fuente, alterando su estructura interna sin cambiar su comportamiento externo.

enriquecidas.

- Editor de código inteligente: el editor de código inteligente de PyCharm proporciona soporte para Python, JavaScript, CoffeScript y más. Destaca por la finalización de código con reconocimiento de idioma, la detección de errores y las correcciones de código sobre la marcha.
- Navegación de código inteligente: se puede usar la búsqueda inteligente para saltar a cualquiera clase, archivo o símbolo o incluso a cualquier acción IDE o ventana de herramientas.
- Refactorizaciones rápidas y seguras: gracias a esta característica, un código se puede refactorizar de manera inteligente, con cambios de nombre y eliminaciones seguras, introducción de variables o métodos en línea y otras refactorizaciones.
- Herramienta de desarrollo integradas: en estas herramientas se incluye un depurador integrado con un VCS (son sistemas que facilitan la administración de las distintas versiones de cada producto desarrollado, así como las posibles especializaciones realizadas) principal y herramientas de base de datos incorporadas.
- Depuración, prueba y creación de perfiles: este IDE ofrece un depurador con una interfaz gráfica de usuario para los lenguajes Python y JavaScript. Se puede crear y ejecutar pruebas con asistente de código y un testador de pruebas basado en GUI (es un programa informático que actúa de interfaz de usuario utilizando un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles en la interfaz).
- VCS, implementación y desarrollo remoto: gracias a una interfaz de usuario unificada se ahorra tiempo para trabajar con Git, SVN, Mercurial u otros sistemas de control de versiones. Esta característica permite ejecutar y depurar una aplicación en máquinas remotas y una fácil implementación en un host remoto o VM (Una máquina virtual es software que simula un sistema de computación y que puede ejecutar programas como si fuese una computadora real).
- Herramientas de base de datos: desde el IDE se puede acceder a base de datos como Oracle, SQL Server, PostgreSWL y otras bases.
- Desarrollo web: Pycharm proporciona soporte para varios marcos de desarrollo web para lenguajes de programación como Python, JavaScript, CoffeScript, etc.
- Framework web de Python: PyCharm ofrece soporte de Frameworks específicos para de desarrollo web moderno como Django, Flask, Google App Engine, etc. Un Framework es un conjunto estandarizado de conceptos, prácticas y criterios para enfocar un tipo de problemática particular que sirve como referencia para enfrentar y resolver nuevos problemas de índole similar.
- JavaScript & HTML: PyCharm provee soporte para JavaScript, TypeScript, HTML y CSS.
- Edición en vivo: la vista previa en vivo permite abrir una página en el editor y el navegador y el navegador actualiza de forma inteligente la página sobre la marcha mostrando sus ediciones.
- Herramientas científicas: PyCharm se integra con IPython Notebook, el cual tiene una consola interactiva de Python y es compatible con Anaconda, así como con múltiples paquetes científicos.
- Consola Python interactiva: la consola REPL de Python ofrece muchas ventajas como la verificación de sintaxis sobre la marcha con inspecciones, llaves, comillas y la finalización del código.
- Librerías de soporte científico: PyCharm tiene soporte integrado para librerías científicas. Es compatible con Pandas, Numpy, Matplotlib y otras librerías científicas.
- Integración Conda: Pycharm facilita crear y seleccionar el entorno adecuado manteniendo las dependencias aisladas.
- IDE personalizable y multiplataforma: Se puede instalar y usar PyCharm en Windows, Mac OS y Linux con una sola clave de licencia.

La apariencia de PyCharm es la siguiente:

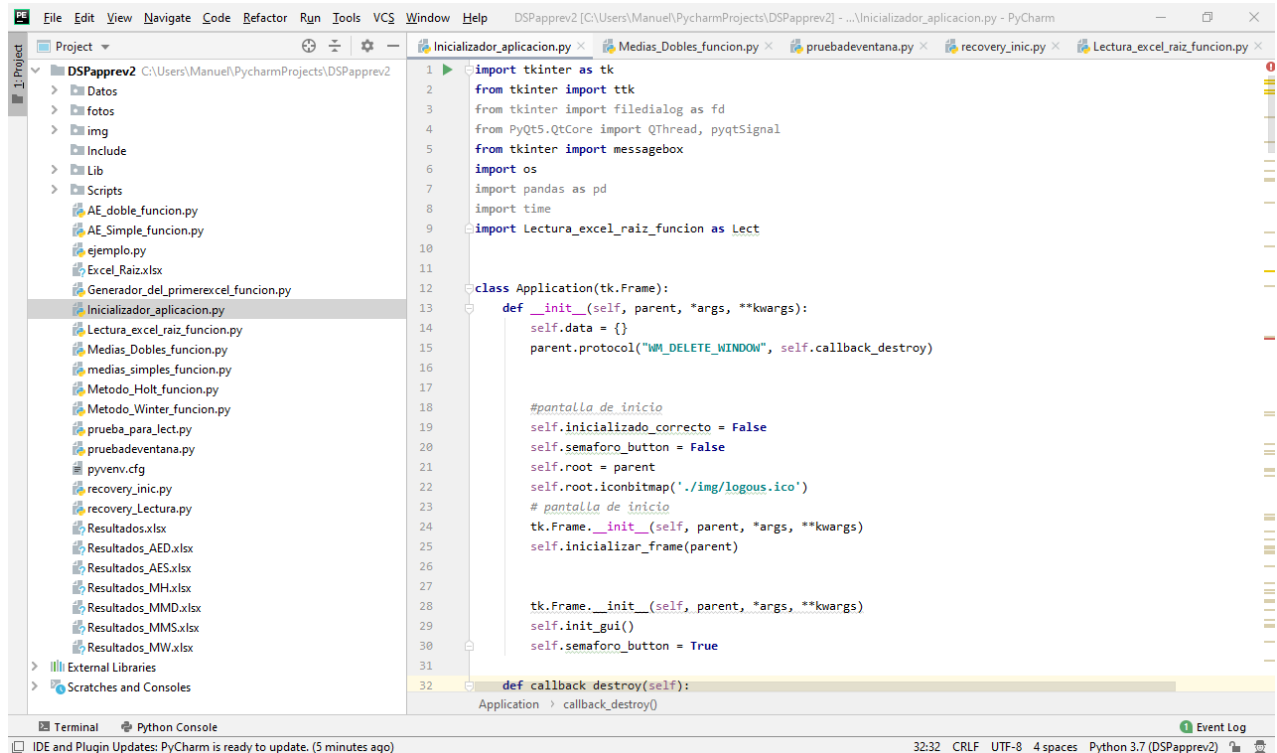


Figura 4-4: Apariencia PyCharm.

La existencia de una versión educacional gratuita unido a la utilidad de las librerías explicadas en el apartado 3.3. Herramientas básicas. Librerías, necesarias para el desarrollo de la parte práctica han sido determinantes para haber elegido al intérprete PyCharm para el desarrollo de la herramienta propuesta.

5 HERRAMIENTA

En este capítulo se explicarán tres aspectos fundamentales del proyecto: los modelos usados para el cálculo de cada método, como se han codificado en Python para obtener la herramienta final y un análisis de la hoja de resultados generada por la aplicación.

Los métodos que se han codificado han sido: media móvil simple, media móvil doble, ajuste exponencial simple, ajuste exponencial doble, método de Holt y método de Winter. Se han usado éstos y no otros de los introducidos en apartados anteriores porque son poco costosos, fáciles de programar y muy eficaces. Todos los métodos y las fórmulas usadas en estos métodos han sido hallados en (Onieva Giménez et al., 2017). A continuación, se van a dar unas orientaciones generales en función de la serie temporal a la que pertenezca cada método.

Los modelos correspondientes a la demanda nivelada son: la media móvil simple y el ajuste exponencial simple. Ambos comparten un total de veinte datos de demanda, no obstante, históricos son solo los diez primeros, lo demás se han generado con cada periodo de tiempo establecido para representar el desarrollo futuro de la demanda, realizar la previsión y analizar el error cometido.

Los modelos correspondientes a la demanda con tendencia son: la media móvil doble, el ajuste exponencial doble y el método de Holt. La media móvil doble y el ajuste exponencial simple tienen en común lo anteriormente descrito en los modelos de demanda nivelada sobre los datos de demanda. Sin embargo, el método de Holt consta de tres años de datos de demanda, divididos en trimestres, de los cuales los dos primeros años son históricos y el último año se ha generado con cada periodo de tiempo establecido para representar el desarrollo futuro de la demanda, realizar la previsión y analizar el error cometido.

El modelo correspondiente a la demanda estacional es el método de Winter. Dicho método posee cuatro años de datos de demanda. Los datos de los dos primeros años son considerados históricos, y los siguientes datos se han generado con cada periodo de tiempo establecido para representar el desarrollo futuro de la demanda, realizar la previsión y analizar el error cometido.

5.1 Media Móvil Simple

5.1.1 Marco teórico

El método de la media móvil simple o promedio móvil simple, se usa cuando se quiere dar más importancia a las muestras más recientes. El término móvil se utiliza para indicar que conforme se obtiene una nueva observación de la serie, se reemplazará por otra más antigua en la ecuación y se calculará un nuevo promedio. Con este tipo de pronósticos se pretende eliminar el impacto de elementos irregulares históricos y así reflejar un comportamiento más lineal, sin fluctuaciones severas, que generen grandes presiones en el stock y afecten negativamente a la empresa.

El uso de esta técnica supone que la serie de tiempo es estable, por tanto, que los datos que lo generan no tienen una gran variación entre ellos, es decir, que el error aleatorio es nulo. Esto ocurre para productos que son maduros en el mercado y que no son parte de una campaña publicitaria.

Las características más comunes de las medias móviles son:

- Mientras más corto sea el periodo, mayor probabilidad de que exista una falsa señal, y por

tanto, cuanto más largo sea el periodo, menor sensibilidad mostrará el promedio. Esto es sinónimo de mayor certeza.

- La media móvil se calcula con un periodo a elección del usuario.

5.1.2 Modelo matemático

5.1.2.1 Índices

t índice que representa el periodo.

T índice que representa el periodo a partir del cual se inicia la previsión.

τ índice que establece la previsión que se construye a partir del periodo T .

5.1.2.2 Conjuntos

L conjunto de los todos los periodos de datos siendo $L \in \{1, \dots, 20\}$

l_1 conjunto de los diez primeros periodos de L considerados datos históricos siendo $l_1 \in \{1, \dots, 10\}$.

l_2 conjunto de los diez últimos periodos de L que se van considerando datos a medida que pase T , siendo $l_2 \in \{1, \dots, 10\}$.

5.1.2.3 Parámetros

D_t demanda en el periodo t .

M_t media móvil simple (MMS) en el periodo t .

$\hat{D}_{t+\tau}(T)$ previsión de la demanda de $t+\tau$ en el ciclo T .

$e_t(T)$ error del periodo t en el ciclo T .

5.1.2.4 Variables de decisión

N número de periodos con los que se genera la previsión siendo $N \in \{1, \dots, 9\}$.

5.1.2.5 Ecuaciones

$$\hat{D}_{t+\tau}(T) = M_t \quad \forall t \in L$$

La previsión de la demanda de $t+\tau$ en el ciclo T coincide con la MMS en el tiempo t .

$$t > N \rightarrow M_t = M_{t-1} + \frac{D_t - D_{t-N}}{N} \quad \forall t \in L$$

Calcula la MMS en base a su estimador del tiempo anterior cuando t es mayor que el parámetro N .

$$t = N \rightarrow M_t = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N} \quad \forall t \in L$$

Calcula la MMS como sumatorio desde uno hasta N cuando el tiempo t es igual que el parámetro N .

$$t < N \rightarrow \nexists M_t \quad \forall t \in L$$

Cuando el tiempo t es menor que el parámetro N no existe la MMS.

$$e_t(T) = D_t - \hat{D}_{t+\tau}(T) \quad \forall t \in L$$

Calcula el error del periodo t en el ciclo T.

5.1.3 Análisis hoja de resultados

En la primera pestaña llamada ‘Datos’ aparecen las columnas correspondientes a los datos introducidos que van desde la columna ‘Variables’ hasta la columna ‘Demanda’. En la Figura 5-1 se puede ver de forma gráfica.

A continuación, en la pestaña llamada ‘Resultados’, a los datos mostrados en la pestaña ‘Datos’ se le añade el resultado de aplicar el método a dichos datos:

Media Móvil Simple				T=0		T=1	
Variables	(T=n)	Periodo	Demanda	$\hat{D}_{t+\tau}(T=0)$	$e_t(T=0)$	$\hat{D}_{t+\tau}(T=1)$	$e_t(T=1)$
nperiodos		1	103				
6		2	100				
		3	99				
		4	104				
		5	106				
		6	95				
		7	106				
		8	105				
		9	95				
	0	10	99				
	1	11	100	101	-1		
	2	12	104	101	3	100	4
	3	13	91	101	-10	100	-9
	4	14	103	101	2	100	3
	5	15	97	101	-4	100	-3
	6	16	90	101	-11	100	-10
	7	17	107	101	6	100	7
	8	18	109	101	8	100	9
	9	19	110	101	9	100	10
	10	20	100	101	-1	100	0

Figura 5-1: Hoja de resultados de la MMS.

En la Figura 5-1 se puede ver de manera gráfica que aparece en la pestaña de resultados, donde:

- En la primer columna aparecen las variables, en este caso la única variable es el número de periodos con el que se hará el cálculo del estimador $M_t : N$.
- En la segunda columna aparece el índice T que indica el periodo de t en el que se establece la previsión.
- En la tercera columna aparecen los periodos de t.
- En la cuarta columna aparecen los datos de demanda.
- En las columnas siguientes aparecen los resultado del método elegido para la previsión correspondientes en cada ciclo T. Siguiendo el orden de izquierda a derecha se distingue:
 - La demanda estimada para cada t en cada ciclo T ($\hat{D}_{t+\tau}(T)$).
 - El error para cada t en cada ciclo T ($e_t(T)$).

5.2 Ajuste Exponencial Simple

5.2.1 Marco teórico

El método del ajuste exponencial simple o suavización exponencial simple se basa en la atenuación de los valores en la serie de tiempo. Es también útil para patrones de demanda aleatorios o nivelados, donde se pretende eliminar los elementos irregulares históricos enfocándose en periodos de demanda recientes.

El peso aplicado a la cifra de demanda más recientes se diseña como alfa (α) y se denomina constante de alisamiento.

Como principales ventajas sobre el método de la media móvil destacamos:

- Se usa todos los datos disponibles del histórico en lugar de usar solo los más recientes.
- Puede aplicar un peso mayor a las observaciones más recientes en detrimento de las observaciones más antiguas.

5.2.2 Modelo matemático

5.2.2.1 Índices

t índice que representa el periodo.

T índice que representa el periodo a partir del cual se inicia la previsión.

τ índice que establece la previsión que se construye a partir del periodo T .

5.2.2.2 Conjuntos

L conjunto de los todos los periodos de datos siendo $L \in \{1, \dots, 20\}$.

l_1 conjunto de los diez primeros periodos de L considerados datos históricos siendo $l_1 \in \{1, \dots, 10\}$.

l_2 conjunto de los diez últimos periodos de L que se van considerando datos a medida que pase T , siendo $l_2 \in \{1, \dots, 10\}$.

5.2.2.3 Parámetros

D_t demanda en el periodo t .

S_t componente de la ordenada simple en el periodo t .

p_t componente de la tendencia en el periodo t .

$\hat{D}_{t+\tau}(T)$ previsión de la demanda de $t+\tau$ en el ciclo T .

$e_t(T)$ error del periodo t en el ciclo T .

5.2.2.4 Variables de decisión

α constante de alisamiento.

5.2.2.5 Ecuaciones

$$\hat{D}_{t+\tau}(T) = S_t \quad \forall t \in L$$

$$T = 0 \rightarrow S_0 = \frac{\sum_{t=1}^{l_1} D_t}{l_1}$$

$$T \geq 1 \rightarrow S_t = \alpha D_t + (1-\alpha)S_{t-1} \quad \forall t \in L$$

$$e_t(T) = D_t - \hat{D}_{t+\tau}(T) \quad \forall t \in L$$

La previsión de la demanda de $t+\tau$ en el ciclo T coincide con el ajuste exponencial simple en el tiempo t.

Calcula la componente de la ordenada en T=0.

Calcula el ajuste exponencial simple para t mayores o iguales a uno.

Calcula el error del tiempo t en el ciclo T.

5.2.3 Análisis hoja de resultados

En la primera pestaña llamada ‘Datos’ aparecen las columnas correspondientes a los datos introducidos que van desde la columna ‘Variables’ hasta la columna ‘Demanda’. En la Figura 5-2 se puede ver de forma gráfica.

A continuación, en la pestaña llamada ‘Resultados’, a los datos mostrados en la pestaña ‘Datos’ se le añade el resultado de aplicar el método a dichos datos:

Ajuste Exponencial Simple				T=0		T=1	
Variables	T (n=10)	Periodo	Demanda	$\hat{D}_{t+\tau}(T=0)$	$e_t(T=0)$	$\hat{D}_{t+\tau}(T=1)$	$e_t(T=1)$
α		1	102				
0,3		2	112				
		3	111				
		4	107				
		5	112				
		6	130				
		7	130				
		8	136				
		9	135				
	0	10	132				
	1	11	138	120,7	17,3		
	2	12	154	120,7	33,3	125,89	28,11
	3	13	146	120,7	25,3	125,89	20,11
	4	14	143	120,7	22,3	125,89	17,11
	5	15	149	120,7	28,3	125,89	23,11
	6	16	150	120,7	29,3	125,89	24,11
	7	17	168	120,7	47,3	125,89	42,11
	8	18	169	120,7	48,3	125,89	43,11
	9	19	182	120,7	61,3	125,89	56,11
	10	20	169	120,7	48,3	125,89	43,11

Figura 5-2: Hoja de resultados del AES

En la Figura 5-2 se puede ver de manera gráfica que aparece en la pestaña de resultados, donde:

- En la primer columna aparecen las variables, en este caso la única variable es la constante de alisamiento (α).
- En la segunda columna aparece el índice T que indica el periodo de t en el que se establece la previsión.
- En la tercera columna aparecen los periodos de t.
- En la cuarta columna aparecen los datos de demanda.
- En las columnas siguientes aparecen los resultado del método elegido para la previsión correspondientes en cada ciclo T. Siguiendo el orden de izquierda a derecha se distingue:
 - La demanda estimada para cada t en cada ciclo T ($\hat{D}_{t+\tau}(T)$).
 - El error para cada t en cada ciclo T ($e_t(T)$).

Finalmente, aparece una tercera pestaña llamada ‘Inicialización’ en la que se encuentran los datos correspondientes del cálculo en $T = 0$:

Ajuste Exponencial Simple	
	T=0
S_0	120,7

Figura 5-3: Hoja de inicialización del AES.

Donde:

- S_0 valor de la componente de la ordenada en $T = 0$.

5.3 Media Móvil Doble

5.3.1 Marco teórico

En el caso de la media móvil doble o promedio móvil doble, el comportamiento de los datos pasa de ser nivelado a mostrar crecimiento o decrecimiento, pero con una tendencia estable.

El método consiste en calcular un conjunto de medias móviles y enseguida volver a realizar el proceso para ese conjunto.

5.3.2 Modelo matemático

5.3.2.1 Índice

t índice que representa el periodo.

T índice que representa el periodo a partir del cual se inicia la previsión.

τ índice que establece la previsión que se construye a partir del periodo T.

5.3.2.2 Conjuntos

L conjunto de los todos los periodos de datos, siendo $L \in \{1, \dots, 20\}$.

l_1 conjunto de los diez primeros periodos de datos históricos, siendo $l_1 \in \{1, \dots, 10\}$.

l_2 conjunto de los diez últimos periodos de datos históricos, siendo $l_2 \in \{1, \dots, 10\}$.

5.3.2.3 Parámetros

- D_t demanda en el periodo t.
- $\hat{D}_{t+\tau}(T)$ previsión de la demanda de $t+\tau$ en el ciclo T.
- MM_t primer estimador de la media móvil doble (MMD) en el periodo t.
- $MM_t^{[2]}$ segundo estimador de la media móvil doble (MMD) en el periodo t.
- D componente permanente.
- p componente de la tendencia.
- $e_t(T)$ error del periodo t en el ciclo T.

5.3.2.4 Variables de decisión

N número de periodos con los que se genera la previsión siendo $N \in \{1, \dots, 5\}$.

5.3.2.5 Ecuaciones

$$\hat{D}_{t+\tau}(T) = D + p \times \tau \quad \forall t \in L$$

Calcula la previsión de la demanda de $t+\tau$ en el ciclo T.

$$t > 2 \times N \quad \left\{ \begin{array}{l} MM_t^{[2]} = MM_{t-1}^{[2]} + \frac{MM_t - MM_{t-N}}{N} \\ MM_t = MM_{t-1} + \frac{D_t - D_{t-N}}{N} \end{array} \right. \quad \forall t \in L$$

Calcula los estimadores de las medias móviles en el periodo en el que t sea mayor que 2N.

$$t = 2 \times N \quad \left\{ \begin{array}{l} MM_t^{[2]} = \frac{\sum_{i=1}^N MM_i}{N} \\ MM_t = MM_{t-1} + \frac{D_t - D_{t-N}}{N} \end{array} \right. \quad \forall t \in L$$

Calcula los estimadores de las medias móviles en el periodo en el que t sea igual que 2N.

$$N < t < 2 \times N \quad \left\{ \begin{array}{l} \cancel{MM}_t^{[2]} \\ MM_t = MM_{t-1} + \frac{D_t - D_{t-N}}{N} \end{array} \right. \quad \forall t \in L$$

Calcula los estimadores las medias móviles en el periodo en el que t sea menor que 2N, pero mayor que N.

$$t = N \quad \left\{ \begin{array}{l} \cancel{MM}_t^{[2]} \\ MM_t = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N} \end{array} \right. \quad \forall t \in L$$

Calcula los estimadores de las medias móviles en el periodo en el que t sea igual que N.

$$t < N \quad \left\{ \begin{array}{l} \cancel{MM}_t^{[2]} \\ \cancel{MM}_t \end{array} \right. \quad \forall t \in L$$

Calcula los estimadores de las medias móviles en el periodo en el que t sea menor que N.

$$D = 2MM_{t-1} - MM_t^{[2]} \quad \forall t \in L$$

Calcula la componente permanente.

$$p = \frac{2}{N-1} (MM_{t-1} - MM_t^{[2]}) \quad \forall t \in L$$

Calcula la componente de la tendencia.

$$e_t(T) = D_t - \hat{D}_{t+\tau}(T)$$

$$\forall t \in L$$

Calcula el error del tiempo t en el ciclo T .

5.3.3 Análisis hoja de resultados

En la primera pestaña llamada ‘Datos’ aparecen las columnas correspondientes a los datos introducidos que van desde la columna ‘Variables’ hasta la columna ‘Demanda’. En la Figura 5-4 se puede ver de forma gráfica.

A continuación, en la pestaña llamada ‘Resultados’, a los datos mostrados en la pestaña ‘Datos’ se le añade el resultado de aplicar el método a dichos datos:

Media Móvil Doble				T=0					
Variables	(T=n)	Periodo	Demanda	MM_t	$MM_t^{[2]}$	D	p	$\check{D}_{t+\tau}(T=0)$	$e_t(T=0)$
nperiodos		1	103						
4		2	100						
		3	99						
		4	104	101,5					
		5	106	102,25					
		6	95	101					
		7	106	102,75	101,88				
		8	105	103	102,25				
		9	95	100,25	101,75				
	0	10	99	101,25	101,81	100,69	-0,37		
	1	11	100					100,32	-0,32
	2	12	104					99,95	4,05
	3	13	91					99,58	-8,58
	4	14	103					99,21	3,79
	5	15	97					98,84	-1,84
	6	16	90					98,47	-8,47
	7	17	107					98,1	8,9
	8	18	109					97,73	11,27
	9	19	110					97,36	12,64
	10	20	100					96,99	3,01

Figura 5-4: Hoja de resultados de la MMD.

En la Figura 5-4 se puede ver de manera gráfica que aparece en la pestaña de resultados, donde:

- En la primer columna aparecen las variables, en este caso la única variable es el número de periodos con el que se hará el cálculo del primer y segundo estimador: N.
- En la segunda columna aparece el índice T que indica el periodo de t en el que se establece la previsión.
- En la tercera columna aparecen los periodos de t.
- En la cuarta columna aparecen los datos de demanda.
- En las columnas siguientes aparecen los resultado del método elegido para la previsión correspondientes en cada ciclo T. Siguiendo el orden de izquierda a derecha se distingue:
 - El primer estimador de la media móvil doble (MM_t) en el periodo t.

- El segundo estimador de la media móvil doble ($MM_t^{[2]}$) en el periodo t .
- La componente permanente (D).
- La componente de la tendencia (p).
- La previsión de demanda del periodo t en el ciclo T ($\hat{D}_{t+\tau}(T)$).
- El error del tiempo t en el ciclo T ($e_t(T)$).

5.4 Ajuste Exponencial Doble

5.4.1 Marco teórico

En el caso del ajuste exponencial doble o suavización exponencial doble ocurre como en el método de la media móvil doble, se usa este método para comportamientos históricos con tendencia estable, bien sea de crecimiento bien de decrecimiento.

5.4.2 Modelo matemático

5.4.2.1 Índices

- t índice que representa el periodo.
 T índice que representa el periodo a partir del cual se inicia la previsión.
 τ índice que establece la previsión que se construye a partir del periodo T .

5.4.2.2 Conjuntos

- L conjunto de los todos los periodos de datos, siendo $L \in \{1, \dots, 20\}$.
 l_1 conjunto de los diez primeros periodos de datos históricos, siendo $l_1 \in \{1, \dots, 10\}$.
 l_2 conjunto de los diez últimos periodos de datos históricos, siendo $l_2 \in \{1, \dots, 10\}$.

5.4.2.3 Parámetros

- D_t demanda en el periodo t .
 S_t componente de la ordenada simple en el periodo t .
 $S_t^{[2]}$ componente de la ordenada doble en el periodo t .
 $\hat{D}_{t+\tau}(T)$ previsión de la demanda de $t+\tau$ en el ciclo T .
 D componente permanente.
 p componente de la tendencia.
 $e_t(T)$ error del periodo t en el ciclo T .

5.4.2.4 Variables de decisión

- α constante de alisamiento.

5.4.2.5 Ecuaciones

$$\hat{D}_{t+\tau}(T) = D + p \times \tau \quad \forall t \in L$$

Calcula la previsión de la demanda de $t+\tau$ en el ciclo T .

$$T = 0 \rightarrow D_0, p_0 \rightarrow \text{Anexo I}$$

Para tiempos iguales a 0, consultar el Anexo I. Cálculo de la recta de regresión.

$$T = 0 \rightarrow S_0 = D_0 - \frac{1-\alpha}{\alpha} p_0$$

Calcula el valor de la ordenada simple en T=0

$$T = 0 \rightarrow S_0^{[2]} = D_0 - 2\frac{1-\alpha}{\alpha} p_0$$

Calcula el valor de la ordenada doble en T=0

$$T \geq 1 \rightarrow S_t = \alpha D_t + (1-\alpha)S_{t-1} \quad \forall t \in L$$

Calcula el primer estimador del ajuste exponencial para t mayores o iguales a uno.

$$T \geq 1 \rightarrow S_t^{[2]} = \alpha S_t + (1-\alpha)S_{t-1}^{[2]} \quad \forall t \in L$$

Calcula el segundo estimador del ajuste exponencial para t mayores o iguales a uno.

$$D = 2S_t - S_t^{[2]} \quad \forall t \in L$$

Calcula la componente permanente.

$$p = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S_t - S_t^{[2]}) \quad \forall t \in L$$

Calcula la componente de tendencia.

$$e_t(T) = D_t - \hat{D}_{t+\tau}(T) \quad \forall t \in L$$

Calcula el error del tiempo t en el ciclo T.

5.4.2.6 Anexo I. Cálculo de la recta de regresión

Para obtener los valores de D_0 y p_0 , se hará mediante una recta de regresión en la que p_0 será el valor de la pendiente y D_0 donde corta la recta al eje de ordenadas. Los datos que se van a usar para el cálculo de esta recta serán los valores de S_t considerados históricos, es decir, el conjunto representado por l_1 , y el método para el cálculo de la recta de regresión (Arteaga & Molina, 2019). Se parte de la fórmula para el cálculo de la recta de regresión:

$$y - \bar{y} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} (x - \bar{x}) \quad (1.38)$$

Donde:

- y va a ser la componente del eje de ordenadas.
- x va a ser la componente del eje de abscisas.
- \bar{y} va a ser la media de los datos históricos de L , es decir, l_1 . Se calcula de la siguiente forma:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^{l_1} L_t}{l_1} \quad (1.39)$$

- \bar{x} va a ser la media de los datos históricos de D_t . Se calcula de la siguiente forma:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{t=1}^{l_1} L_t}{l_1} \quad (1.40)$$

- σ_{xy} es la covarianza de x e y. Se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^{l_1} x_t y_t}{l_1} - \bar{x}\bar{y} \quad (1.41)$$

- σ_x^2 es la varianza de x al cuadrado. Se calcula de la siguiente forma.

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{t=1}^{l_1} x_t^2}{l_1} - \bar{x}^2 \quad (1.42)$$

Una vez desglosada la fórmula (1.38), se desea de la siguiente forma:

$$y = ax + b \quad (1.43)$$

Así se podrán relacionar las variables:

- $a = D_0$
- $b = p_0$

Haciendo que la ecuación (1.38) tenga la forma de la ecuación (1.43) se obtiene:

$$y = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} + \bar{y} - \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} \bar{x} \quad (1.44)$$

Donde finalmente se calculan los valores de D_0 y p_0 :

- $a = D_0 = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2}$
- $b = p_0 = \bar{y} - \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} \bar{x}$

5.4.3 Análisis hoja de resultados

En la primera pestaña llamada ‘Datos’ aparecen las columnas correspondientes a los datos introducidos que van desde la columna ‘Variables’ hasta la columna ‘Demanda’. En la Figura 5-5 se puede ver de forma gráfica.

A continuación, en la pestaña llamada ‘Resultados’, a los datos mostrados en la pestaña ‘Datos’ se le añade el resultado de aplicar el método a dichos datos:

Ajuste Exponencial Doble				T=0					
Variables	T (n=10)	Periodo	Demanda	S_t	$S_t^{[2]}$	D	p	$\hat{D}_{t+\tau}(T=0)$	$e_t(T=0)$
α		1	110						
0,8		2	98						
		3	104						
		4	115						
		5	123						
		6	121						
		7	120						
		8	118						
		9	123						
	0	10	128	101,542	100,917	102,167	2,5		
	1	11	135					104,667	30,333
	2	12	137					107,167	29,833
	3	13	158					109,667	48,333
	4	14	157					112,167	44,833
	5	15	161					114,667	46,333
	6	16	161					117,167	43,833
	7	17	174					119,667	54,333
	8	18	168					122,167	45,833
	9	19	168					124,667	43,333
	10	20	184					127,167	56,833

Figura 5-5: Hoja de resultados del AED.

En la Figura 5-5 se puede ver de manera gráfica que aparece en la pestaña de resultados, donde:

- En la primer columna aparecen las variables, en este caso la única variable es la constante de alisamiento (α).
- En la segunda columna aparece el índice T que indica el periodo de t en el que se establece la previsión.
- En la tercera columna aparecen los periodos de t.
- En la cuarta columna aparecen los datos de demanda.
- En las columnas siguientes aparecen los resultado del método elegido para la previsión correspondientes en cada ciclo T. Siguiendo el orden de izquierda a derecha se distingue:
 - El primer estimador del ajuste exponencial doble (S_t) en el periodo t.
 - El segundo estimador del ajuste exponencial doble ($S_t^{[2]}$) en el periodo t.
 - La componente permanente (D).
 - La componente de la tendencia (p).
 - La previsión de demanda del periodo t en el ciclo T ($\hat{D}_{t+\tau}(T)$).
 - El error del tiempo t en el ciclo T ($e_t(T)$).

Finalmente, aparece una tercera pestaña llamada ‘Inicialización’ en la que se encuentran los datos correspondientes del cálculo del Anexo I. Cálculo de la recta de regresión:

Ajuste Exponencial Doble	
T=0	
D_0	102,167
p_0	2,5

Figura 5-6: Hoja de inicialización del AED.

Donde:

- D_0 es el valor donde corta la recta al eje de ordenadas en $T = 0$.
- p_0 es el valor de la pendiente en $T = 0$.

5.5 Método de Holt

5.5.1 Marco teórico

Este método también permite proyectar demandas con tendencias tanto crecientes como decrecientes. Consta de dos parámetros, uno para nivel (α) relacionado con el nivel que han alcanzado los datos, y otro para tendencia (β) relacionado con la tendencia ascendente o descendente de las observaciones.

5.5.2 Modelo matemático

5.5.2.1 Índices

- t índice que representa el periodo.
 T índice que representa el periodo a partir del cual se inicia la previsión.
 τ índice que establece la previsión que se construye a partir del periodo T .

5.5.2.2 Conjuntos

- L conjunto de los todos los periodos de datos (doce trimestres), siendo $L \in \{1, \dots, 12\}$.
 l_1 conjunto del primer año de datos históricos, siendo $l_1 \in \{1, \dots, 4\}$.
 l_2 conjunto del segundo año de datos históricos, siendo $l_2 \in \{1, \dots, 4\}$.
 l_3 conjunto del tercer año de datos históricos, siendo $l_3 \in \{1, \dots, 4\}$.

5.5.2.3 Parámetros

- D_t demanda en el periodo t .
 $\hat{D}_{t+\tau}(T)$ previsión de la demanda de $t+\tau$ en el ciclo T .
 S_t componente de la ordenada en el periodo t .
 p_t componente de la tendencia en el tiempo t .
 $e_t(T)$ error del periodo t en el ciclo T .

5.5.2.4 Variables de decisión

- α constante de alisamiento del valor de la ordenada.
 β constante de alisamiento del valor de la pendiente.

5.5.2.5 Ecuaciones

$$D_{t+\tau}(T) = S_t + \tau p_t \quad \forall t \in L$$

Calcula la previsión de la demanda de $t + \tau$ en el ciclo T.

$$T = 0 \rightarrow D_0, p_0 \rightarrow \text{Anexo I}$$

Para tiempos iguales a 0, consultar el Anexo I. Cálculo de la recta. de regresión.

$$T = 0 \rightarrow S_0 = D_0 + (l_1 + l_2)p_0$$

Para tiempos iguales a 0, consultar el Anexo I. Cálculo de la recta. de regresión.

$$T \geq 1 \rightarrow S_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + p_{t-1}) \quad \forall t \in L$$

Calcula la componente de la ordenada para tiempos mayores o iguales a uno.

$$T \geq 1 \rightarrow p_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)p_{t-1} \quad \forall t \in L$$

Calcula la componente de la ordenada para tiempos mayores o iguales a uno.

$$e_t(T) = D_t - \hat{D}_{t+\tau}(T) \quad \forall t \in L$$

Calcula el error del tiempo t en el ciclo T.

5.5.3 Análisis hoja de resultados

En la primera pestaña llamada 'Datos' aparecen las columnas correspondientes a los datos introducidos que van desde la columna 'Variables' hasta la columna 'Demanda'. En la Figura 5-7 se puede ver de forma gráfica.

A continuación, en la pestaña llamada 'Resultados', a los datos mostrados en la pestaña 'Datos' se le añade el resultado de aplicar el método a dichos datos:

Método de Holt					T=0			
Variables	Año	(T=n)	Trimestre	Demanda	S_t	p_t	$\hat{D}_{t+\tau}(T=0)$	$e_t(T=0)$
α	1		1	107				
0,2			2	102				
β			3	110				
0,9			4	106				
	2		1	121				
			2	110				
			3	116				
		0	4	133	124,253	3,179		
	3	1	1	123			127,432	-4,432
		2	2	136			130,611	5,389
		3	3	136			133,79	2,21
		4	4	136			136,969	-0,969

Figura 5-7: Hoja de resultados del MH.

En la Figura 5-7 se puede ver de manera gráfica que aparece en la pestaña de resultados, donde:

- En la primer columna aparecen las variables, en este caso aparecen las constantes de alisamiento del valor de la ordenada (α) y de la pendiente (β).
- En la segunda columna aparece el año al que corresponde cada trimestre.
- En la tercera columna aparece el índice T que indica el periodo de t en el que se establece la previsión.
- En la cuarta columna aparecen los periodos de t.
- En la quinta columna aparecen los datos de demanda.
- En las columnas siguientes aparecen los resultado del método elegido para la previsión correspondientes en cada ciclo T. Siguiendo el orden de izquierda a derecha se distingue:
 - La componente de la ordenada (s_t) en el periodo t.
 - La componente de la tendencia (p_t) en el periodo t.
 - La previsión de demanda del periodo t en el ciclo T ($\hat{D}_{t+\tau}(T)$).
 - El error del tiempo t en el ciclo T ($e_t(T)$).

Finalmente, aparece una tercera pestaña llamada ‘Inicialización’ en la que se encuentran los datos correspondientes del cálculo del Anexo I. Cálculo de la recta de regresión:

Método de Holt	
T=0	
a= P_0	3,179
b= D_0	98,821

Figura 5-8: Hoja de inicialización del MH.

Donde:

- p_0 es el valor de la pendiente en $T = 0$.
- D_0 es el valor donde corta la recta al eje de ordenadas en $T = 0$.

5.6 Método de Winter

5.6.1 Marco teórico

El método de Winter se usa cuando los datos además de presentar una tendencia, también recogen una componente de estacionalidad. Esta técnica es una extensión del método de Holt.

5.6.2 Modelo matemático

5.6.2.1 Índices

- t índice que representa el periodo.
 T índice que representa el periodo a partir del cual se inicia la previsión.
 τ índice que establece la previsión que se construye a partir del periodo T .

5.6.2.2 Conjuntos

- L_{Total} conjunto de los todos los periodos de datos siendo $L \in \{1, \dots, 13\}$. Son dos años y un trimestre en total, nueve trimestres.
 l_1 conjunto del primer año de datos históricos, siendo $l_1 \in \{1, \dots, 4\}$.
 l_2 conjunto del segundo año de datos históricos, siendo $l_2 \in \{1, \dots, 4\}$.
 l_3 conjunto del tercer año de datos históricos, siendo $l_3 \in \{1, \dots, 4\}$.
 l_4 conjunto del cuarto año de datos históricos, siendo $l_4 \in \{1, \dots, 4\}$.
 $L = l_1 = l_2 = l_3 = l_4$

5.6.2.3 Parámetros

- D_t demanda en el periodo t .
 $\hat{D}_{t+\tau}(T)$ previsión de la demanda de $t+\tau$ en el ciclo T .
 μ_1 media del primer conjunto l_1 .
 μ_2 media del segundo conjunto l_2 .
 p_0 valor de la pendiente en la inicialización del método $T=0$.
 D_0 valor de la ordenada en la inicialización del método $T=0$.
 S_t componente de la ordenada en el periodo t .
 $\bar{F}_t(1,2)$ componente estacional sin normalizar. Depende de uno (1) si hace referencia al conjunto l_1 o de dos (2) si hace referencia al conjunto l_2 . $t \in \{1, \dots, 4\}$.
 \bar{F}_{t-l_1} componente estacional sin normalizar media de $\bar{F}_t(1)$ y $\bar{F}_t(2)$.
 F_{t-l_1} componente estacional normalizada.
 p_t componente de la tendencia en el tiempo t .
 $e_t(T)$ error del periodo t en el ciclo T .

5.6.2.4 Variables de decisión

- α constante de alisamiento del valor de la ordenada.
 β constante de alisamiento del valor de la pendiente.
 γ constante de alisamiento del valor estacional.

5.6.2.5 Ecuaciones

El método de Winter se realiza mediante un algoritmo que necesita inicialización para $T=0$. Los pasos para dicha inicialización son los siguientes:

- Cálculo de las medias de las demandas (μ_1, μ_2) pertenecientes a los conjuntos l_1, l_2 :

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=1}^{l_1} D_i}{l_1}$$

$$\mu_2 = \frac{\sum_{i=l_1+1}^{l_2} D_i}{l_2}$$

- Cálculo del valor de la pendiente y la ordenada (p_0, D_0) en $T=0$:

$$p_0 = \frac{\mu_2 - \mu_1}{L}$$

$$D_0 = \mu_2 + \frac{L-1}{2} p_0$$

- Cálculo de las componentes estacionales sin normalizar y su media $\forall i \in \{1, \dots, 4\}$:

$$\bar{F}_i(1) = \frac{D_i}{\mu_1 - \left(\frac{L+1}{2} - i\right) p_0}$$

$$\bar{F}_i(2) = \frac{D_{i+l_1}}{\mu_2 - \left(\frac{L+1}{2} - i\right) p_0}$$

- Cálculo de las medias de las componentes estacionales.

$$\bar{F}_i = \frac{\bar{F}_i(1) + \bar{F}_i(2)}{2} \quad \forall i \in \{1, \dots, L\}$$

- Normalización de las componentes estacionales:

$$F_{i-L} = L \frac{\bar{F}_i}{\sum_{i=1}^L \bar{F}_i} \quad \forall i \in \{1, \dots, L\}$$

- Una vez inicializado el método, se puede proceder al cálculo de la previsión de la demanda en $T=0$ mediante la fórmula:

$$D_{t+\tau}(0) = (D_0 + \tau p_0) F_{t-L} \quad \forall t \in L$$

Para cambiar de ciclo a $T=1$ se deben seguir los siguientes pasos:

- Estimar la componente de la tendencia (p_t) y la ordenada (S_t) asumiendo $S_0 = D_0$:

$$S_t = \alpha \frac{D_t}{F_{t-L}} + (1-\alpha)(S_{t-1} + p_{t-1}) \quad \forall t \in L$$

$$p_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)p_{t-1} \quad \forall t \in L$$

- Estimación del factor estacional:

$$\bar{F}_t = \gamma \frac{D_t}{S_t} + (1-\gamma)F_{t-L} \quad \forall t \in L$$

- Normalización del factor estacional de cada ciclo de L iteraciones:

$$F_t = L \frac{\bar{F}_t}{\sum_{i=T-L+1}^t \bar{F}_i} \quad \text{donde } t = nL + 1, nL + 2, \dots, (n+1)L$$

- Una vez inicializado el método, se puede proceder al cálculo de la previsión de la demanda en $T = 1$ mediante la fórmula:

$$D_{t+\tau}(1) = (D_1 + \tau p_1)F_{t-L+\tau} \quad \forall t \in L$$

5.6.3 Análisis hoja de resultados

En la primera pestaña llamada ‘Datos’ aparecen las columnas correspondientes a los datos introducidos que van desde la columna ‘Variables’ hasta la columna ‘Demanda’. En la Figura 5-9 se puede ver de forma gráfica.

A continuación, en la pestaña llamada ‘Resultados’, a los datos mostrados en la pestaña ‘Datos’, se le añade el resultado de aplicar el método a dichos datos:

Método de Winter					T=0									
Variables	Año	(T=n)	Trimestre	Demanda	S_0	p_0	$\hat{F}_{t-4+\tau}$		$F_{t-4+\tau}$		$\check{D}_{t+\tau}(T=0)$		$e_t(T=0)$	
α	1		1	110,9										
0,8			2	130,6										
β			3	152										
0,9			4	110,4										
δ	2		1	112,1			\hat{F}_{-3}	0,8814	F_{-3}	0,8815				
0,8			2	133			\hat{F}_{-2}	1,0327	F_{-2}	1,0329				
			3	163,5			\hat{F}_{-1}	1,2248	F_{-1}	1,2249				
			0	4	113,1	132,0938	1,1125	\hat{F}_0	0,8606	F_0	0,8607			
	3	1	1	113,2							$\check{D}_{0+1}(0)$	117,4236	$e_1(0)$	-4,224
			2	138,7							$\check{D}_{0+2}(0)$	138,7319	$e_2(0)$	-0,032
			3	171							$\check{D}_{0+3}(0)$	165,8963	$e_3(0)$	5,104
			4	113,7							$\check{D}_{0+4}(0)$	117,5203	$e_4(0)$	-3,82
	4		1	113,8							$\check{D}_{0+5}(0)$	121,3464	$e_5(0)$	-7,546
			2	115							$\check{D}_{0+6}(0)$	143,3281	$e_6(0)$	-28,328
			3	120							$\check{D}_{0+7}(0)$	171,3473	$e_7(0)$	-51,347
			4	130							$\check{D}_{0+8}(0)$	121,3503	$e_8(0)$	8,65

Figura 5-9: Hoja de resultados MW.

En la Figura 5-9 se puede ver de manera gráfica que aparece en la pestaña de resultados, donde:

- En la primera columna aparecen las variables, en este caso aparecen las constantes de alisamiento del valor de la ordenada (α), de la pendiente (β) y del valor estacional (γ).
- En la segunda columna aparece el año al que corresponde cada trimestre.
- En la tercera columna aparece el índice T que indica el periodo de t en el que se establece la previsión.
- En la cuarta columna aparecen los periodos de t.
- En la quinta columna aparecen los datos de demanda.
- En las columnas siguientes aparecen los resultados del método elegido para la previsión correspondientes en cada ciclo T. Siguiendo el orden de izquierda a derecha se distingue:
 - El valor de la componente de la ordenada (S_0) en $T = 0$.
 - El valor de la pendiente (p_0) en $T = 0$.
 - La media de la componente estacional sin normalizar, representada en el Excel como: \bar{F}_{t-l_1} y en el modelo como \bar{F}_{t-l_1} .
 - La media de la componente estacional normalizada, representada en el Excel como: F_{t-l_1} y en el modelo como F_{t-l_1} .
 - La previsión de demanda del periodo t en el ciclo T ($\hat{D}_{t+\tau}(T)$).
 - El error del tiempo t en el ciclo T ($e_t(T)$).

Finalmente, aparece una tercera pestaña llamada ‘Inicialización’ en la que se encuentran los datos correspondientes del cálculo del Anexo I. Cálculo de la recta de regresión:

Método de Winter				
T=0				
μ_1	125,975	$F_1(1)$		0,8922
μ_2	130,425	$F_2(1)$		1,0413
P_0	1,1125	$F_3(1)$		1,2013
D_0	132,0938	$F_4(1)$		0,8649
			$F_1(2)$	0,8706
			$F_2(2)$	1,0241
			$F_3(2)$	1,2483
			$F_4(2)$	0,8562

Figura 5-10: Hoja de inicialización del MW.

Donde:

- Los valores de inicialización para $T = 0$ son:
 - μ_1 es la media de los trimestres del primer año (l_1).
 - μ_2 es la media de los trimestres del segundo año (l_2).
 - p_0 es el valor de la pendiente en $T = 0$.
 - D_0 es el valor donde corta la recta al eje de ordenadas en $T = 0$.
 - $\bar{F}_t(1,2)$ la componente estacional sin normalizar.

6 CONCLUSIONES

El principal objetivo del desarrollo de la aplicación para la previsión de la demanda es académico. Pretende ayudar al alumno a conocer los conceptos fundamentales de la previsión de la demanda.

La aplicación esta diseñada para ayudar al estudiante de forma interactiva a comprender los conceptos más básicos:

- La herramienta resuelve pequeños ejercicios de previsión de la demanda, donde el usuario puede analizar los métodos de previsión impartidos en la asignatura de ‘Diseño de sistemas productivos’.
- Los ejercicios se muestran en tablas de Excel donde las previsiones en cada instante temporal se exponen en diferentes columnas, ya que éste es uno de los fallos más comunes cometido en los exámenes.
- La hoja ‘Datos’ permite utilizar la herramienta como sistema de entrenamiento y estudio de los ejercicios de la asignatura. El alumno pueda realizar los cálculos antes de conocer la solución y así poder cotejarlos.
- La herramienta desglosa todas las operaciones que se realizan en cada método con sus respectivos resultados para que el estudiante pueda conocer con un mayor grado de precisión donde ha cometido el error.
- El archivo se genera en una hoja Excel para que el alumno si lo desea pueda aplicar las formulas vistas en el apartado: ‘2.6. Fiabilidad en la previsión’.
- El apartado: ‘2.7. Previsión de la demanda con la herramienta Excel’, pretende dar una base teórica para que el alumno pueda comparar los resultados obtenidos por la aplicación con los que obtendría en el Excel.

En la herramienta se puede seleccionar el modo:

- Si se elije el modo manual donde será el alumno el que tenga que identificar si la demanda que desea proyectar es nivelada, con tendencia o estacional y establecer los parámetros para afinarla. Una vez clasificada la sucesión de datos, si desea dar un paso más allá, puede comparar los distintos métodos propuestos en cada tipo de demanda. Para ayudar al alumno en este fin, cada método cuenta con una columna que contiene el error de la proyección en el tiempo t .
- Si se elije el modo automático acompañado del método con el que quiere realizar la previsión, el propio programa propone una serie de datos que se adapta al tipo de demanda que prevé dicho método, es decir, si se escoge que los parámetros sean aleatorios en el método de las medias móviles simples, la aplicación generará una demanda nivelada. En este tipo de uso, las variables son elegidas por la aplicación de forma aleatoria dentro del rango admisible de éstas

Tras el desarrollo de esta herramienta, para conocer si ha cumplido su objetivo mediante los puntos expuestos anteriormente, habrá que esperar a que sea usada por los estudiantes y comprobar a lo largo de los siguientes cursos si las calificaciones de la materia de 'Diseño de Sistemas Productivos' han mejorado.

7 FUTURAS MEJORAS

Tras la finalización del trabajo, se han detectado una serie de posibles mejoras, las cuales son expuestas en este epígrafe. Además, se introducen otras metodologías para el análisis y previsión de la demanda.

7.1 Mejoras en la aplicación

A continuación se exponen un conjunto de posibles mejoras y funcionalidades para la herramienta de estudio de previsión de la demanda:

- Cuando falta algún dato histórico, que la aplicación pregunte como desea el usuario rellenarlo. Si se desea hacer una interpolación o sustituirlos por ceros.
- Una funcionalidad que genere el Excel 'Datos' cuando este dañado.
- Se puede añadir un gráfico para cada ciclo de T en el que se muestren los datos de demanda y las previsiones calculadas. También resultaría interesante calcular un límite superior e inferior de confianza y representarlo en dicho gráfico. Se obtendrían varios gráficos para una misma hoja Excel, esto haría necesario su correcta enumeración.
- Una funcionalidad que permita elegir más de un método a la vez para calcular la previsión de una serie de históricos. La finalidad de este punto es poder comparar diferentes métodos para una misma serie temporal. Esta propuesta cobra más sentido una vez expuesto el siguiente punto.
- Otra mejora sería poder comparar que método se ajusta mejor a una serie temporal. Para ello primero se calcularía la previsión a dicha serie temporal por los métodos deseados y luego se aplicarían los indicadores vistos en el punto: '2.6. Fiabilidad en la previsión'. Estos indicadores se calcularían para cada ciclo de T, dando lugar a entre dos y once indicadores estimadores dependiendo del método elegido. Para poder cotejarlos de una forma más fácil, se haría una media que agrupe todos los estimadores por cada ciclo de T y así se podrían comparar los estimadores entre métodos de una forma sencilla
- En lugar de dar un dato fijo de las variables dar un intervalo. Así, al generar el libro Excel con las previsiones, se generarían una hoja con cada posibilidad existente en la casuística. De este modo se busca afinar un método a través de sus propias variables.

7.2 Mejoras en la previsión de la demanda

Para el cálculo de previsiones pueden aplicarse modelos analíticos. Los modelos analíticos son capaces de separar e integrar los factores más influyentes en la demanda total (población, hábitos, climatología, nivel de renta, etc). Gracias a esta característica ofrecen hipótesis muy realistas sobre la evolución de la demanda futura.

La revolución digital está convirtiendo la analítica avanzada de datos y la inteligencia artificial herramientas clave de negocio ya que, son eficientes, poco costosos y se adaptan al comportamiento del mercado.

El Big Data¹⁷ permite a las empresas almacenar una ingente cantidad de dato. De estos datos se nutren las técnicas de Machine Learning¹⁸, con las que el área de ventas puede calcular previsiones de ventas más precisas y así elaborar estrategias de precios más adecuadas.

Otro modelo estadístico importante es el Deep Learning, el cual representa el acercamiento más profundo entre los sistemas neuronales humanos a los sistemas artificiales. De este tipo de modelo se habló en el apartado '2.5 Métodos de inteligencia artificial'.

Los modelos analíticos tienen en común que intentan minimizar la intervención de los humanos sobre los datos, no obstante, la toma de decisión sigue en mano de las personas.

¹⁷ El Big data o datos masivos hace referencia al almacenamiento de grandes cantidades de datos, tanto estructurados como no estructurados, que invaden los negocios cada día.

¹⁸ El Machine Learning es la ciencia de conseguir decisiones por parte de un ordenador sin haber sido programadas previamente. Son algoritmos para tratar datos, aprender de ellos y generar una respuesta a corde.

REFERENCIAS

- Agudo, S. (2016). IDEs y editores: ¿qué diferencias hay entre ellos a la hora de escribir código? *Genbeta*.
- Alchin, M., & Peters, T. (2010). The Zen of Python. In *Pro Python* (pp. 301–302). https://doi.org/10.1007/978-1-4302-2758-8_14
- Allen, P. G., & Fildes, R. (2001). *Econometric Forecasting*. Massachusetts: University of Massachusetts.
- Anaconda. (2019). Anaconda Python/R Distribution. Retrieved January 28, 2020, from <https://www.anaconda.com/distribution/>
- Arcos, Á. (2019a). *La oferta y la demanda*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Arcos, Á. (2019b). *Producción y costes*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Arteaga, B., & Molina, I. (2019). *Tema 7. Relaciones entre variables: Regresión*. Madrid: Universidad Carlos III.
- Astigarraga, E. (2003). *EL MÉTODO DELPHI*. San Sebastián: Universidad de Deusto.
- Atom. (2015). Themes of Atom. Retrieved February 17, 2020, from <https://atom.io/themes/dark-flat-ui>
- Bansal, R. (2018). *Python GUI - tkinter*. Retrieved from <https://www.geeksforgeeks.org/python-gui-tkinter/>
- Betancourt, D. F. (2015a). Consulta a la fuerza de ventas. Retrieved January 29, 2020, from <https://ingenioempresa.com/consulta-fuerza-de-ventas/>
- Betancourt, D. F. (2015b). Jurado de opinión ejecutiva. Retrieved January 29, 2020, from <https://ingenioempresa.com/jurado-opinion-ejecutiva/>
- Blancarte, O. (2017). IDE vs Editor de texto - Software Architecture. Retrieved January 28, 2020, from <https://www.oscarblancarteblog.com/2017/10/26/ide-vs-editor-de-texto/>
- Brugués, A. (2019). *Configurar Atom para programar en Python*. Retrieved from <https://www.programaenpython.com/miscelanea/configurar-atom-para-programar-en-python/>
- Cárdenas Vidaurri, H., & Casimiro Zacarrías, I. (2002). *Fundamentos de economía*. Mexico: trillas.
- Chu, C. W., & Zhang, G. P. (2003). A comparative study of linear and nonlinear models for aggregate retail sales forecasting. *International Journal of Production Economics*, 86(3), 217–231. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00068-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00068-9)
- ComponentSource. (2020). Retrieved January 28, 2020, from <https://www.componentsource.com/product/pycharm/about>
- Corres, G. A., Esteban, A., García, J. C., & Zárata, Cl. (2009). Análisis De Series Temporales Time Series Analysis. *Revista Ingeniería Industrial*, 1, 21–34.
- de Arce, R., & Mahía, R. (2003). *MODELOS ARIMA*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Diccionario de la Real Academia Española (RAE). (2019). Definición de producción. Retrieved January 31, 2020, from <https://dle.rae.es/producción?m=form>
- El filtro de Kalman. (2014). Retrieved from <http://quantdare.com/filtro-kalman/>
- García García, N., & Poler Escoto, R. (2018). *Modelo causal de previsión de demanda y metodología para la identificación de variables explicativas y valores extraordinarios. Aplicación a una empresa del sector de soluciones de lavado para la automatización*. (p. 134). p. 134. Valencia: Universitat politècnica de valència.
- Gaynor, P. E., & Kirkpatrick, R. C. (1994). *Introduction to Time Series Modeling and*

- Forecasting in Business and Economics*. McGraw-Hill Education (Ise Edition).
- Gestión de Operaciones Tutoriales. (2015). Método Delphi para Pronósticos de Ventas. Retrieved January 31, 2020, from <https://www.gestiondeoperaciones.net/proyeccion-de-demanda/metodo-delphi-para-pronosticos-de-ventas/>
- Gómez-Puig, M. (2006). *Introducción a la microeconomía*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Gonzalez Duque, R. (2018). Python para todos. In *Letras*. Creative Commons Reconocimiento 2.5 España.
- Hortalà i Arau, J. (2009). *Microeconomía teoría económica*. Vicens Vives.
- Machin, S. J. (2005). *xlrd documentation — xlrd 1.1.0 documentation*. Retrieved from <https://xlrd.readthedocs.io/en/latest/>
- Microsoft. (2016). Crear una previsión en Excel para Windows. Retrieved January 29, 2020, from <https://support.office.com/es-es/article/crear-una-previsión-en-excel-para-windows-22c500da-6da7-45e5-bfdc-60a7062329fd>
- Montero, M. (2017). ¿Qué es una encuesta de mercado? . Retrieved January 29, 2020, from <https://www.emprendepyme.net/que-es-una-encuesta-de-mercado.html>
- Nicholson, W. (2008). *Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones* (9th ed.; M. S. Ávalos Bracho & M. M. Muñoz Sánchez, Eds.). Retrieved from <http://latinoamerica.cengage.comwww.freelibros.me>
- Onieva Giménez, L., Escudero Santana, A., Cortés Achedad, P., Muñuzuri Sanz, J., & Guadix Martín, J. (2017). *Diseño y gestión de sistemas productivos* (D. Editorial, Ed.).
- Pandas. (2020). Pandas documentation. Retrieved January 29, 2020, from https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/getting_started/overview.html
- Peña-Castellanos, G. (2015). Add a Spyder dark theme. Retrieved January 28, 2020, from <https://github.com/spyder-ide/spyder/issues/2350>
- Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2017). *Microeconomics*. Pearson Education.
- Python. (2020). Random — Generate pseudo-random numbers. Retrieved January 29, 2020, from <https://docs.python.org/2/library/random.html>
- Rodríguez, T. (2019). Razones para el uso de Python. *Genbeta*.
- Ruiz, E. (1997). *Un programa para el análisis de series temporales* (pp. 175–193). pp. 175–193. Madrid: Universidad Carlos III.
- Spyder. (2018). Spyder Website. Retrieved January 28, 2020, from <https://www.spyder-ide.org/>
- The Worksheet Class — XlsxWriter Documentation. (n.d.). Retrieved January 29, 2020, from https://xlsxwriter.readthedocs.io/worksheet.html#write_rich_string
- Vargas Biesuz, B. E. (2014). La Función de producción COBB - DOUGLAS. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica*, Vol. 15, pp. 15–28. Bolivia: Universidad La Salle.
- VIM and Python – A Match Made in Heaven – Real Python. (2018). Retrieved January 28, 2020, from <https://realpython.com/vim-and-python-a-match-made-in-heaven/>
- VIM como ide de Python . (2011). Retrieved January 31, 2020, from <https://droope.org/2011/10/05/vim-como-ide-de-python/>
- Viscencio-Brambila, H. (2002). *Economía para la toma de decisiones*. Cengage Learning.