

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DEL PERÚ**

**Escuela de Posgrado**



**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL COSTO  
LOGÍSTICO EN LAS REMESAS DE EFECTIVO DE LAS  
SUCURSALES DE UNA ENTIDAD BANCARIA  
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE  
ANALÍTICA**

Tesis para obtener el grado académico de Magíster en Ingeniería  
y Gestión de Cadenas de Suministro que presenta:

***Andres Washington Muggi Cisneros***

Asesor:

***Jonatan Edward Rojas Polo***

Lima, 2023


## Informe de Similitud

Yo, **Jonatan Edward Rojas Polo**, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulado **PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL COSTO LOGÍSTICO EN LAS REMESAS DE EFECTIVO DE LAS SUCURSALES DE UNA ENTIDAD BANCARIA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE ANALÍTICA**, del autor **Andres Washington Muggi Cisneros** dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de **8 %**. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 19/06/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

**Lima. 19 de junio de 2023**

Apellidos y nombres del asesor: Rojas Polo, Jonatan Edward <u>Paterno Materno, Nombre1 Nombre 2</u>	
DNI: 42529429	Firma: 
ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-5498-4090">https://orcid.org/0000-0001-5498-4090</a>	

### Análisis temporal

BANDEJA DE ENTRADA | ESTÁS VIENDO: TRABAJOS NUEVOS ▾

Entregar archivo		Informe de calificación en línea   Editar la configuración del ejercicio   Correo electrónico sin remitentes						
<input type="checkbox"/>	AUTOR	TÍTULO	SIMILITUD	NOTA	RESPUESTA	ARCHIVO	N° DEL TRABAJO	FECHA
<input type="checkbox"/>	Andres Washington Mu...	PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL COSTO LOGÍ...	8%	<span style="color: green;">■</span>	--	<input type="checkbox"/>	2117950122	17-jun-2023

## DEDICATORIA

A:

*Mi madre Aura Cisneros, por darme la vida, compartir jubilosamente mis éxitos y sigilosamente mis caídas. Y, sobre todo, por brindarme el espíritu de lucha constante, particularmente durante esta época tan difícil que nos tocó vivir, me demostraste con el ejemplo propio como superar todas las pruebas que nos pone la vida. Por ello, este trabajo va dedicado sobre todo para ti.*

*Mi padre Washington Muggi, a quien nunca podré agradecer lo suficiente por todo su trabajo, dedicación, consejos de experto y sacrificio constante.*

*Y muy especialmente, a mi abuela Luzmila Cuellar, por ser ejemplo de vida y gran consejera eterna.*



## AGRADECIMIENTOS

A:

*Dios, por darme la oportunidad de vivir, iluminar mi mente y fortalecer mi corazón del espíritu ignaciano, haciéndome entender que el que no vive para servir, no sirve para vivir, más aún en el ámbito de la investigación.*

*Al equipo del banco para el cual trabajo, quienes, en contribución a la investigación, proporcionaron la data necesaria para llevar a cabo el presente estudio.*

*Todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.*





## RESUMEN

El presente trabajo de tesis titulado “Propuesta de optimización del costo logístico en las remesas de efectivo de las sucursales de una entidad bancaria mediante la aplicación de herramientas de analítica” se sitúa en el ámbito de los costos logísticos en las entidades bancarias y con el enfoque de optimizar los costos correspondientes a las remesas de efectivo mediante la aplicación de herramientas analíticas.

El punto de partida de esta investigación es que es posible optimizar la logística para las remesas de efectivo seguida por las diferentes sucursales de una entidad bancaria, y con ello se pretende demostrar que se puede mejorar los niveles de efectivo en las sucursales sin disminuir el nivel de servicio al cliente al proporcionar la cantidad adecuada de efectivo en la ubicación y tiempo correctos. Para conseguirlo se ha realizado una investigación bibliográfica que contextualiza el tema, y que ha consistido en la revisión de *papers* donde se utilizan técnicas de pronóstico de las necesidades de efectivo en sucursales bancarias, así como libros que explican la teoría y aplicación de herramientas analíticas. Por otro lado, se ha realizado un trabajo de campo que ha llevado a recolectar y analizar la data de los depósitos y retiros de clientes, así como los envíos y recaudos de remesas de efectivo por sucursales. Luego se ha procedido a diseñar y validar modelos que apliquen herramientas analíticas a fin de pronosticar los montos de efectivo requeridos, evitando la generación de excedentes o escasez de efectivo en las sucursales.

Finalmente, considero que este trabajo puede resultar interesante para los gerentes bancarios, quienes requieren tener herramientas que les permitan tomar decisiones acertadas a fin de asegurar una gestión eficiente del efectivo.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>LISTADO DE ACRÓNIMOS</b> .....	<b>4</b>
<b>PARTE 1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
<b>Capítulo 1. Cadena de Suministro de Efectivo</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1. Descripción de la Cadena de Suministro de Efectivo</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1.1. Cadena de Suministro de Efectivo en USA</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1.2. Cadena de Suministro de Efectivo en Brasil</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1.3. Cadena de Suministro de Efectivo en la Unión Europea</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1.4. Cadena de Suministro de Efectivo en Perú</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2. Producto de la cadena de suministro de efectivo</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2.1. Efectivo en el caso estadounidense</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2.2. Efectivo en el caso peruano</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2.3. Efectivo en otros casos</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3. Actores de la cadena de suministro de efectivo</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3.1. Banco Central</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3.2. Transportistas de Efectivo</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3.3. Sucursales bancarias</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3.4. Cajeros Automáticos</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3.5. Comercios</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3.6. Clientes</b> .....	<b>14</b>
<b>1.4. Movimientos en la cadena de suministro de Efectivo</b> .....	<b>14</b>

1.4.1.	Abastecimiento de ATM 's.....	14
1.4.2.	Remesado de Sucursales Bancarias .....	15
1.4.3.	Envío/Recaudo de Comercios.....	16
1.4.4.	Depósitos/Retiros del Banco Central.....	16
1.4.5.	Traslados Inter bóveda .....	17
1.4.6.	Movimientos de efectivo entre bancos .....	17
1.5.	Costos en la cadena de suministro de Efectivo .....	18
1.5.1.	Transporte o distribución de efectivo.....	20
1.5.2.	Materiales .....	20
1.5.3.	Recuento de efectivo.....	21
1.5.4.	Depuración de efectivo .....	21
1.5.5.	Custodia de efectivo.....	21
1.5.6.	Costo de oportunidad .....	22
1.6.	Logística de Efectivo en Oficinas.....	22
1.6.1.	Gestión de inventarios de efectivo en oficinas.....	22
1.6.2.	Costos en la logística de efectivo de oficinas .....	25
Capítulo 2.	Data Analytics .....	27
2.1.	Descripción de Data Analytics .....	27
2.2.	Fases del Data Analytics .....	28
2.2.1.	Data Mining.....	29
2.2.1.1.	Entendimiento del Negocio .....	30
2.2.1.2.	Entendimiento de la Data .....	30
2.2.1.3.	Preparación de la data.....	31
2.2.1.4.	Modelamiento .....	32
2.2.1.5.	Evaluación .....	32
2.2.2.	Implementación del proyecto Analytics .....	33
2.3.	Herramientas del Data Analytics .....	34

2.3.1.	<b>Análisis de Clústeres .....</b>	<b>34</b>
2.3.1.1.	<b>K-Means .....</b>	<b>35</b>
2.3.1.2.	<b>K-Medoides .....</b>	<b>36</b>
2.3.1.3.	<b>Jerárquico .....</b>	<b>37</b>
2.3.2.	<b>Análisis de Principales Componentes (PCA).....</b>	<b>38</b>
2.3.2.1.	<b>Algebra matricial .....</b>	<b>38</b>
2.3.2.2.	<b>Cálculo de los componentes principales.....</b>	<b>39</b>
2.3.3.	<b>Árbol de decisión.....</b>	<b>40</b>
2.3.4.	<b>Random Forest.....</b>	<b>41</b>
2.3.5.	<b>Redes neuronales.....</b>	<b>42</b>
<b>PARTE 2. MARCO METODOLÓGICO .....</b>		<b>45</b>
<b>Capítulo 3. Antecedentes .....</b>		<b>45</b>
3.1.	<b>Sucursales bancarias .....</b>	<b>45</b>
3.2.	<b>Distribución de Oficinas por distrito en Lima.....</b>	<b>46</b>
3.3.	<b>Empresas Transportadoras de valores .....</b>	<b>49</b>
3.4.	<b>Envíos y Recaudos por oficina.....</b>	<b>49</b>
<b>Capítulo 4. Mapeo del Servicio .....</b>		<b>53</b>
4.1.	<b>Descripción del proceso .....</b>	<b>53</b>
4.1.1.	<b>Envío de remesas .....</b>	<b>53</b>
4.1.2.	<b>Recaudo de remesas.....</b>	<b>54</b>
4.2.	<b>Proceso de modelado de dinámica de sistemas.....</b>	<b>54</b>
4.2.1.	<b>Antecedentes .....</b>	<b>54</b>
4.2.2.	<b>Articulación del problema .....</b>	<b>57</b>
4.2.3.	<b>Formulación de la hipótesis dinámica .....</b>	<b>57</b>
4.2.4.	<b>Diagrama de bucle causal .....</b>	<b>57</b>
4.2.4.1.	<b>Diagrama de bucle causal para Envío de remesas.....</b>	<b>57</b>
4.2.4.2.	<b>Diagrama de bucle causal para Recaudo de remesas de aptos ..</b>	<b>62</b>

4.2.4.3.	Diagrama de bucle causal para Recaudo de remesas de deteriorados.....	66
4.2.5.	Diagrama de stock y flujo .....	68
4.2.5.1.	Diagrama de stock y flujo de efectivo apto en oficinas .....	70
4.2.5.2.	Diagrama de stock y flujo de efectivo deteriorado en oficinas....	71
4.3.	Costo actual del proceso .....	72
4.3.1.	Costo de transporte.....	72
4.3.2.	Costo de materiales.....	74
4.3.3.	Costo de procesamiento.....	75
4.3.4.	Costo de custodia.....	76
4.3.5.	Costo de oportunidad financiero.....	79
4.3.6.	Costo total .....	80
4.4.	Pareto de Costos logísticos.....	81
Capítulo 5.	Entendimiento del Negocio y de los datos.....	84
5.1.	Entendimiento del Negocio.....	84
5.1.1.	Identificación del problema.....	84
5.1.2.	Objetivo del Negocio.....	84
5.1.3.	Evaluación del contexto .....	84
5.1.3.1.	Inventario de recursos .....	84
5.1.3.2.	Restricciones y consideraciones.....	84
5.1.3.3.	Costos actuales.....	85
5.2.	Entendimiento de los Datos.....	85
5.2.1.	Recolección de los Datos .....	85
5.2.2.	Descripción de los Datos.....	86
5.2.3.	Exploración de los Datos.....	87
5.2.3.1.	Identificación de tipo de atributo .....	87
5.2.3.2.	Análisis univariado .....	87

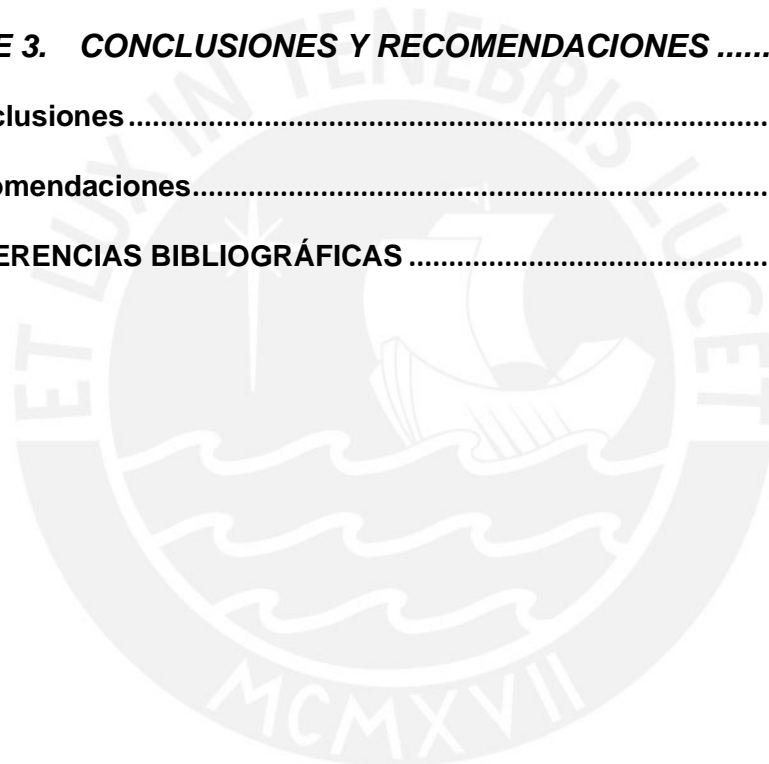
5.2.3.3.	Análisis multivariado .....	91
Capítulo 6.	Preparación de datos .....	95
6.1.	Tratamiento de datos faltantes .....	95
6.2.	Tratamiento de datos atípicos .....	97
6.2.1.	Outliers Aditivos (AO) .....	97
6.2.1.1.	Depósitos en Ventanilla .....	98
6.2.1.2.	Retiros en Ventanilla .....	114
6.2.2.	Outliers de Cambio de Nivel (LS).....	136
6.2.2.1.	Depósitos en Ventanilla .....	136
6.2.2.2.	Retiros en Ventanilla .....	137
6.2.3.	Outliers de Cambio Temporal (TC).....	139
6.2.3.1.	Depósitos en Ventanilla .....	139
6.2.3.2.	Retiros en Ventanilla .....	146
Capítulo 7.	Clusterización de oficinas .....	154
7.1.	Depósito Ventanilla .....	154
7.1.1.	Jerárquico.....	154
7.1.2.	K-Medias .....	161
7.1.3.	K-Medoides.....	166
7.2.	Retiro Ventanilla .....	170
7.2.1.	K-Medoides.....	171
7.2.2.	K-Medias .....	174
7.2.3.	Jerárquico.....	178
7.3.	Resumen de resultados.....	183
Capitulo 8.	Modelamiento Analítico .....	185
8.1.	Depósito Ventanilla .....	185
8.1.1.	Clúster 1.....	185
8.1.1.1.	Arima .....	185

8.1.1.2.	ARIMA boost.....	186
8.1.1.3.	Suavizado Exponencial (ETS) .....	187
8.1.1.4.	Autorregresión de Red Neuronal (NNAR).....	188
8.1.1.5.	Random Forest.....	188
8.1.1.6.	Random Forest afinado.....	189
8.1.1.7.	XGBoost.....	189
8.1.1.8.	XGBoost Afinado .....	190
8.1.1.9.	Modelo Lineal Generalizado (GLM).....	191
8.1.2.	Clúster 2.....	191
8.1.2.1.	ARIMA.....	191
8.1.2.2.	ARIMA boost.....	192
8.1.2.3.	Suavizado Exponencial (ETS) .....	193
8.1.2.4.	Autorregresión de Red Neuronal (NNAR).....	194
8.1.2.5.	Modelo Lineal Generalizado (GLM).....	194
8.1.2.6.	Random Forest.....	195
8.1.2.7.	Random Forest Afinado .....	195
8.1.2.8.	XGBoost.....	196
8.1.2.9.	XGBoost Afinado .....	196
8.2.	Retiro Ventanilla .....	197
8.2.1.	Clúster 1.....	198
8.2.1.1.	ARIMA boost.....	198
8.2.1.2.	Suavizado Exponencial (ETS) .....	198
8.2.1.3.	Autorregresión de Red Neuronal (NNAR).....	199
8.2.1.4.	Modelo Lineal Generalizado (GLM).....	199
8.2.1.5.	Random Forest.....	200
8.2.1.6.	Random Forest Afinado .....	200
8.2.1.7.	XGBoost.....	201

8.2.1.8.	XGBoost Afinado .....	202
8.2.1.9.	ARIMA.....	203
8.2.2.	Clúster 2.....	204
8.2.2.1.	ARIMA.....	204
8.2.2.2.	Suavizado Exponencial (ETS) .....	205
8.2.2.3.	Autorregresión de Red Neuronal (NNAR) .....	205
8.2.2.4.	XGBoost Afinado .....	206
8.2.2.5.	ARIMA boost.....	206
8.3.	Resumen de resultados.....	207
<b>Capitulo 9. Optimización .....</b>		<b>209</b>
9.1.	Metodología .....	209
9.2.	Modelo .....	209
9.2.1.	Notación.....	209
9.2.2.	Conjuntos .....	209
9.2.3.	Parámetros .....	210
9.2.3.1.	Tarifario .....	210
9.2.3.2.	Límites de oficinas.....	210
9.2.3.3.	Input oficinas.....	210
9.2.3.4.	Billeteaje promedio .....	211
9.2.4.	Variables de decisión .....	211
9.2.5.	Función objetivo .....	212
9.2.6.	Restricciones .....	213
9.2.6.1.	Balance de inventarios.....	213
9.2.6.2.	Límites de oficinas.....	213
9.2.6.3.	Límites de montos de remesa .....	213
9.2.6.4.	Restricción de solo enviar o recoger el mismo día .....	214
9.2.6.5.	Cantidad de conos y ladrillos a recoger .....	214

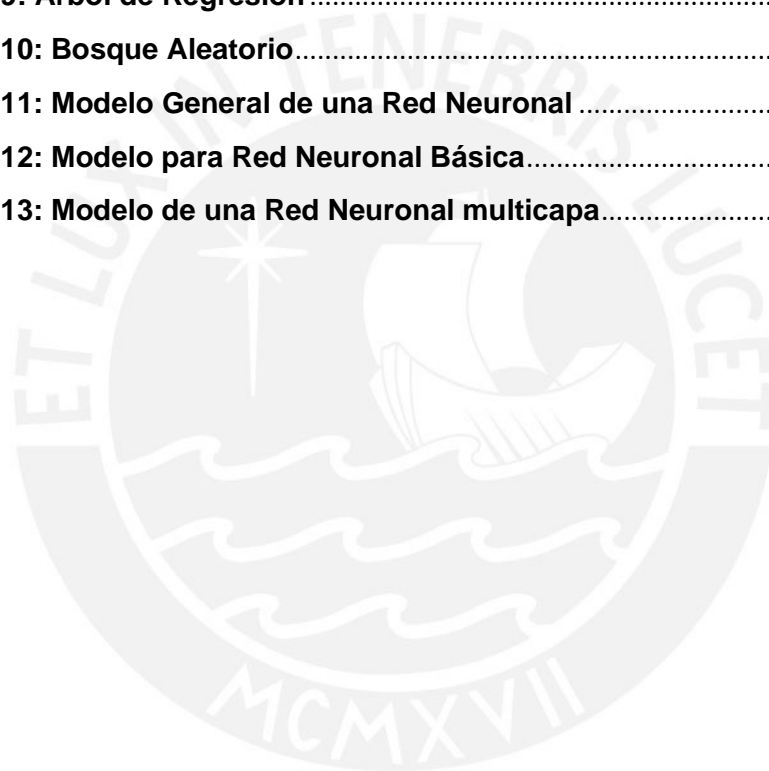


9.2.6.6.	Costo de envíos y recaudos .....	214
9.2.6.7.	Costo de recuento y depuración.....	215
9.2.6.8.	Costo total.....	215
9.2.6.9.	Cálculo de valores promedio.....	216
9.2.7.	Rango de existencia.....	216
9.3.	Resultados y análisis.....	217
9.3.1.	Situación Actual.....	217
9.3.2.	Situación Propuesta.....	218
<b>PARTE 3.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>220</b>
	Conclusiones .....	220
	Recomendaciones.....	221
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>222</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Estructura de la Cadena de Suministro de Efectivo .....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2: Clasificación del Efectivo en USA .....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 3: Movimientos de Efectivo en la Cadena Suministro de Efectivo .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 4: Logística de Efectivo en Sucursales Bancarias .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5: Fases del Modelo CRISP .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 6: K-Means Clustering con K=3 .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 7: K-Medoid Clustering .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 8: Análisis de los dos Principales Componentes .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 9: Árbol de Regresión .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 10: Bosque Aleatorio .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 11: Modelo General de una Red Neuronal .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 12: Modelo para Red Neuronal Básica .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 13: Modelo de una Red Neuronal multicapa .....</b>	<b>44</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución de oficinas por distrito en Lima .....	48
Tabla 2: Inventario de Fuentes de Datos .....	86
Tabla 3: Tipo de Atributos .....	88
Tabla 4: Estadísticos Básicos Atributos numéricos .....	89
Tabla 5: Resumen de clústeres Seleccionados por Transacción .....	183
Tabla 6: Resumen de Resultados ARIMA Depósitos Ventanilla K=1 .....	186
Tabla 7: Hiperparámetros ARIMA Boost Depósitos Ventanilla K=1 .....	187
Tabla 8: Resumen de Resultados ARIMA Boost Depósitos Ventanilla K=1 .....	187
Tabla 9: Resumen de Resultados ETS Depósitos Ventanilla K=1 .....	187
Tabla 10: Resumen de Resultados NNAR Depósitos Ventanilla K=1 .....	188
Tabla 11: Hiperparámetros Random Forest Depósitos Ventanilla K=1 .....	188
Tabla 12: Resumen de Resultados RF Depósitos Ventanilla K=1 .....	189
Tabla 13: Hiperparámetros Random Forest Afinado Depósitos Ventanilla K=1 .....	189
Tabla 14: Resumen de Resultados RF Afinado Depósitos Ventanilla K=1 .....	189
Tabla 15: Hiperparámetros XGBoost Depósitos Ventanilla K=1 .....	190
Tabla 16: Resumen de Resultados XGBoost Depósitos Ventanilla K=1 .....	190
Tabla 17: Hiperparámetros XGBoost Afinado Depósitos Ventanilla K=1 .....	190
Tabla 18: Resumen de Resultados XGBoost Afinado Depósitos Ventanilla K=1 .....	191
Tabla 19: Resumen de Resultados GLM Depósitos Ventanilla K=1 .....	191
Tabla 20: Resumen de Resultados ARIMA Depósitos Ventanilla K=2 .....	192
Tabla 21: Hiperparámetros ARIMA Boost Depósitos Ventanilla K=2 .....	192
Tabla 22: Resumen de Resultados ARIMA Boost Depósitos Ventanilla K=2 .....	193
Tabla 23: Resumen de Resultados ETS Depósitos Ventanilla K=2 .....	193
Tabla 24: Resumen de Resultados NNAR Depósitos Ventanilla K=2 .....	194
Tabla 25: Resumen de Resultados GLM Depósitos Ventanilla K=2 .....	194
Tabla 26: Hiperparámetros Random Forest Depósitos Ventanilla K=2 .....	195
Tabla 27: Resumen de Resultados RF Depósitos Ventanilla K=2 .....	195
Tabla 28: Hiperparámetros Random Forest Afinado Depósitos Ventanilla K=2 .....	195
Tabla 29: Resumen de Resultados RF Afinado Retiros Ventanilla K=2 .....	196
Tabla 30: Hiperparámetros XGBoost Depósitos Ventanilla K=2 .....	196

<b>Tabla 31: Resumen de Resultados XGBoost Depósitos Ventanilla K=2 .....</b>	<b>196</b>
<b>Tabla 32: Hiperparámetros XGBoost Afinado Depósitos Ventanilla K=2.....</b>	<b>197</b>
<b>Tabla 33: Resumen de Resultados XGBoost Afinado Depósitos Ventanilla K=2 .....</b>	<b>197</b>
<b>Tabla 34: Hiperparámetros ARIMA Boost Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>198</b>
<b>Tabla 35: Resumen de Resultados ARIMA Boost Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>198</b>
<b>Tabla 36: Resumen de Resultados ETS Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>199</b>
<b>Tabla 37: Resumen de Resultados NNAR Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>199</b>
<b>Tabla 38: Resumen de Resultados GLM Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>200</b>
<b>Tabla 39: Hiperparámetros Random Forest Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>200</b>
<b>Tabla 40: Resumen de Resultados RF Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>200</b>
<b>Tabla 41: Hiperparámetros Random Forest Afinado Retiros Ventanilla K=1 ..</b>	<b>201</b>
<b>Tabla 42: Resumen de Resultados RF Afinado Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>201</b>
<b>Tabla 43: Hiperparámetros XGBoost Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>201</b>
<b>Tabla 44: Resumen de Resultados XGBoost Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>202</b>
<b>Tabla 45: Hiperparámetros XGBoost Afinado Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>202</b>
<b>Tabla 46: Resumen de Resultados XGBoost Afinado Retiros Ventanilla K=1</b>	<b>202</b>
<b>Tabla 47: Resumen de Resultados ARIMA Retiros Ventanilla K=1 .....</b>	<b>204</b>
<b>Tabla 48: Resumen de Resultados ARIMA Retiros Ventanilla K=2.....</b>	<b>205</b>
<b>Tabla 49: Resumen de Resultados ETS Retiros Ventanilla K=2.....</b>	<b>205</b>
<b>Tabla 50: Resumen de Resultados NNAR Retiros Ventanilla K=2 .....</b>	<b>205</b>
<b>Tabla 51: Hiperparámetros XGBoost Afinado Retiros Ventanilla K=2 .....</b>	<b>206</b>
<b>Tabla 52: Resumen de Resultados XGBoost Afinado Retiros Ventanilla K=2</b>	<b>206</b>
<b>Tabla 53: Hiperparámetros ARIMA Boost Retiros Ventanilla K=2.....</b>	<b>207</b>
<b>Tabla 54: Resumen de Resultados ARIMA Boost Retiros Ventanilla K=2 .....</b>	<b>207</b>
<b>Tabla 55: Resumen de Performance de Modelos Seleccionados diario .....</b>	<b>208</b>
<b>Tabla 56: Resumen de Performance de Modelos Seleccionados mensual .....</b>	<b>208</b>
<b>Tabla 57: Resumen Comparativo de Remesas Actual vs Optimizado .....</b>	<b>218</b>
<b>Tabla 58: Resumen Comparativo de Costos Actual vs Optimizado .....</b>	<b>218</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1: Proporción de Sucursales Bancarias .....</b>	<b>45</b>
<b>Gráfico 2: Subtipos de oficinas .....</b>	<b>46</b>
<b>Gráfico 3: Origen de Oficinas Minoristas .....</b>	<b>46</b>
<b>Gráfico 4: Ubicación de oficinas minoristas en Lima .....</b>	<b>47</b>
<b>Gráfico 5: Parque de oficinas minoristas en Lima Metropolitana .....</b>	<b>49</b>
<b>Gráfico 6: Cantidad de Remesas Anuales por divisa .....</b>	<b>50</b>
<b>Gráfico 7: Cantidad por tipos de Remesas Anuales.....</b>	<b>50</b>
<b>Gráfico 8: Monto Remesado Anual en Soles.....</b>	<b>51</b>
<b>Gráfico 9: Monto por tipo de Remesa Anual (solarizado) .....</b>	<b>51</b>
<b>Gráfico 10: Monto Remesado Anual Solarizado (Soles al cambio) .....</b>	<b>52</b>
<b>Gráfico 11: Flujograma Envío de Remesas a Oficina.....</b>	<b>55</b>
<b>Gráfico 12: Flujograma Recaudo de Remesas de Oficina .....</b>	<b>56</b>
<b>Gráfico 13: Diagrama de Bucle causal a partir de depósitos de efectivo apto para Envío de Remesas de Oficina.....</b>	<b>58</b>
<b>Gráfico 14: Diagrama de Bucle causal para Remesas de Oficina .....</b>	<b>59</b>
<b>Gráfico 15: Bucle de retroalimentación negativa para Envío de Remesas de Oficina originado por depósitos de aptos .....</b>	<b>60</b>
<b>Gráfico 16: Diagrama de Bucle causal a partir de retiros de efectivo apto para Envío de Remesas de Oficina .....</b>	<b>60</b>
<b>Gráfico 17: Bucle de retroalimentación negativa para Envío de Remesas de Oficina originado por retiros de aptos.....</b>	<b>61</b>
<b>Gráfico 18: Bucle de retroalimentación positiva para Envío de Remesas de Oficina considerando efectivo en disponibilidad.....</b>	<b>62</b>
<b>Gráfico 19: Diagrama de Bucle causal a partir de depósitos de efectivo apto para Recaudo de Remesas de Oficina .....</b>	<b>63</b>
<b>Gráfico 20: Bucle de retroalimentación negativa para Recaudo de Remesas de Oficina originado por depósitos de aptos .....</b>	<b>63</b>
<b>Gráfico 21: Diagrama de Bucle causal a partir de retiros de efectivo apto para Recaudo de Remesas de Oficina .....</b>	<b>64</b>
<b>Gráfico 22: Bucle de retroalimentación negativa para Recaudo de Remesas de Oficina originado por retiros de aptos.....</b>	<b>65</b>
<b>Gráfico 23: Bucle de retroalimentación positiva para Recaudo de Remesas de Oficina considerando efectivo en disponibilidad.....</b>	<b>66</b>

<b>Gráfico 24: Diagrama de Bucle causal a partir de depósitos de efectivo deteriorado para Recaudo de Remesas de Oficina .....</b>	<b>67</b>
<b>Gráfico 25: Bucle de retroalimentación negativa para Recaudo de Remesas de Oficina originado por depósitos de deteriorados .....</b>	<b>68</b>
<b>Gráfico 26: Diagrama de Stock y Flujo en Oficinas .....</b>	<b>69</b>
<b>Gráfico 27: Diagrama de Stock y Flujo de efectivo apto en Oficinas .....</b>	<b>70</b>
<b>Gráfico 28: Diagrama de Stock y Flujo de efectivo deteriorado en Oficinas.....</b>	<b>71</b>
<b>Gráfico 29: Costo de Transporte por divisa .....</b>	<b>73</b>
<b>Gráfico 30: Costo de Transporte por tipo de remesa.....</b>	<b>73</b>
<b>Gráfico 31: Costo de Materiales por divisa.....</b>	<b>74</b>
<b>Gráfico 32: Costo de Materiales por tipo de remesa .....</b>	<b>75</b>
<b>Gráfico 33: Costo de Procesamiento por divisa.....</b>	<b>75</b>
<b>Gráfico 34: Costo de Materiales por tipo de remesa .....</b>	<b>76</b>
<b>Gráfico 35: Saldos promedio diario por divisa .....</b>	<b>77</b>
<b>Gráfico 36: Salidas promedio mensuales por divisa.....</b>	<b>77</b>
<b>Gráfico 37: Días de inventario promedio por divisa en bóveda central .....</b>	<b>78</b>
<b>Gráfico 38: Costo de Custodia por tipo de remesa.....</b>	<b>78</b>
<b>Gráfico 39: Costo de Oportunidad Financiero .....</b>	<b>80</b>
<b>Gráfico 40: Costo Total por tipo de remesa.....</b>	<b>80</b>
<b>Gráfico 41: Costo Total por tipo de remesa.....</b>	<b>81</b>
<b>Gráfico 42: Pareto de Costo Total de Oficinas.....</b>	<b>83</b>
<b>Gráfico 43: Histograma y Diagrama de Cajas Monto Retirado .....</b>	<b>90</b>
<b>Gráfico 44: Histograma y Diagrama de Cajas Monto Depositado .....</b>	<b>90</b>
<b>Gráfico 45: Histograma y Diagrama de Cajas Monto Recaudado .....</b>	<b>90</b>
<b>Gráfico 46: Histograma y Diagrama de Cajas Monto Enviado .....</b>	<b>90</b>
<b>Gráfico 47: Histograma y Diagrama de Cajas Saldo Final .....</b>	<b>91</b>
<b>Gráfico 48: Diagrama de Cajas Monto Depositado Ventanilla por día y mes ....</b>	<b>91</b>
<b>Gráfico 49: Diagrama de Cajas Monto Depositado Ventanilla por territorio .....</b>	<b>92</b>
<b>Gráfico 50: Diagrama de Cajas Monto Retirado Ventanilla por día y mes .....</b>	<b>92</b>
<b>Gráfico 51: Diagrama de Cajas Monto Retirado Ventanilla por territorio .....</b>	<b>93</b>
<b>Gráfico 52: Matriz de gráficos de Dispersión .....</b>	<b>94</b>
<b>Gráfico 53: Histograma de Cantidad de Datos Faltantes .....</b>	<b>95</b>
<b>Gráfico 54: Histograma de Proporción de Datos Faltantes .....</b>	<b>96</b>
<b>Gráfico 55: Histograma de Proporción de Datos Faltantes en Envíos y Recaudos .....</b>	<b>96</b>

<b>Gráfico 56: Histograma de Proporción de Datos Faltantes Final</b> .....	97
<b>Gráfico 57: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 103</b> .....	98
<b>Gráfico 58: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 108</b> .....	98
<b>Gráfico 59: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 113</b> .....	99
<b>Gráfico 60: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 115</b> .....	99
<b>Gráfico 61: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 117</b> .....	100
<b>Gráfico 62: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 127</b> .....	100
<b>Gráfico 63: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 129</b> .....	101
<b>Gráfico 64: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 130</b> .....	101
<b>Gráfico 65: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 137</b> .....	102
<b>Gráfico 66: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 146</b> .....	102
<b>Gráfico 67: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 149</b> .....	103
<b>Gráfico 68: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 163</b> .....	103
<b>Gráfico 69: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 175</b> .....	104
<b>Gráfico 70: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 234</b> .....	104
<b>Gráfico 71: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 253</b> .....	105
<b>Gráfico 72: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 259</b> .....	105
<b>Gráfico 73: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 312</b> .....	106
<b>Gráfico 74: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 316</b> .....	106
<b>Gráfico 75: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 317</b> .....	107
<b>Gráfico 76: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 322</b> .....	107
<b>Gráfico 77: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 341</b> .....	108
<b>Gráfico 78: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 342</b> .....	108
<b>Gráfico 79: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 360</b> .....	109
<b>Gráfico 80: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 480</b> .....	109
<b>Gráfico 81: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 484</b> .....	110
<b>Gráfico 82: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 508</b> .....	110
<b>Gráfico 83: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 616</b> .....	111
<b>Gráfico 84: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 659</b> .....	111
<b>Gráfico 85: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 712</b> .....	112
<b>Gráfico 86: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 752</b> .....	112
<b>Gráfico 87: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 849</b> .....	113
<b>Gráfico 88: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 857</b> .....	113
<b>Gráfico 89: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 970</b> .....	114
<b>Gráfico 90: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 113</b> .....	114

<b>Gráfico 91: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 115</b> .....	115
<b>Gráfico 92: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 117</b> .....	115
<b>Gráfico 93: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 125</b> .....	116
<b>Gráfico 94: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 127</b> .....	116
<b>Gráfico 95: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 128</b> .....	117
<b>Gráfico 96: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 129</b> .....	117
<b>Gráfico 97: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 130</b> .....	118
<b>Gráfico 98: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 137</b> .....	118
<b>Gráfico 99: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 140</b> .....	119
<b>Gráfico 100: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 146</b> .....	119
<b>Gráfico 101: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 149</b> .....	120
<b>Gráfico 102: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 156</b> .....	120
<b>Gráfico 103: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 163</b> .....	121
<b>Gráfico 104: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 174</b> .....	121
<b>Gráfico 105: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 183</b> .....	122
<b>Gráfico 106: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 197</b> .....	122
<b>Gráfico 107: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 234</b> .....	123
<b>Gráfico 108: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 242</b> .....	123
<b>Gráfico 109: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 253</b> .....	124
<b>Gráfico 110: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 256</b> .....	124
<b>Gráfico 111: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 257</b> .....	125
<b>Gráfico 112: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 259</b> .....	125
<b>Gráfico 113: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 282</b> .....	126
<b>Gráfico 114: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 312</b> .....	126
<b>Gráfico 115: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 316</b> .....	127
<b>Gráfico 116: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 317</b> .....	127
<b>Gráfico 117: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 322</b> .....	128
<b>Gráfico 118: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 339</b> .....	128
<b>Gráfico 119: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 341</b> .....	129
<b>Gráfico 120: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 342</b> .....	129
<b>Gráfico 121: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 360</b> .....	130
<b>Gráfico 122: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 396</b> .....	130
<b>Gráfico 123: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 396</b> .....	131
<b>Gráfico 124: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 484</b> .....	131
<b>Gráfico 125: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 508</b> .....	132



<b>Gráfico 126: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 659</b> .....	132
<b>Gráfico 127: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 712</b> .....	133
<b>Gráfico 128: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 750</b> .....	133
<b>Gráfico 129: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 752</b> .....	134
<b>Gráfico 130: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 832</b> .....	134
<b>Gráfico 131: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 857</b> .....	135
<b>Gráfico 132: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 970</b> .....	135
<b>Gráfico 133: Valores Atípicos LS Depósitos Ventanilla Oficina 130</b> .....	136
<b>Gráfico 134: Valores Atípicos LS Depósitos Ventanilla Oficina 242</b> .....	137
<b>Gráfico 135: Valores Atípicos LS Retiros Ventanilla Oficina 316</b> .....	138
<b>Gráfico 136: Valores Atípicos LS Retiros Ventanilla Oficina 750</b> .....	138
<b>Gráfico 137: Valores Atípicos LS Retiros Ventanilla Oficina 970</b> .....	139
<b>Gráfico 138: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 115</b> .....	140
<b>Gráfico 139: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 125</b> .....	140
<b>Gráfico 140: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 127</b> .....	141
<b>Gráfico 141: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 163</b> .....	141
<b>Gráfico 142: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 186</b> .....	142
<b>Gráfico 143: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 197</b> .....	142
<b>Gráfico 144: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 322</b> .....	143
<b>Gráfico 145: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 342</b> .....	143
<b>Gráfico 146: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 480</b> .....	144
<b>Gráfico 147: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 484</b> .....	144
<b>Gráfico 148: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 616</b> .....	145
<b>Gráfico 149: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 750</b> .....	145
<b>Gráfico 150: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 113</b> .....	146
<b>Gráfico 151: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 128</b> .....	146
<b>Gráfico 152: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 129</b> .....	147
<b>Gráfico 153: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 133</b> .....	147
<b>Gráfico 154: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 137</b> .....	148
<b>Gráfico 155: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 149</b> .....	148
<b>Gráfico 156: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 156</b> .....	149
<b>Gráfico 157: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 187</b> .....	149
<b>Gráfico 158: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 253</b> .....	150
<b>Gráfico 159: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 256</b> .....	150
<b>Gráfico 160: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 312</b> .....	151

<b>Gráfico 161: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 339</b> .....	151
<b>Gráfico 162: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 342</b> .....	152
<b>Gráfico 163: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 508</b> .....	152
<b>Gráfico 164: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 659</b> .....	153
<b>Gráfico 165: Coeficiente de silueta en Jerárquico por depósito en ventanilla</b>	154
<b>Gráfico 166: Índice de Dunn en Jerárquico por depósito en ventanilla</b> .....	155
<b>Gráfico 167: Dendrograma (K=2) por depósito en ventanilla</b> .....	155
<b>Gráfico 168: Clúster plot Jerárquico (K=2) de principales componentes por depósito en ventanilla</b> .....	156
<b>Gráfico 169: Dendrograma (K=3) por depósito en ventanilla</b> .....	157
<b>Gráfico 170: Clúster plot Jerárquico (K=3) de principales componentes por depósito en ventanilla</b> .....	157
<b>Gráfico 171: Dendrograma (K=4) por depósito en ventanilla</b> .....	158
<b>Gráfico 172: Clúster plot Jerárquico (K=4) de principales componentes por depósito en ventanilla</b> .....	159
<b>Gráfico 173: Dendrograma (K=5) por depósito en ventanilla</b> .....	159
<b>Gráfico 174: Clúster plot Jerárquico (K=5) de principales componentes por depósito en ventanilla</b> .....	160
<b>Gráfico 175: Coeficiente de silueta en Jerárquico por depósito en ventanilla sin oficinas atípicas</b> .....	160
<b>Gráfico 176: Método del codo en K-Medias por depósito en ventanilla</b> .....	161
<b>Gráfico 177: Coeficiente de silueta en K-Medias por depósito en ventanilla</b> ..	162
<b>Gráfico 178: Coeficiente de silueta en K-Medias por depósito en ventanilla para K=2</b> .....	162
<b>Gráfico 179: K-Medias Clúster plot (K=2) de principales componentes por depósito en ventanilla</b> .....	163
<b>Gráfico 180: Coeficiente de silueta en K-Medias por depósito en ventanilla para K=3</b> .....	164
<b>Gráfico 181: K-Medias Clúster plot (K=3) de principales componentes por depósito en ventanilla</b> .....	164
<b>Gráfico 182: Coeficiente de silueta en K-medias por depósito en ventanilla sin oficinas atípicas</b> .....	165
<b>Gráfico 183: Coeficiente de silueta en K-Medias por depósito en ventanilla para K=2 sin oficinas atípicas</b> .....	165
<b>Gráfico 184: Método del codo en K-Medoides por depósito en ventanilla</b> .....	166

<b>Gráfico 185: Coeficiente de silueta en K-Medoides por depósito en ventanilla</b>	166
<b>Gráfico 186: Coeficiente de silueta en K-Medoides por depósito en ventanilla para K=2</b>	167
<b>Gráfico 187: K-Medoides Clúster plot (K=2) de principales componentes por depósito en ventanilla</b>	168
<b>Gráfico 188: Coeficiente de silueta en K-Medoides por depósito en ventanilla para K=2</b>	168
<b>Gráfico 189: K-Medoides Clúster plot (K=3) de principales componentes por depósito en ventanilla</b>	169
<b>Gráfico 190: Coeficiente de silueta en K-medoides por depósito en ventanilla sin oficinas atípicas</b>	169
<b>Gráfico 191: Coeficiente de silueta en K-Medoides por depósito en ventanilla para K=2 sin oficinas atípicas</b>	170
<b>Gráfico 192: Método del codo en K-Medoides por retiro en ventanilla</b>	171
<b>Gráfico 193: Coeficiente de silueta en K-Medoides por retiro en ventanilla</b>	171
<b>Gráfico 194: Coeficiente de silueta en K-Medoides por retiro en ventanilla para K=2</b>	172
<b>Gráfico 195: K-Medoides Clúster plot de principales componentes por retiro en ventanilla</b>	173
<b>Gráfico 196: Coeficiente de silueta en K-medoides por retiro en ventanilla sin oficinas atípicas</b>	173
<b>Gráfico 197: Coeficiente de silueta en K-Medoides por retiro en ventanilla para K=2 sin oficinas atípicas</b>	174
<b>Gráfico 198: Método del codo en K-Medias por retiro en ventanilla</b>	175
<b>Gráfico 199: Coeficiente de silueta en K-Medias por retiro en ventanilla</b>	175
<b>Gráfico 200: Coeficiente de silueta en K-Medias por retiro en ventanilla para K=2</b>	176
<b>Gráfico 201: K-Medias Clúster plot de principales componentes por retiro en ventanilla</b>	176
<b>Gráfico 202: Coeficiente de silueta en K-medias por retiro en ventanilla sin oficinas atípicas</b>	177
<b>Gráfico 203: Coeficiente de silueta en K-Medias por retiro en ventanilla para K=2 sin oficinas atípicas</b>	177
<b>Gráfico 204: Coeficiente de silueta en Jerárquico por retiro en ventanilla</b>	178

<b>Gráfico 205: Índice de Dunn en Jerárquico por retiro en ventanilla</b> .....	179
<b>Gráfico 206: Dendrograma (K=2) por retiro en ventanilla</b> .....	180
<b>Gráfico 207: Clúster plot Jerárquico (K=2) de principales componentes por retiro en ventanilla</b> .....	180
<b>Gráfico 208: Dendrograma (K=3) por retiro en ventanilla</b> .....	181
<b>Gráfico 209: Clúster plot Jerárquico (K=3) de principales componentes por depósito en ventanilla</b> .....	182
<b>Gráfico 210: Coeficiente de silueta en Jerárquico por retiro en ventanilla sin oficinas atípicas</b> .....	182
<b>Gráfico 211: Centroides K-Medoides Clúster por depósito en ventanilla</b> .....	184
<b>Gráfico 212: Centroides Clúster Jerárquico por retiro en ventanilla</b> .....	184
<b>Gráfico 213: Costos incurridos bajo metodología actual</b> .....	217



# INTRODUCCIÓN

En el 2021, la producción del sector informal representó el 17.2% del PBI peruano. Asimismo, el 76.8% de la PEA ocupada se desempeñaba en un empleo informal, según INEI (2021). En ese sentido, producto de esta realidad es que existe una gran circulación de efectivo en el mercado, lo cual sustenta claramente por qué el 86% de los pagos minoristas en el Perú son realizados con este medio, conforme a Vega & Vasquez (2022).

En consecuencia, las políticas públicas para incentivar los pagos electrónicos son fundamentales promover la equidad tributaria y combatir la informalidad, en aras de generar un mercado con empresas más competitivas. Sin embargo, las cifras actuales reflejan un buen tramo por recorrer previo a lograr dicho objetivo.

Es así como, al existir una gran preferencia por este medio de pago, ello conlleva a que las personas tengan la necesidad de retirar o aprovisionarse de efectivo. Empero, existe poca conciencia sobre los costos que genera el uso de efectivo, tanto para el gobierno, los comercios y en particular para los bancos. En primer lugar, el costo que asume el gobierno se da al tener que imprimir el efectivo, transportarlo, distribuirlo, así como luchar contra su falsificación. En segundo lugar, para los comercios los costos vienen asociados al riesgo de robo y la misma merma del efectivo. Finalmente, para los bancos quienes incurren en costos de abastecimiento de cajeros automáticos, traslado del dinero, seguridad y remesas de oficinas.

De tal forma, la gestión del efectivo siempre ha jugado un papel crucial en el desarrollo de empresas e instituciones financieras ya que, sin efectivo, ambas podrían volverse insolventes y estar en riesgo de quiebra, según Cabello (2013). Y más aún, considerando que, en Perú el 61.6% de los retiros de efectivo se realizan principalmente en las ventanillas de los bancos y ATM, es que analizar los costos logísticos de remesa de oficinas es una prioridad.

En este contexto, la eficiencia de la gestión del efectivo es una necesidad constante. Sin embargo, si bien la industria bancaria ha venido buscando medidas para mejorar la gestión del efectivo con el fin de aumentar la eficiencia, una distribución eficiente del efectivo deberá garantizar su disponibilidad a un costo adecuado, sin que esto suponga una mala utilización de recursos. En caso

contrario, la confiabilidad de todo el sistema financiero podría verse fuertemente empañada, acorde a Okino & Cattini Junior (2011).

Por otro lado, si bien la eficiencia en la administración de efectivo se ha convertido en un objetivo principal para la industria bancaria durante la última década, existen investigadores, como Berger et al. (1997), que sostienen que la eficiencia de las sucursales tiene una contribución fundamental al desempeño efectivo de la institución bancaria global

Sin embargo, para García Cabello & Lobillo (2017) a pesar de la importancia de este tema, la literatura sobre la eficiencia de las sucursales es mucho menos completa que la literatura sobre la eficiencia bancaria. Por lo cual, la literatura específica solo se enfoca en medidas regulatorias para controlar las sucursales con bajo desempeño

Por lo tanto, la presente tesis busca llenar este vacío proponiendo condiciones específicas para mejorar la gestión del efectivo a nivel de sucursal. Ante ello, este trabajo se centrará en las posibles mejoras en la optimización de los inventarios de efectivo a nivel de sucursales bancarias.

Asimismo, dado que la demanda de efectivo presenta patrones cambiantes por parte de los clientes, y que procesos tales como la desestacionalización de series de demanda requieren mucha intervención manual es que surge la necesidad de usar herramientas de analítica para optimizar los costos logísticos de efectivo, según López Lázaro et al. (2018).

Por consiguiente, el objetivo del presente trabajo es brindar una herramienta que permita a los gerentes bancarios tomar decisiones acertadas a fin de asegurar que todas las sucursales tengan suficiente efectivo disponible para satisfacer las necesidades del cliente a un costo mínimo.

Así, en la primera parte del trabajo se presentará el marco teórico como la revisión de la literatura, donde se describirá la cadena de suministro del efectivo, haciendo énfasis gestión de efectivo en las sucursales bancarias, y también una descripción conceptual de las fases de un proyecto de *Analytics*, así como las herramientas de analítica a utilizar para el desarrollo del trabajo. A continuación, se desarrollará el marco metodológico donde se iniciará la descripción de la situación del proceso actual y, a partir de la adquisición de la información y tratamiento de los datos, se procederá a hacer un preprocesamiento de la data, para después realizar una

clusterización de oficinas por comportamientos similares, a fin de caracterizar las tendencias del proceso de negocio. Posteriormente, se diseñará los correspondientes modelos de predicción mediante la aplicación de varias herramientas de *Data Analytics* tales como Random Forest, XGBoost y Redes Neuronales, así como modelos Autorregresivos y de Regresión Lineal Generalizado. Después, se seleccionará el modelo con mayor robustez y menor error de predicción, para decantar en la propuesta de asignación de efectivo eficiente por oficinas, mediante el input obtenido luego de la aplicación de dicho modelo. Finalmente, se presentarán conclusiones y la correspondiente aportación del presente trabajo.



## LISTADO DE ACRÓNIMOS

- ANN:** *Artificial Neural Network* (Red Neuronal Artificial)
- ARIMA:** *Autoregressive Integrated Moving Average* (Modelo autorregresivo integrado de media móvil)
- ATM:** *Automatic Teller Machine* (Cajero Automático).
- BCRP:** Banco Central de Reserva del Perú
- BCE:** Banco Central Europeo
- BEP:** *Bureau of Engraving and Printing* (Oficina de Grabado e Impresión de los EE. UU)
- CIT:** *Cash In Transit Company* (Compañía de Transporte de Efectivo)
- DTW:** *Dynamic Time Warping* (Deformación Dinamica del Tiempo)
- ESF:** Entidad del Sistema Financiero
- ETS:** *Exponential Smoothing* (Suavizado Exponencial)
- ETV:** Empresa Transportadora de Valores
- FED:** *Federal Reserve Board* (Reserva Federal)
- GLM:** *Generalized Linear Model* (Modelo Lineal Generalizado)
- INEI:** Instituto Nacional de Estadística e Informática
- MASE:** *Mean Absolute Scaled Error* (Error Absoluto en Escala de Media)
- MAPE:** *Mean Absolute Percentage Error* (Error medio absoluto)
- PCA:** *Principal Components Analysis* (Análisis de Principales Componentes)
- PEA:** Población Económicamente Activa
- SBS:** Superintendencia de Banca, Seguros y AFP del Perú
- XGBOOST:** *Extreme Gradient Boosting* (Refuerzo de Gradientes Extremo)



## **PARTE 1. MARCO TEÓRICO**

En esta parte se presentará inicialmente las definiciones de conceptos concernientes a la logística del efectivo bancario, haciendo énfasis en aquellos relacionados con las remesas de efectivo para las diversas sucursales bancarias. Además, se realizará una investigación bibliográfica y descripción de herramientas de *Data Analytics* que permitan diseñar los modelos predictivos que ayuden a optimizar los actuales costos logísticos de efectivo.

### **Capítulo 1. Cadena de Suministro de Efectivo**

Como primera definición importante se tiene que “la gestión de la cadena de suministro engloba la planificación y gestión de todas las actividades involucradas con el abastecimiento, transformación y la gestión de todas las actividades logísticas (...) En esencia, la gestión de la cadena de suministro integra la gestión del abastecimiento y la demanda al interior y a través de las compañías” (Council of Supply Chain Management Professionals, 2012).

Es así que, para el caso particular del efectivo, Mentzer et al. (2008) define una cadena de suministro de efectivo como la red de organizaciones e individuos involucrados en los flujos ascendentes y descendientes de efectivo, otros objetos de valor, suministros para dispositivos de autoservicio, servicios, finanzas e información. Los cuales, conforme a la definición del Council of Supply Chain Management, requieren de la integración de varias compañías dentro del ciclo del efectivo. En ese sentido, Van Anholt (2014) considera que los proveedores de servicios logísticos, las instituciones financieras y otras empresas deberán cooperar para garantizar que las empresas y los consumidores reciban billetes y monedas suficientes, fiables y conforme a un patrón de calidad establecido por normativa.

En suma, se puede definir a la gestión de la cadena de suministro de efectivo como la planificación y realización de todas las actividades involucradas para el abastecimiento de efectivo, a través de una red proveedores logísticos, instituciones financieras y otras empresas, conforme a la demanda y necesidades de billetes y monedas, de forma suficiente, fiable y conforme a un patrón de calidad establecido por normativa.

Por ello, en el presente capítulo, se busca realizar una descripción de la cadena de suministro de efectivo en varios países, partiendo del producto que se distribuye, y enmarcando el rol de los actores involucrados en la misma.

## **1.1. Descripción de la Cadena de Suministro de Efectivo**

Rajamani et al. (2006) mencionan que, en lugar de distribuirse en una dirección como la mayoría de los productos de consumo, el efectivo circula por toda nuestra economía. Cabe mencionar que, todo empieza por la producción de efectivo, donde las empresas de acuñación e impresión utilizan materias primas para producir nuevos billetes y monedas en nombre del Banco Central. Un Banco Central, Banco de Reserva o Autoridad Monetaria es la institución que administra la moneda del estado, el suministro de efectivo al público y las tasas de interés. Una tarea principal del banco central es garantizar la integridad y preservación del efectivo en circulación a nivel nacional.

Por otro lado, los proveedores de servicios de logística especializados, también conocidos como empresas de tránsito de efectivo (CIT, en sus siglas en inglés) o transportistas blindados, son contratados para transportar efectivo y para realizar actividades de almacenamiento y cross-docking desde el sistema de bóvedas de efectivo. Por lo cual, "...la subcontratación de estas actividades a empresas de transporte de fondos contribuye a la eficiencia de la cadena de suministro de efectivo". (Nan & Long, 2009)

Ante ello, la red de distribución de efectivo está conformada por sucursales bancarias, cajeros automáticos y grandes minoristas, tal como menciona Ghannadpour & Zandiyeh (2020). En la cual, los cajeros automáticos solicitan la entrega de efectivo; mientras que, los minoristas y las sucursales bancarias solicitan dos tipos de demandas, tanto el recojo como la entrega de efectivo. En ese sentido, si los bancos comerciales se están quedando sin efectivo, tienen que solicitar efectivo para cumplir con las necesidades de efectivo en ventanilla, y para reponer los dispositivos de autoservicio, tales como cajeros automáticos autoabastecidos. Es así como, a través de estos canales, el efectivo llega a los consumidores.

Luego de ello, el flujo de efectivo es redistribuido a través de transacciones entre empresas y consumidores, para que, finalmente, los excesos de algunas partes sean depositados en un banco por seguridad y puedan generar intereses. Asimismo, durante este proceso, los bancos reciben del público billetes, denominados deteriorados, cuya calidad física que es inferior a la calidad de los billetes que ellos entregan. Por lo tanto, los bancos se ven en la necesidad de intercambiar billetes de baja calidad por billetes de alta

calidad. Dicho de otra forma, "...el efectivo distribuido es devuelto por el público, reacondicionado con la identificación de billetes falsos o no aptos, y redistribuido a la red." (Okino & Cattini Junior, 2011b)

En otras palabras, si los consumidores depositan o retiran efectivo, se requiere el envío o recojo de una empresa transportadora de valores. Los billetes usados o sin procesar se clasifican de forma adecuada como efectivo apto o no apto según las condiciones del banco central. Por último, el efectivo no apto es destruido por empresas especializadas en nombre del Banco Central o por esta misma entidad. Asimismo, la actividad de clasificación adecuada no solo es fundamental para garantizar la circulación de billetes y monedas de alta calidad, sino también para interceptar billetes falsos.

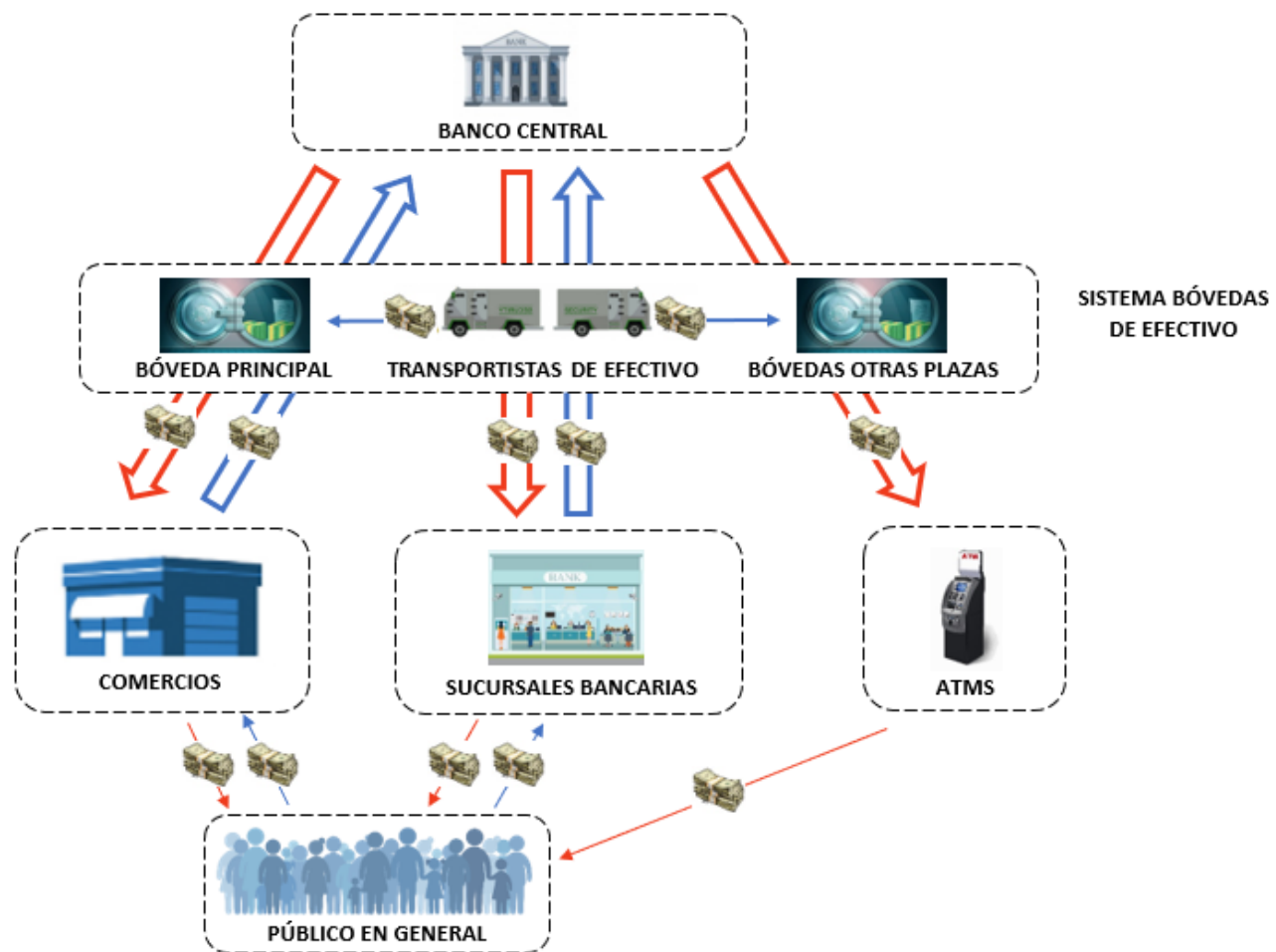
Finalmente, se puede decir que el efectivo se mueve hacia arriba y hacia abajo en su cadena de suministro y conserva su valor en toda la cadena, y solo cuando la calidad es insuficiente de acuerdo con los estándares del banco central, el efectivo se marca como no apto y se destruirá. Por lo tanto, los flujos de efectivo se pueden analizar como una cadena de suministro de circuito cerrado, tal como se puede apreciar en la **Figura 1**, la cual muestra un diagrama simplificado de la cadena de suministro de efectivo.

A continuación, se realizará una descripción de las cadenas de suministro en Estados Unidos, Brasil, la Unión Europea y, en particular, de Perú, la cual será motivo de análisis del presente trabajo de investigación.

### **1.1.1. Cadena de Suministro de Efectivo en USA**

En el caso de Estados Unidos, conforme a Geismar et al. (2007), el efectivo es suministrado por la Oficina de Grabado e Impresión (BEP), la Reserva Federal (FED) controla su lanzamiento a la economía y los transportistas blindados los distribuyen a los bancos que actúan como mayoristas que proporcionan efectivo a empresas y consumidores. A través de transacciones entre ellos, las empresas y los consumidores redistribuyen estos billetes para que algunas partes que tengan excesos, las depositen en un banco por seguridad y para ganar intereses para ellos mismos.

Los bancos, a su vez, depositan efectivo en la FED para que ellos también puedan ganar intereses. Además, los bancos aceptan del público billetes no aptos. Por lo tanto, los bancos deben canjear billetes de baja calidad por billetes de alta calidad de la FED. De esta forma, es que el efectivo se mueve hacia arriba y hacia abajo en la cadena de suministro.



**Figura 1: Estructura de la Cadena de Suministro de Efectivo  
Elaboración Propia**

### **1.1.2. Cadena de Suministro de Efectivo en Brasil**

Según Okino (2010), la Casa de la Moneda de Brasil, a través del Departamento de Abastecimiento Monetario del Banco Central de Brasil, es la entidad encargada de asegurar la fabricación y emisión de efectivo a lo largo de toda la cadena de suministro. Es así que, "...el suministro de efectivo por parte de los bancos depende de una amplia red de ventas formada por sucursales bancarias, sucursales de clientes, cajeros automáticos, empresas financieras, corresponsales bancarios y grandes minoristas, que recaudan y transfieren grandes volúmenes de efectivo al público." Okino & Cattini Junior (2011b)

Asimismo, los puntos antes mencionados son abastecidos por una enorme red de proveedores, especialmente por transportistas de efectivo y custodios de divisas, siendo Banco do Brasil SA, el custodio oficial designado por el Banco Central. En particular, este banco opera tanto como banco como como custodio oficial de divisas.

En ese sentido, los bancos comerciales no tienen control total sobre la entrega de efectivo porque dependen del custodio oficial y las políticas establecidas por el Banco Central de Brasil. Adicional a ello, la operación de logística de efectivo presenta una complejidad a la estructura de la cadena debido al flujo bidireccional del producto, como menciona Halldorsson et al. (2007)

### **1.1.3. Cadena de Suministro de Efectivo en la Unión Europea**

En el caso europeo, conforme a Tavares (2015), el Banco Central Europeo (BCE) y los diferentes bancos centrales nacionales son conjuntamente responsables de la impresión de los billetes en euros. Asimismo, la producción de monedas puede ser realizada por cualquier Banco Central nacional y también está coordinada por el BCE.

Por otro lado, el efectivo recién producido es almacenado en el Banco Central nacional o se exporta a otros Bancos Centrales nacionales hasta que se emite. Luego, el efectivo ya emitido es distribuido por los bancos comerciales, a través de sus sucursales y red de cajeros automáticos. Estas instituciones de crédito se abastecen del Banco Central nacional, contratando empresas transportistas de efectivo para ejecutar esas operaciones. Cabe mencionar que, la mayoría de las operaciones suministro

de efectivo en las sucursales y la red de cajeros automáticos, son ejecutadas por empresas transportistas de efectivo.

En consecuencia, cada empresa transportista de efectivo tiene instalaciones centralizadas para almacenar y clasificar efectivo. Las entidades de crédito mantienen existencias allí para satisfacer las necesidades a lo largo de su red de distribución de efectivo. Es decir, todas aquellas transacciones en efectivo entre individuos y empresas dentro de la sociedad.

De igual forma, el efectivo depositado en bancos comerciales se somete a un proceso de clasificación y verificación en la sucursal, donde se clasifica y conforme a su calidad física y autenticidad. En ese sentido, el efectivo adecuado se encontrará disponible para su circulación, mientras que el efectivo dañado o falsificado será destruido por el banco central.

#### **1.1.4. Cadena de Suministro de Efectivo en Perú**

En el caso peruano, que será motivo de estudio del presente trabajo, la impresión de billetes ha sido tercerizada mediante un contratista; mientras que, la fabricación de monedas se realiza en la Casa Nacional de la Moneda, según BCRP (2016). Además, el “Banco Central tiene como una de sus funciones la emisión de billetes y monedas, de modo tal que se garantice la provisión de efectivo en cantidad y calidad adecuadas” (BCRP, 2019). Asimismo, son las “Empresas de Transporte, Custodia y Administración de Numerario (...) aquellas que realizarán la actividad habitual de dedicarse al transporte, protección y custodia de dinero” (SBS, 1997), y las cuales harán el papel de transportistas blindados que lo distribuirán a lo largo de la red, conformada por bancos comerciales, ATM 's y grandes minoristas. Es así como, a través de transacciones, se redistribuyen estos billetes para que algunas partes que tengan excesos, las depositen en un banco por seguridad y para ganar intereses para ellos mismos. De igual forma, “...las entidades financieras pueden efectuar depósitos y retiros de efectivo, contra abonos y cargos en sus cuentas corrientes en el Banco Central, respectivamente.” BCRP (2009)

Cabe mencionar que, los bancos en Perú, también, reciben del público billetes no aptos. Por tal motivo, “...las Entidades del Sistema Financiero (ESF) están prohibidas de poner en circulación billetes y monedas deteriorados. Por lo cual, los billetes y monedas deteriorados que reciban las

ESF en sus operaciones diarias, incluyendo los que provienen del canje al público, deberán ser depositados en el BCRP.” (BCRP, 2018a)

En consecuencia, y al igual que en el caso estadounidense, es de esta forma que el efectivo se mueve hacia arriba y hacia abajo en la cadena de suministro.

## **1.2. Producto de la cadena de suministro de efectivo**

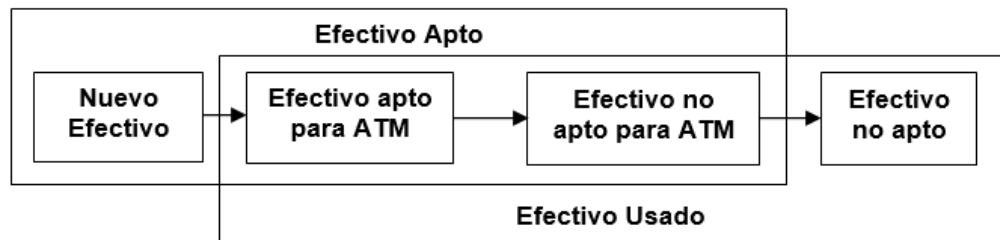
Considerando que el producto suministrado a lo largo de la presente cadena es el efectivo propiamente dicho, en el presente apartado se hará énfasis en los diferentes tipos de efectivo que circulan conforme a sus características de idoneidad y calidad, principalmente en las realidades de Estados Unidos y Perú, siendo esta última motivo principal de análisis del presente trabajo de investigación.

### **1.2.1. Efectivo en el caso estadounidense**

En el caso estadounidense, según Rajamani et al. (2006), en su forma física, la Fed clasifica el efectivo en cuatro categorías básicas, en base a lo mostrado en la **Figura 2**. La primera categoría está conformada por el efectivo nuevo, el cual es introducido por la Reserva Federal (FED), después de recibirlo de la Oficina de Grabado e Impresión de los Estados Unidos (BEP), y se puede utilizar para cualquier operación. Luego, una vez suministrado el efectivo, este puede pertenecer a una de las tres categorías restantes que, en conjunto, comprenden el efectivo usado. En particular, conforme a López Lázaro et al. (2018), se asume que el efectivo depositado por los clientes siempre será usado, incluso si parece nuevo, por lo que las sucursales bancarias pueden reutilizarlo para retiros posteriores, pero no para reponer los cajeros automáticos.

En ese sentido, la primera categoría de efectivo usado se denomina efectivo apto para cajeros automáticos (ATM), el cual contiene billetes que son de calidad suficiente para ser despachados a través de cajeros automáticos. Por otro lado, la segunda categoría de efectivo usado se denomina efectivo no apto para cajeros automáticos, el cual es adecuado para las transacciones de depósito y retiro en ventanilla, pero no para cajeros automáticos. Cabe mencionar que, el efectivo nuevo, el efectivo apto para cajeros automáticos y el efectivo no apto para cajeros automáticos a menudo se denominan en conjunto efectivo apto. Por último, está la

categoría de efectivo no apto, que según Van Anholt (2014), se denomina como efectivo sucio, roto o dañado y, por lo tanto, es inaceptable para la circulación y será destruido por la Fed.



**Figura 2: Clasificación del Efectivo en USA**

**Fuente: Rajamani et al. (2006)**

**Elaboración Propia**

Por otro lado, debido a que las monedas son significativamente menos perecederas y tienen un valor menor, es que las políticas con ellas son muy diferentes, motivo por el cual no serán parte del análisis del presente trabajo de investigación.

Finalmente, cabe mencionar, conforme al producto en cuestión, que el Banco Central debe asegurar la suficiencia de efectivo en el sistema. Asimismo, no solo es el único agente que puede generar efectivo apto, sino que también es el único que puede destruir el efectivo no apto y eliminarlo de la cadena de efectivo. Es así que, las empresas de transporte de valores deben asegurarse de recoger todo el efectivo no apto de las sucursales y entregarlo eventualmente al Banco Central para su destrucción.

### **1.2.2. Efectivo en el caso peruano**

En el caso peruano, el efectivo se clasifica conforme al Patrón de Calidad, el cual mantiene una textura y limpieza adecuados que permiten verificar su autenticidad, entregado por el BCRP a las Entidades del Sistema Financiero (ESF) en dos tipos, apto y deteriorado.

En primer lugar, son considerados billetes deteriorados aquellos "...cuya textura presente una o más de las siguientes características: parches o enmendaduras, suciedad excesiva, manchas, escritos o sellos que dificulten apreciar la autenticidad del billete, roturas o rasgados de dimensión significativa" (BCRP, 2018b). Los cuales podrán ser recibidos del público, ya sea a través del canje, pagos o depósitos, para después ser entregados al BCRP para su destrucción. Por otro lado, las monedas serán consideradas deterioradas cuando su estado de conservación sea inferior al Patrón de



Calidad del BCRP o presente cortaduras, agujeros, oxidación, manchas o deformaciones.

En segundo lugar, y, en consecuencia, el efectivo apto (tanto billetes y monedas) será aquel que cumpla el Patrón de Calidad entregado por el BCRP a las Entidades del Sistema Financiero (ESF) y no presente alguno de los defectos antes mencionados, tanto en billetes como en monedas. Por lo tanto, con la finalidad de que se tenga un nivel de calidad límite para circulación, el BCRP ha entregado un billete patrón a cada Entidad del Sistema Financiero, según De la Melena (2009). Finalmente, cabe resaltar que, no existe distinción entre el efectivo apto para transacciones en ventanilla ni ATM 's, debiendo cumplir ambos los patrones de calidad del BCRP antes mencionados.

### **1.2.3. Efectivo en otros casos**

Cabe mencionar que, para el caso brasilero y europeo el efectivo se encuentra dividido en apto y no apto (deteriorado), siguiendo un proceso similar al peruano, donde el efectivo que debe circular es el apto y el efectivo dañado o falsificado debe ser destruido por el Banco Central.

## **1.3. Actores de la cadena de suministro de efectivo**

Según López Lázaro et al. (2018), la logística de efectivo es una de las operaciones clave con las que tiene que lidiar un banco, en la cual existe un solo producto involucrado, el efectivo. Ante ello, y por lo general, existen 6 involucrados, tal como se puede apreciar en la **Figura 1**, los cuales serán descritos a continuación.

### **1.3.1. Banco Central**

Es aquella entidad que supervisa toda la cadena, garantiza que el efectivo circulante es válido y es el único agente autorizado para generar nuevo efectivo si es necesario.

### **1.3.2. Transportistas de Efectivo**

Son todos aquellos transportistas o proveedores de logística que almacenan y transportan efectivo entre el banco central y los bancos comerciales, en ambos sentidos, utilizando sus flotas de camiones blindados

### **1.3.3. Sucursales bancarias**

Entidades ubicadas en diferentes regiones del territorio nacional, que proporcionan servicios a los clientes y al comercio mediante la recepción y distribución de efectivo. Así es que, distribuyen efectivo a los clientes a través de empleados bancarios en ventanilla o de forma remota a través de cajeros automáticos.

### **1.3.4. Cajeros Automáticos**

Dispositivo donde los clientes pueden realizar depósitos y retiros de efectivo. Cabe mencionar que, estos pueden estar ubicados dentro o fuera de una sucursal bancaria. En el caso, el cajero automático no esté ubicado una sucursal bancaria, entonces es atendido por la empresa Transportadora de Efectivo. Estos cajeros automáticos se pueden ubicar en diferentes lugares como centros comerciales y tiendas.

### **1.3.5. Comercios**

Representan a las empresas, que en su mayoría son minoristas, retailers, supermercados, casinos, entre otros, que tienen cuenta en una entidad bancaria en específico, y reciben servicios de transporte de efectivo desde o hacia la bóveda del banco con el que mantienen una cuenta.

### **1.3.6. Clientes**

Los clientes son personas que satisfacen sus necesidades de efectivo directamente desde una sucursal bancaria o desde cualquier tipo de cajero automático. Los clientes pueden realizar tanto depósitos como retiros, y son los destinatarios finales del efectivo.

## **1.4. Movimientos en la cadena de suministro de Efectivo**

Como se sabe, el efectivo es distribuido a lo largo de la cadena de suministro a través de varios movimientos, los cuales serán descritos a continuación y se pueden apreciar en la **Figura 3**.

### **1.4.1. Abastecimiento de ATM 's**

Según Ekinci et al. (2015), el reabastecimiento de efectivo en cajeros automáticos es un proceso necesario para satisfacer las demandas fluctuantes de los clientes. En particular, el presente movimiento refiere al abastecimiento de cajeros automáticos, solo de aquellos localizados fuera

de las oficinas bancarias. Toda vez que aquellos se encuentren dentro de las sucursales bancarias serán abastecidos con el efectivo solicitado como parte de la remesa realizada a dicha oficina, resultando esto como un flujo de transferencia interna dentro de la sucursal.

Tradicionalmente, este proceso inicia con la previsión de dicha demanda por punto; es decir, el pronóstico de los retiros de efectivo diarias para cajeros automáticos individuales. Luego, los resultados pronosticados se proporcionan a los modelos de optimización para decidir la cantidad de efectivo y los horarios de logística de transporte para reponer efectivo a todos los cajeros automáticos con el objetivo satisfacer tanto las limitaciones de costes del banco como la demanda de los clientes, y, de esta forma, garantizar un nivel de disponibilidad de efectivo adecuado. Asimismo, esta labor generalmente es realizada por las empresas transportistas de efectivo, lo cual resulta beneficioso ya que, de esta forma, conforme a Van Anholt et al. (2016), el banco y los transportistas de efectivo optimizan la logística juntos. No obstante, hay tener en cuenta que los transportes requieren un tiempo mínimo y una asignación de flota para el transportista, y si bien, las entidades bancarias ignoran las decisiones de enrutamiento, deben considerar que los ATM 's rurales no puedan recibir servicio todos los días.

Por lo tanto, las empresas transportistas de efectivo y las entidades bancarias deben lidiar con el hecho de que un "...reabastecimiento por debajo de la demanda real conduce a la insatisfacción del cliente, mientras que el reabastecimiento mayor que la demanda genera un alto costo de oportunidad para el banco." (Nemshaev & Tsyganov, 2016)

#### **1.4.2. Remesado de Sucursales Bancarias**

Considerando que, según Geismar et al. (2007), una sucursal bancaria proporciona servicios a los clientes y al comercio mediante la recepción y distribución de efectivo, a través de ventanilla o a través de cajeros automáticos ubicados dentro de dichas sucursales. En consecuencia, López Lázaro et al. (2018) mencionan que cada sucursal debe tener suficiente efectivo para cubrir los retiros de sus clientes, mientras que también debe manejar el efectivo adicional que estos clientes puedan depositar.

Ante ello, si una sucursal en particular recibe más dinero del que tiene para dispensar, solicitará que se realice el recaudo de una remesa de efectivo mediante un camión blindado de la empresa transportista, para que se lleve

el exceso de efectivo. Por el contrario, si en la sucursal se dispensa más dinero del que depositan los clientes, se solicitará un transporte que proporcione el efectivo requerido.

Asimismo, y de igual forma como ocurre con los cajeros automáticos, la dotación de efectivo a la sucursal bancaria es realizada por las empresas transportistas de efectivo, a fin de optimizar la logística. Solo que, en este caso, el flujo no solo es de envío de efectivo, sino también de recaudo conforme a la naturaleza de la demanda de efectivo que realice el público en general, dentro de la sucursal. Finalmente, es importante tener en cuenta que las oficinas rurales no pueden recibir servicio todos los días.

#### **1.4.3. Envío/Recaudo de Comercios**

Según Rajamani et al. (2006), los comercios están representados por aquellas empresas, especialmente minoristas, que realizan depósitos y retiros en las bóvedas de los transportistas de efectivo. En ese sentido, es que grandes empresas, tales como Walmart, conforme a la transaccionalidad de efectivo que hayan tenido solicitan directamente a los transportistas que estos realicen un envío o depósito de efectivo a la bóveda de efectivo de la entidad financiera en la cual tengan una cuenta. Luego, dicha entidad le realizará el abono o cargo respectivo. Para ello las entidades transportistas de efectivo previamente realizarán dicho movimiento físico de efectivo desde o hacia la bóveda.

En este caso todos los costos de transporte de efectivo son asumidos por el comercio. No obstante, el costo de oportunidad financiero del efectivo es asumido por la entidad bancaria, quien es la encargada de custodiarlo en su sistema de bóvedas a nivel nacional.

#### **1.4.4. Depósitos/Retiros del Banco Central**

En primer lugar, según Van Anholt (2014), cuando los bancos se están quedando sin efectivo, tienen que solicitar efectivo al banco central para cumplir con los pedidos en efectivo realizados por sucursales bancarias, minoristas y cajeros automáticos. Estos movimientos son denominados retiros de efectivo del Banco Central.

En segundo lugar, acorde a Rajamani et al. (2006), dado que los bancos aceptan del público billetes cuya calidad física es inferior a la calidad de los billetes que entregan, es necesario intercambiar aquellos de baja calidad por

otros de alta calidad. Por ende, los bancos realizan depósitos de efectivo en el Banco Central, a fin de que los billetes de baja calidad dejen de circular.

En ese sentido, los billetes usados o sin procesar son clasificados de forma adecuada por las empresas transportistas de efectivo, según las condiciones del Banco Central. Cabe mencionar, que el efectivo no apto termina siendo destruido por el Banco Central.

En particular, en el caso peruano, conforme a BCRP (1997), se permite que se realicen depósitos y retiros de efectivo contra abonos o cargos en las cuentas corrientes que mantienen las entidades bancarias en el BCRP. Para el caso de los retiros, las solicitudes de retiro deben ser presentadas con anterioridad, así como justificadas y autorizadas por el BCRP. Esto a fin de mantener una política de emisión de efectivo eficiente. Por otro lado, los depósitos pueden ser para efectivo apto y deteriorado, siendo el segundo necesario para su posterior destrucción, y el primero, para reducir los excedentes de efectivo circulante que pudiese tener la entidad bancaria, para la cual este efectivo le representa un costo de oportunidad. Ello le permitirá generar ingresos financieros, por la tasa de interés que brinda el BCRP.

#### **1.4.5. Traslados Inter bóveda**

Dado que existe un sistema de bóvedas descentralizado a nivel nacional, según López Lázaro et al. (2018), las bóvedas de una misma entidad financiera, pueden solicitar transportes para recibir o enviar efectivo a otras bóvedas. Es así como, la entidad financiera puede decidir mover efectivo entre las diferentes bóvedas aprovechando el excedente que puede tener una, para atender la necesidad que pudiera haber en otra. Estos traslados pueden ser realizados por medio aéreo o terrestre y estarán a cargo de la empresa transportista de efectivo, quien preparará el efectivo a ser trasladado entre bóvedas de una misma entidad financiera.

#### **1.4.6. Movimientos de efectivo entre bancos**

Existen otros movimientos de efectivo que se realizan entre los diferentes bancos, a fin de reducir los excedentes de efectivo circulante que pudiese presentar uno, a partir de la necesidad de efectivo del otro, tales como las compensaciones y los canjes. No obstante, estos movimientos de efectivo no serán motivo de análisis del presente trabajo de investigación, toda vez

que el objetivo de este es orientarse en los movimientos de efectivo dentro de una misma entidad bancaria.

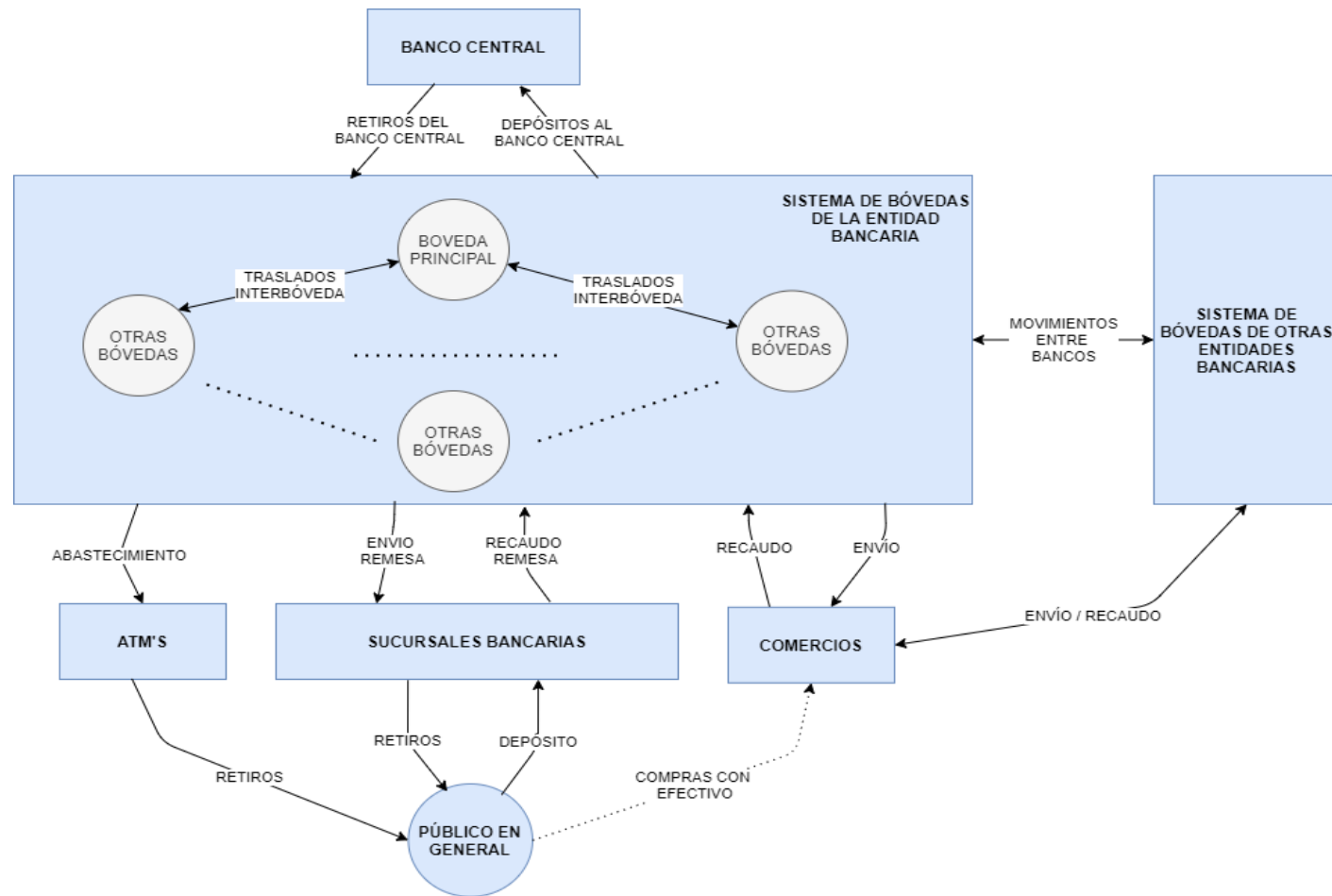
### **1.5. Costos en la cadena de suministro de Efectivo**

Según Orjuela-Castro et al. (2017), los costos logísticos permiten cuantificar la utilización de los recursos empleados en un proceso logístico, en unidades monetarias. En ese sentido, Bhagwat & Sharma (2007) consideran que medir el costo logístico total permitirá mejorar el rendimiento financiero de la cadena de suministro. Toda vez que, permitirán tomar decisiones con una medición apropiada que brindará información para una mejor implementación de estrategias sobre el flujo de materiales e información.

En ese sentido, los costos logísticos de una cadena de suministro, conforme a Pettersson & Segerstedt (2013), pueden dividirse en costos de producción del bien, la administración, el almacenamiento, la distribución, el costo de capital e instalación. Cabe mencionar que, para el caso de la cadena de suministro de efectivo, el costo de producción vendría a ser el costo de fabricación tanto de billetes y monedas, el cual es incurrido por los Bancos Centrales.

En consecuencia, los demás costos son asumidos por las entidades bancarias comerciales en las correspondientes etapas del ciclo del efectivo a lo largo de la cadena. Sin embargo, el costo de capital e instalación de las entidades bancarias resulta en un costo que asumen las empresas transportistas de efectivo y que es trasladado dentro de la estructura de costos que estas empresas les cobran a las entidades bancarias. Por lo cual, para el presente trabajo de investigación no serán motivo de análisis, puesto que se considerará que no cambiarán.

Por otro lado, los bancos enfrentan el dilema habitual al establecer un nivel de inventario de efectivo, dado que deben mantener una cantidad suficiente para satisfacer la demanda, pero también quieren minimizar la cantidad que tienen, ya que el efectivo en el inventario genera un costo de oportunidad (Rajamani et al, 2006; Tavares, 2015). Ante ello, una cadena de suministro de efectivo debe buscar reducir el costo de circulación del efectivo durante todo el ciclo de vida. En ese sentido, los costos logísticos que los bancos asumen en las diferentes etapas de la cadena de suministro de efectivo, y que serán motivo de análisis del presente trabajo de investigación, son los que se presentan a continuación.



**Figura 3: Movimientos de Efectivo en la Cadena Suministro de Efectivo**  
**Fuente: Deloitte (2013)**  
**Elaboración Propia**

### **1.5.1. Transporte o distribución de efectivo**

Los costos de transporte consideran "...toda actividad involucrada en el movimiento de bienes y materiales, el volumen de la carga, el peso de la carga, la distancia y los puntos de origen y de destino, entre otros factores." Lambert et al. (1998)

En consecuencia, en el proceso de distribución, el único factor a considerar no solo sería la cantidad del bien a transportar, sino también aspectos relacionados con los vehículos, los kilómetros recorridos y los días totales, según Abdallah (2004).

En el caso particular del transporte de efectivo, este se calcula multiplicando la cantidad de dinero trasladado, para las zonas urbanas, por la tarifa de transporte de efectivo (correspondiente a abastecimiento de ATM 's, Remesas de oficina o traslados Inter bóveda). Mientras que, para las zonas rurales se calcula, una parte, multiplicando la cantidad de dinero trasladado por la tarifa de transporte de efectivo, mientras que la otra parte, multiplicando la cantidad de millas recorridas por la tarifa de transporte (también correspondiente a abastecimiento de ATM 's, Remesas de oficina o traslados Inter bóveda).

Finalmente, dado que existe un tiempo de preparación del efectivo y planificación del ruteo por parte de las empresas transportistas de efectivo, en caso la programación de traslados no sea realizada con la antelación suficiente, la entidad bancaria debería incurrir en un recargo a la tarifa habitual de transporte.

### **1.5.2. Materiales**

El efectivo transportando requiere ser consolidado al momento de ser transportado. En ese sentido, se requiere el uso de bolsas, precintos, fajas, conos y otros materiales que son necesarios tanto para el transporte de entrada como de salida desde la bóveda. Cabe mencionar que, estos materiales tienen una tarifa unitaria por cada ítem utilizado, la cual es cobrada por las empresas transportistas de efectivo a las entidades bancarias.



### **1.5.3. Recuento de efectivo**

La clasificación por denominación y el recuento del efectivo es realizado por las empresas transportistas por cada ingreso de efectivo que se realice en las bóvedas. Cabe mencionar que, los diversos ingresos de efectivo a bóveda pueden ser considerados por recaudos de remesa de sucursales del mismo banco, recaudos de comercios o por ingresos de efectivo de otras entidades bancarias externas al banco en análisis. Finalmente, este costo se calcula por cada mil billetes o por cada cono de monedas recontados al ingresar a la bóveda.

### **1.5.4. Depuración de efectivo**

De la misma forma que el recuento, y considerando que los depósitos realizados por los clientes, tanto en sucursales de oficinas como en comercios, contiene dinero en diferentes condiciones de calidad, es necesario separar el efectivo apto y no apto. En ese sentido, las empresas transportistas de efectivo son las encargadas de realizar esta clasificación de su efectivo. A fin de sacar a circular el efectivo apto y custodiar el efectivo deteriorado hasta que ese sea depositado en el banco central para su posterior destrucción. Finalmente, el costo de la depuración de efectivo se obtiene por cada mil billetes o por cada cono de monedas depuradas al ingresar a la bóveda.

### **1.5.5. Custodia de efectivo**

“El almacenamiento se puede definir como el componente del sistema logístico de la empresa que guarda productos (materias primas, partes, productos en proceso y productos terminados) en (y entre) los puntos de origen y de consumo.” Orjuela-Castro et al. (2017b)

Ante ello, el costo de almacenaje se compone por los costos de instalaciones, espacio, manipulación y de tenencia del inventario. No obstante, cuando se cuenta con un operador logístico tercerizado “el costo de espacio de almacenamiento (...) se asigna al costo de mantenimiento de inventario, ya que típicamente se cargan con base en el volumen de las mercancías.” Zakariah & Pyeman (2013)

En ese sentido, en el caso del costo de custodia de efectivo, dado que, en la mayoría de los casos, el servicio de custodia y transporte de efectivo se

encuentra tercerizado, es que se consideran dos costos: el costo de inventario en tránsito y el de inventario en bóveda.

En primer lugar, el costo inventario en tránsito es el costo de tener el efectivo, y que no esté disponible, mientras es trasladado. Este costo es calculado multiplicando la cantidad de efectivo por el tiempo de tránsito por la tarifa de custodia durante el transporte.

En segundo lugar, el costo inventario de la bóveda es el costo de mantener el inventario en una bóveda de la empresa transportista de efectivo. Este costo se calcula de forma diaria multiplicando la cantidad de efectivo en la bóveda al final del día por la tarifa de custodia respectiva. Cabe mencionar que, el costo de inventario en las bóvedas a considerar es únicamente por el efectivo custodiado en la bóveda de la empresa transportista de efectivo.

#### **1.5.6. Costo de oportunidad**

Para toda entidad bancaria existe un costo de oportunidad financiero respecto a la cantidad de efectivo que se mantiene como inventario en bóveda, ya que es dinero inmovilizado. Es así como, la rentabilidad obtenida por inversión bancaria puede considerarse como el costo de la mejor alternativa desechada por la retención de efectivo en el inventario.

### **1.6. Logística de Efectivo en Oficinas**

La presente sección tiene como objetivo presentar la gestión de existencias de efectivo y los costos logísticos que incurren las sucursales bancarias, las cuales serán motivo de análisis para la propuesta de optimización que propone el presente trabajo.

#### **1.6.1. Gestión de inventarios de efectivo en oficinas**

Acorde a García Cabello (2017), todos los días, las sucursales realizan numerosas transacciones que provocan entradas y salidas de efectivo. En consecuencia, existen dos tipos de entradas de efectivo por requerimiento de los consumidores, estas son ingresos por cajeros automáticos de tipo depósito ubicados dentro de la oficina, e ingresos de efectivo por ventanilla. Por otro lado, existen dos tipos de salidas de efectivo por requerimiento de los consumidores, por retiros en cajeros automáticos de tipo dispensador ubicados dentro de la oficina, y por retiros en ventanilla. En ese sentido, estos movimientos de efectivo bidireccionales pueden ser apreciados en la **Figura 4.**

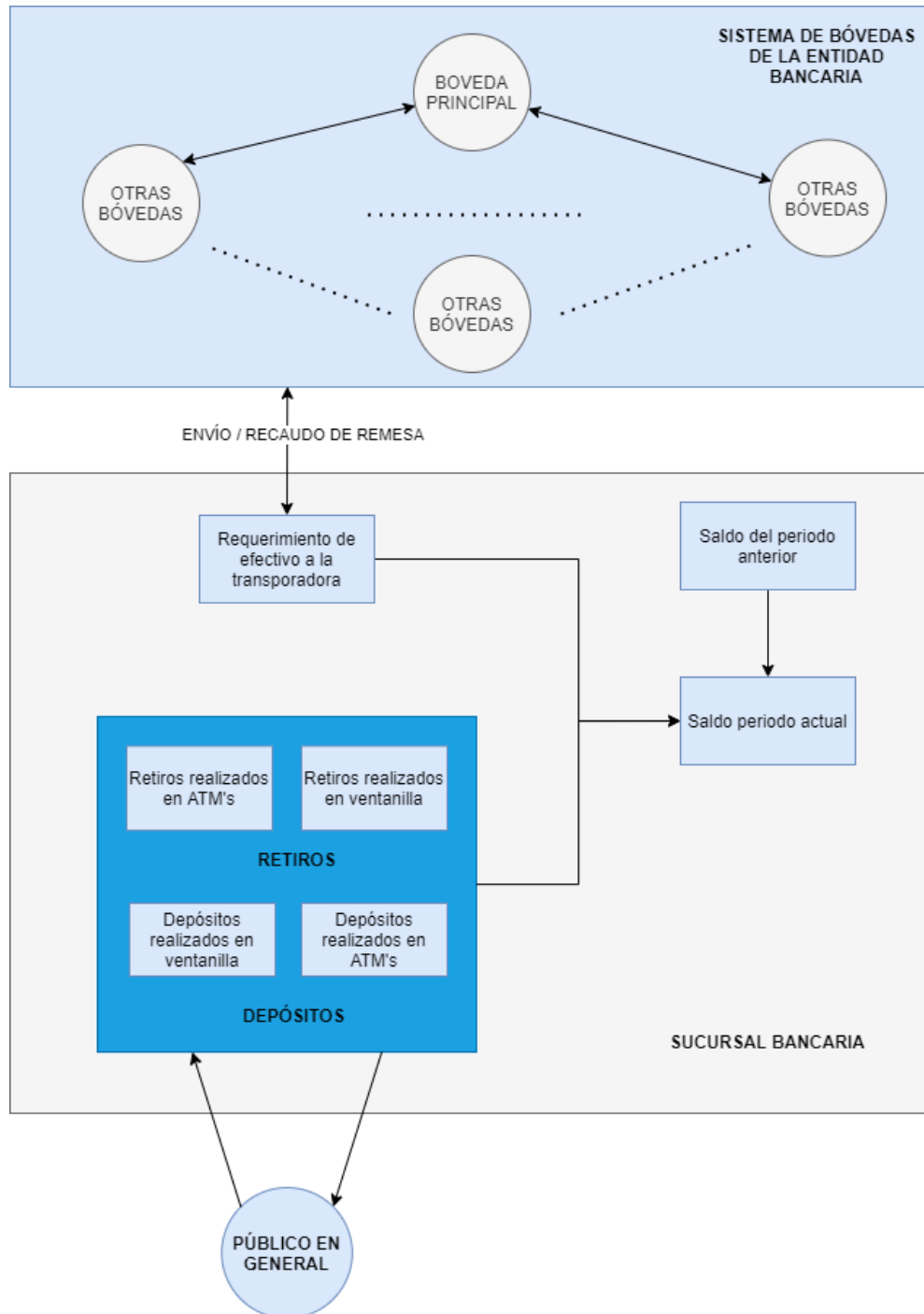
Por lo antes expuesto, cada sucursal debe mantener sus inventarios de efectivo en un nivel óptimo, sin generar superávit ni escasez de este. Ante ello, este inventario, no debe ser demasiado bajo a fin de evitar incurrir en *stock out*, pero tampoco debe ser demasiado elevado como para que la sucursal tenga problemas de seguridad (debido a una gran carga de efectivo) o el banco incurra en un elevado costo de oportunidad (es decir, la pérdida de oportunidad de no invertir en otras alternativas que sí generan ganancias).

Ante ello, conforme a Tavares (2015), cuando el inventario es bajo, para satisfacer la demanda, el gerente de la sucursal puede solicitar un envío de remesa a la empresa transportista. Por el contrario, cuando hay un exceso de efectivo en el saldo, se puede proporcionar un recaudo de remesa. Asimismo, como ya se mencionó en la sección anterior, parte del efectivo, depositado en cada sucursal, no presenta la suficiente calidad para ser entregado a los consumidores, por lo cual debe mantenerse en inventario. Por consiguiente, cuando se realiza una visita de la empresa transportista, el efectivo deteriorado es recogido junto con el exceso de efectivo apto, en caso fuese necesario.

Por lo antes expuesto, periódicamente, la sucursal deberá ajustar los niveles de efectivo a sus necesidades evitando generar dinero inactivo. Por lo tanto, un camión blindado evacuará el superávit o proporcionará el déficit de efectivo para alcanzar un nivel de seguridad confiable, tal como se puede apreciar en la **Figura 4**. En cuanto a este “nivel seguro de efectivo”, cabe mencionar que, cada sucursal tiene un límite superior de efectivo fijado por la compañía bancaria como mecanismo de control interno. Este límite superior de efectivo se asigna de acuerdo con el tamaño de la sucursal y a la póliza de seguro que tenga contratada la entidad bancaria, en caso se suscitase un robo.

Por ello, acorde a Cabello (2013), el criterio con el que se realiza dicha solicitud, en la práctica, se basa puramente en los datos históricos de la sucursal. En ese sentido, es que la sucursal compara un día como hoy con un día similar del pasado. De esa forma, la sucursal, habiendo identificado un día similar, examina el éxito o falla de la cantidad requerida, para tal día del pasado, y hace su solicitud luego de valorar si lo hace en una cantidad igual, mayor o menor.

Finalmente, en caso la sucursal se dé cuenta que existe una necesidad urgente o no planificada de efectivo para cubrir las necesidades de efectivo, podrá solicitar una remesa de emergencia o no programada. Lo mismo podrá suceder en caso el saldo de la sucursal haya excedido el límite superior de la sucursal.



**Figura 4: Logística de Efectivo en Sucursales Bancarias**  
Elaboración Propia

### **1.6.2. Costos en la logística de efectivo de oficinas**

Considerando que existen necesidades de envío y recaudo de efectivo para atender los requerimientos del público tanto para depósitos y retiros en las sucursales de oficina, es que Cabello (2013) sugiere dos tipos de gastos: los que se pueden anticipar, a partir de la previsión de la demanda de efectivo, y los de naturaleza estrictamente aleatoria o inesperados. Donde los primeros serán calculados conforme a la descripción que se brindará a continuación, y los segundos aplicando un recargo a la tarifa habitual por ser gastos no planificados.

En primer lugar, el principal costo que se incurre en la logística del efectivo en sucursales es el de transporte (tanto de envío como de recaudo de efectivo conforme a las necesidades mediante una remesa), debido a los costos que genera el alquiler de una empresa de transporte de efectivo (lo cual incluye costos de personal de seguridad y costos de transporte en camiones blindados). Este costo se calcula multiplicando la cantidad de dinero trasladado para las zonas urbanas por la tarifa de transporte de efectivo. Mientras que, para las zonas rurales se calcula, una parte, de la misma forma que con los costos urbanos; mientras que la otra parte, multiplicando la distancia recorrida por la tarifa de transporte. Asimismo, en caso la programación de remesa no sea realizada con anticipación, el banco debería asumir un recargo a la tarifa habitual de transporte por remesas.

En segundo lugar, está involucrado un costo de oportunidad, derivado del hecho de que el efectivo, mientras esté inmovilizado en la bóveda de las sucursales, no podrá ser invertido o aprovechado para devengar intereses, y, por ende, generará un costo por la mejor alternativa desechada.

En tercer lugar, dado que el efectivo transportando requiere ser consolidado al momento de ser transportado, es que existe un costo relacionado con el uso de bolsas, precintos, fajas, conos y otros materiales que con necesarios tanto para el transporte de entrada como de salida desde la bóveda. Para el caso de los envíos de remesas, las empresas transportistas de efectivo utilizan las cantidades necesarias conforme al requerimiento del efectivo a enviar. Sin embargo, para el caso de los recaudos de remesas, las sucursales se abastecen de un *stock* de materiales para poder preparar la remesa a ser enviada a las bóvedas de las empresas transportistas.

En cuarto lugar, para los recaudos de remesa, las empresas transportistas incurren en un costo de clasificación por denominación y el recuento del efectivo, que es realizado por cada ingreso de efectivo a sus bóvedas. Este costo se calcula por cada mil billetes o por cada cono de monedas.

En quinto lugar, y considerando que los depósitos realizados por los clientes, tanto en ventanilla como en ATM 's, contiene dinero en diferentes condiciones de calidad, es necesario separar el efectivo apto y no apto. En ese sentido, las empresas transportistas de efectivo son las encargadas de realizar esta clasificación de su efectivo. Es así como, el costo de la depuración de efectivo se obtiene multiplicando la tarifa de depuración por cada mil billetes o por cada cono de monedas.

Finalmente, dado que el efectivo es custodiado tanto al ser enviado a la bóveda de las sucursales como en el tránsito (de ida o vuelta) a la bóveda de la transportadora, es que se existen dos costos: el costo de inventario en tránsito y el de inventario en bóveda. El primero, el costo de tener el efectivo, y que no esté disponible, mientras es trasladado tanto en el envío como en el recaudo de oficina. Este costo es calculado multiplicando la cantidad de efectivo por el tiempo de tránsito por la tarifa de custodia durante el transporte. Y, el segundo, es el costo de mantener el inventario en las bóvedas de cada sucursal de oficina bancaria.

## Capítulo 2. Data Analytics

En el presente capítulo se pretende mostrar una breve descripción del concepto de *Data Analytics*, para, posteriormente, dar paso al desglose de las fases que lo componen; y finalmente, culminar con la descripción de las principales herramientas de analítica a ser utilizadas para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

### 2.1. Descripción de Data Analytics

Según Baesens (2014), *Data Analytics* es un término que a menudo se usa esencialmente para referirse a la extracción de patrones comerciales útiles o modelos de decisión matemática de un conjunto de datos pre procesados.

Es así como, un buen modelo analítico debe satisfacer varios requisitos, según el área de aplicación. Por lo tanto, Peng et al. (2015) consideran que los analistas de datos tienen muchas herramientas a su disposición, pero deben encontrar una manera de reunir las todas y aplicarlas a los datos para responder una pregunta relevante y de interés para las personas.

En consecuencia, un primer factor de criticidad para la aplicación del Análisis de Datos es la relevancia empresarial. Por lo cual, el modelo analítico debería resolver, a priori, el problema empresarial para el que fue desarrollado. Para ello es de vital importancia que el problema que se va a resolver esté claramente definido. Por otro lado, un segundo criterio es el desempeño estadístico. Por ello, el modelo debe tener significación estadística y poder predictivo. En ese sentido, la forma de medir esto dependerá del tipo de análisis considerado.

Ante ello, dependiendo de la aplicación, los modelos analíticos también deben ser interpretables y justificables. En primer lugar, la interpretación se refiere a la comprensión de los patrones que captura el modelo analítico. En segundo lugar, la justificación se refiere al grado en que un modelo armoniza el conocimiento y la intuición empresarial previos. En ese sentido, es importante se tenga en cuenta que tanto la interpretación como la justificación a menudo deben equilibrarse con el rendimiento estadístico.

A causa de ello, Provost & Fawcett (2013) considera que comprender los conceptos fundamentales y tener marcos para organizar el pensamiento analítico de datos no solo permitirá interactuar de manera competente, sino

que ayudará a visualizar oportunidades para mejorar la toma de decisiones basada en datos o para ver amenazas competitivas orientadas a datos.

Por otro lado, los modelos analíticos también deberían ser eficaces desde el punto de vista operativo. Es decir, en cuanto a los esfuerzos necesarios para recopilar los datos, procesarlos previamente, evaluar el modelo y alimentar sus resultados a la aplicación comercial. Asimismo, también implica los esfuerzos necesarios para monitorear, probar y volver a estimar el modelo cuando sea necesario.

De igual forma, otro punto de atención clave es el costo económico necesario para configurar el modelo analítico. Tal es así que, según Provost & Fawcett (2013), las empresas están explotando recursos de datos nuevos y existentes para obtener una ventaja competitiva.

Por ende, las empresas vienen empleando equipos de ciencia de datos para incorporar tecnologías avanzadas a fin de aumentar los ingresos y reducir los costos. Esto incluye los costos de recopilar y pre procesar los datos, los costos de analizar los datos y los costos de poner en producción los modelos analíticos resultantes. Además, deben tenerse en cuenta los costes de software y los recursos humanos e informáticos. Es importante hacer un análisis de costo-beneficio completo al inicio del proyecto.

Por último, los modelos analíticos también deben cumplir con la normativa y legislación tanto local como internacional. Dada la importancia de la analítica hoy en día, se está introduciendo cada vez más regulación relacionada con el desarrollo y uso de los modelos analíticos. Además, en el contexto de la privacidad, se están produciendo muchos nuevos desarrollos regulatorios a varios niveles.

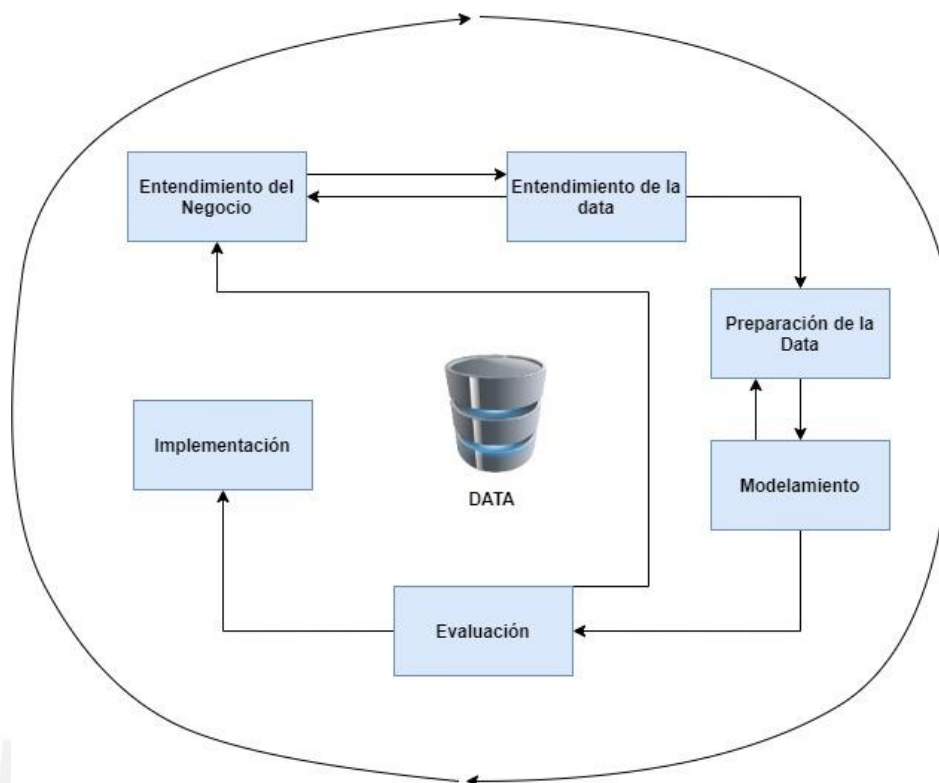
## **2.2. Fases del Data Analytics**

Para definir el proceso de *Data Analytics* se hará una distinción entre la fase inicial que respecta al *Data Mining*, la cual cuenta, a su vez, con varias etapas conforme al Modelo CRISP mostrado en la **Figura 5**, y la fase final de implementación del proyecto de *Analytics* en sí.

Cabe mencionar que, este diagrama de proceso hace explícito el hecho de que la iteración es la regla y no la excepción. Por lo que, a menudo, todo el proceso es una exploración de los datos y, después de la primera iteración, el



equipo de *Data Science* aprende cada vez más. En ese sentido, a continuación, se mostrarán las fases a detalle.



**Figura 5: Fases del Modelo CRISP**  
Fuente: Shearer (2000)  
Elaboración Propia

### 2.2.1. Data Mining

Según Maheshwari (2015), la minería de datos es el arte y la ciencia de descubrir conocimientos, ideas y patrones en los datos. Es la acción de extraer patrones útiles de una colección organizada de datos. A partir de la suposición implícita de que los datos sobre el pasado pueden revelar patrones de actividad que pueden proyectarse en el futuro.

La minería de datos es un campo multidisciplinario que toma prestadas técnicas de una variedad de campos. En primer lugar, utiliza el conocimiento de la calidad de los datos y la organización de datos del área de bases de datos. En segundo lugar, extrae técnicas de modelado y análisis de las áreas de estadística e informática. También extrae el conocimiento de la toma de decisiones del campo de la gestión empresarial. Finalmente, cabe mencionar que, ha evolucionado para ayudar a obtener una ventaja competitiva en los negocios.

Ante ello, la minería de datos estará compuesta por las siguientes etapas:

### **2.2.1.1. Entendimiento del Negocio**

Según Provost & Fawcett (2013), la etapa de Business Understanding representa una parte del oficio donde la creatividad juega un papel importante. Es así como, la clave para el éxito de la ciencia de datos es una formulación creativa del problema sobre cómo considerar el problema empresarial como uno o más problemas de ciencia de datos. En consecuencia, Maheshwari (2015) considera que debe haber un fuerte apoyo ejecutivo para el proyecto de minería de datos, a fin de que se alinee con la estrategia comercial del negocio.

Por ello, Shearer (2000) afirma que se puede describir esta etapa como la fase inicial que se centra en comprender los objetivos del proyecto desde una perspectiva empresarial, para después, convertir este conocimiento en una definición de problema de minería de datos y luego desarrollar un plan preliminar diseñado para lograr los objetivos. Esto a fin de que se pueda comprender qué datos deben analizarse posteriormente y de qué manera. Para ello es vital que los profesionales de la minería de datos comprendan completamente el negocio para el que están encontrando una solución. En ese sentido, la fase de comprensión empresarial implica varios pasos clave, incluida la determinación de los objetivos comerciales, la evaluación de la situación, la determinación de los objetivos de la minería de datos y la elaboración del plan del proyecto.

### **2.2.1.2. Entendimiento de la Data**

Según Maheshwari (2015), un paso importante relacionado es comprender los datos disponibles para la minería. Para ello es necesario buscar a través de muchas fuentes de datos relevantes para ayudar a abordar las hipótesis para resolver un problema.

Por ello, para Shearer (2000), la fase de comprensión de datos comienza con una recopilación de datos inicial. Luego, el analista procede a aumentar su familiaridad con los datos, a identificar problemas de calidad de los datos, a descubrir conocimientos iniciales sobre los datos o a detectar subconjuntos interesantes para formar hipótesis sobre información oculta.

En consecuencia, la fase de comprensión de datos comprende cuatro pasos, incluida la recopilación de datos iniciales, la descripción de datos, la

exploración de datos y la verificación de la calidad de los datos, según Peng et al. (2015). En el primer paso se adquiere los datos necesarios, incluida la carga e integración de estos datos, si es necesario. Luego, en la descripción de datos es donde se examina las propiedades (estructura y los componentes) de los datos adquiridos e informa sobre los resultados, a fin de saber si los datos adquiridos satisfacen los requisitos pertinentes. Después, en la exploración de datos se realiza la visualización (mediante una representación gráfica) e informe de datos para mostrar los posibles patrones y primeros hallazgos. Finalmente, al verificar la calidad de los datos, se examina la calidad de los datos, a fin de validar si los datos están completos, toda vez que la existencia de valores perdidos es común, especialmente si los datos se recopilaron durante largos períodos de tiempo.

### **2.2.1.3. Preparación de la data**

Dado que la aplicación de *Data Analytics* requiere que los datos a utilizar cumplan ciertos requisitos, según Provost & Fawcett (2013), es que se requiere que los datos estén en una forma diferente a la que se proporcionan de forma natural, y será necesaria alguna conversión.

Por lo tanto, la fase de preparación de datos a menudo avanza junto con el entendimiento de los datos. Ante ello, los ejemplos típicos de preparación de datos son convertir datos a formato tabular, eliminar o inferir valores perdidos y convertir datos a diferentes tipos. En ese sentido, acorde a Shearer (2000), la fase de preparación de datos cubre todas las actividades para construir el conjunto de datos final que se introducirán para el modelado.

Por ende, los cinco pasos en la preparación de datos son la selección de datos, la limpieza de datos, la construcción de datos, la integración de datos y el formateo de datos. En primer lugar, seleccionar datos refiere a la decisión sobre aquellos que se utilizarán para el análisis basado en varios criterios, incluida su relevancia para los objetivos de minería de datos. En segundo lugar, en la etapa de limpieza de datos se debe seleccionar subconjuntos limpios de datos o incorporar técnicas más ambiciosas, como estimar los datos faltantes mediante análisis de modelos. En tercer lugar, una vez que se limpian los datos, se debe realizar operaciones de preparación de datos, como desarrollar registros completamente nuevos o

producir atributos derivados. En cuarto lugar, la integración de datos implica combinar información de varias tablas o registros para crear nuevos registros. Luego, la agregación de datos se refiere a operaciones en las que se calculan nuevos valores resumiendo la información de varios registros y/o tablas. Finalmente, la realización de cambio el formato o diseño de los datos surge para que los datos sean adecuados para una herramienta de modelado específica.

#### **2.2.1.4. Modelamiento**

El modelado es la etapa principal donde se aplican las técnicas de minería de datos a los datos, según Provost & Fawcett (2013). Para ello es importante tener cierta comprensión de las ideas fundamentales de la minería de datos, incluido el tipo de técnicas y algoritmos que existen.

En ese sentido, acorde a Shearer (2000), los pasos de modelado incluyen la selección de la técnica de modelado, la generación del diseño de prueba, la creación de modelos y la evaluación de modelos. En primer lugar, la selección de la técnica de modelado se refiere a la elección de una o más técnicas de modelado específicas, como la construcción de árboles de decisión o la generación de redes neuronales. En segundo lugar, se procede a generar diseño de prueba, donde se debe probar la calidad y validez del modelo. Es decir, se desarrolla el modelo basado en un conjunto de datos existentes y prueba su validez utilizando un conjunto de datos separado. En tercer lugar, se ejecuta la herramienta de modelado en el conjunto de datos preparado para crear uno o más modelos. Finalmente, se interpreta los modelos de acuerdo con su conocimiento de dominio, los criterios de éxito de la minería de datos y el diseño de prueba deseado. En esta fase, se evalúa los modelos de acuerdo con el criterio de evaluación y tiene en cuenta los objetivos comerciales y los criterios de éxito empresarial.

#### **2.2.1.5. Evaluación**

Según Provost & Fawcett (2013), el propósito de esta etapa es evaluar los resultados de la minería de datos de manera rigurosa y validar su confiabilidad. Asimismo, esta etapa también sirve para ayudar a garantizar que el modelo satisfaga los objetivos comerciales originales. Es así como, el objetivo principal de la ciencia de datos para las empresas es respaldar

la toma de decisiones y se comienza el proceso centrándose en el problema empresarial a resolver.

En ese sentido, los pasos clave son la evaluación de resultados, la revisión del proceso y la determinación de los próximos pasos, según Shearer (2000). En primer lugar, si bien los pasos de evaluación anteriores se ocuparon de factores como la precisión y la generalidad del modelo, este paso evalúa el grado en que el modelo cumple con los objetivos comerciales y determina si existe alguna razón comercial por la que este modelo es deficiente. En segundo lugar, se hace una revisión más exhaustiva del compromiso de minería de datos para determinar si hay algún factor o tarea importante que de alguna manera se haya pasado por alto. Finalmente, en la determinación de los próximos pasos, el líder del proyecto debe decidir si finalizar este proyecto y pasar a la implementación o si iniciar más iteraciones o configurar nuevos proyectos de minería de datos.

### **2.2.2. Implementación del proyecto Analytics**

Según Shearer (2000), el proyecto de *Analytics* debe organizarse y presentarse de manera que el cliente pueda utilizarlo. Ante ello, Provost & Fawcett (2013) comentan que, los resultados de la minería de datos deben ser utilizados de forma real para obtener algún retorno de la inversión. En ese sentido, a menudo es el cliente, no el analista de datos, quien lleva a cabo los pasos de implementación. Por ello es importante que el cliente comprenda de antemano las acciones que se deben tomar para poder hacer uso de los modelos creados.

En consecuencia, los pasos en esta fase son la implementación del plan, el monitoreo y el mantenimiento del plan, la producción del informe final y la revisión del proyecto. En primer lugar, en el despliegue del plan se toma los resultados de la evaluación y desarrolla una estrategia para la implementación. En segundo lugar, la supervisión y el mantenimiento son cuestiones importantes para que el resultado de la minería de datos se convierta en parte del negocio diario y de su entorno. En tercer lugar, al final del proyecto, se redacta un informe final o presentación que incluye todos los entregables anteriores y resume los resultados que se presentan verbalmente al cliente. Finalmente, en la revisión del proyecto, se debe evaluar los fracasos y los éxitos, así como las áreas potenciales de mejora

para su uso en proyectos futuros. Este paso debe incluir un resumen de las experiencias importantes durante el proyecto y puede incluir entrevistas con los participantes importantes del proyecto.

## **2.3. Herramientas del Data Analytics**

En el presente apartado se hará hincapié en las principales herramientas de analítica que se considerarán para el desarrollo del presente trabajo de investigación, las cuales son: Análisis de Clústeres, Análisis de Principales Componentes, Árboles de decisión, Random Forest, Modelos autorregresivos y Redes neuronales.

### **2.3.1. Análisis de Clústeres**

Según Maheshwari (2015), el análisis de clústeres se utiliza para la identificación automática de agrupaciones naturales. En esta técnica, las instancias de datos que son similares entre sí se clasifican en un grupo. Ante ello, las instancias de datos que son muy diferentes entre sí se mueven a grupos diferentes. Asimismo, el análisis de clústeres se utiliza en casi todos los campos donde existe una gran variedad de transacciones. Por lo tanto, puede ayudar a identificar agrupaciones naturales de clientes, productos, pacientes, entre otros.

En ese sentido, una definición operativa de un clúster es que, dada una representación de “n” objetos, encuentre “K” grupos basándose en una medida de similitud, de modo que los objetos dentro del mismo grupo sean iguales pero los objetos de diferentes grupos no sean iguales.

En consecuencia, los grupos se pueden representar mediante un valor central o modal. Un grupo se puede definir como el centroide de la colección de puntos que le pertenecen. Un centroide es una medida de tendencia central. Por ende, la calidad de un resultado de agrupamiento depende del algoritmo de clusterización y la función de distancia.

En primer lugar, considerando la función de distancia, la mayoría de los métodos de análisis de conglomerados utilizan una medida de distancia para calcular la proximidad entre pares de elementos. Es así que, el objetivo clave del algoritmo de agrupamiento es que la distancia entre grupos sea maximizada y la distancia intra-grupo sea minimizada.

Finalmente, respecto a los algoritmo de agrupación en clústeres más populares, podemos destacar al algoritmo K-means, K-menoides y Jerárquico cuyas aplicaciones serán descritas a continuación.

### 2.3.1.1. K-Means

Es una técnica estadística basada en el método de minimizar la distancia mínima al cuadrado desde los puntos centrales de los conglomerados. Es así que, según Services (2015), dada una colección de objetos, cada uno con “n” atributos medibles, para un valor elegido de “k”, se identifica “k” grupos de objetos basándose en la proximidad de los objetos al centro de los k grupos. El centro se determina como el promedio aritmético del vector de atributos n-dimensional de cada grupo.

En ese sentido, el algoritmo de k-medias, para encontrar k grupos, se puede describir en los siguientes cuatro pasos conforme a (Baesens, 2014):

- Elejir el valor de  $k$  y las  $k$  estimaciones iniciales para los centroides
- Calcular la distancia desde cada punto de datos  $(x,y)$  a cada centroide. Luego, asignar cada punto al centroide más cercano. Esta asociación define los primeros  $k$  grupos.

A modo de ejemplo, en el caso de dos dimensiones, la distancia,  $d$ , entre dos puntos cualesquiera  $(x_1,y_1)$  y  $(x_2,y_2)$ , en el plano cartesiano, se expresa típicamente usando la medida de distancia euclidiana proporcionada en la expresión 1.

$$d = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} \dots (1)$$

- Cuando se hayan asignado todas las observaciones, se debe volver a calcular las posiciones de los  $k$  centroides.

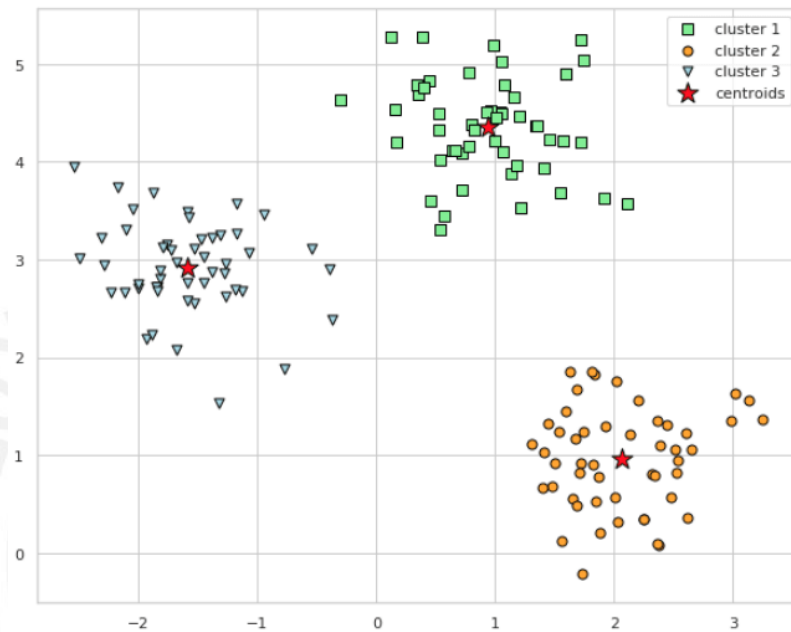
$$(X_c, Y_c) = \left( \frac{\sum_{i=1}^m X_i}{m} + \frac{\sum_{i=1}^m Y_i}{m} \right) \dots (2)$$

En dos dimensiones, el centroide  $(x_c,y_c)$  de los  $m$  puntos en un grupo de k-medias se calcula como sigue en la expresión 2.

Por tanto,  $(x_c,y_c)$  es el par ordenado de las medias aritméticas de las coordenadas de los “m” puntos del cluster. En este paso, se calcula un centroide para cada uno de los  $k$  grupos.

- Se deberá repetir los pasos dos pasos previos hasta que el algoritmo converja en una respuesta. Es decir, hasta que los centroides del cluster ya no cambien.

Finalmente, la **Figura 6** ilustra tres grupos de objetos con dos atributos, donde cada objeto del conjunto de datos está representado por un pequeño punto representando por colores.



**Figura 6: K-Means Clustering con K=3**  
Fuente: Provost & Fawcett (2013)

### 2.3.1.2. K-Medoides

Acorde a Services (2015), el método de agrupamiento de k-means se aplica fácilmente a datos numéricos donde el concepto de distancia se puede aplicar naturalmente. Sin embargo, este método no maneja datos categóricos. En tales casos, k-medoids es un método comúnmente utilizado para agrupar datos categóricos en función del número de diferencias en los componentes respectivos de los atributos.

En general, un medoide es un objeto representativo en un conjunto de objetos. En la agrupación, los medoides son los objetos en cada grupo que minimizan la suma de las distancias desde el medoide a los otros objetos en el grupo.

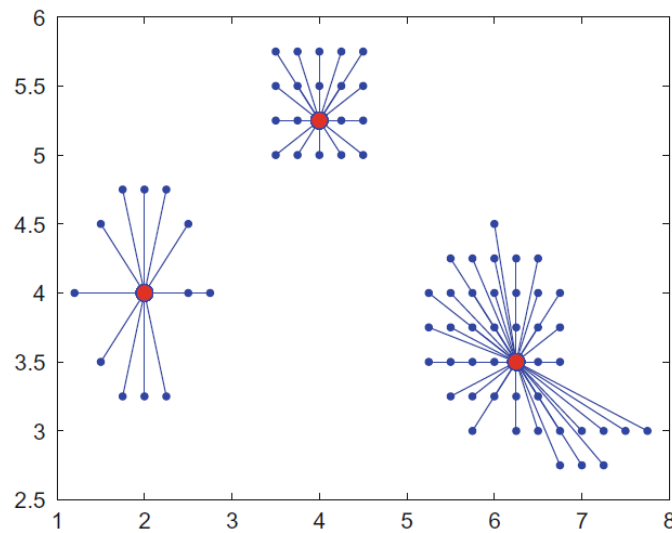
En consecuencia, Wierzchoń & Kłopotek (2018) consideran que los objetos se pueden representar como vectores n-dimensionales con componentes de valor real acorde a la **Figura 7**. Es así que, surge el término costo de la



partición, dado por la expresión 3, el cual depende de las distancias máximas entre el prototipo  $\mu_i$  y el objeto del grupo representado por este prototipo. Además, los centros  $\mu_i$  son objetos abstractos que no pertenecen al conjunto  $X$ . Para evitar estas desventajas, se considera la medición del llamado costo de partición de la siguiente forma:

$$J_{med}(p_1, \dots, p_k) = \min_{1 \leq j \leq k} \sum_{i \in C_j} d(x_i, p_j) \dots (3)$$

donde  $p_1, \dots, p_k \in X$  son centros de conglomerados, también llamados prototipos, ejemplos, ejemplares, medoides o simplemente centros. En ese sentido, el algoritmo k-medoides apunta a tal elección de centros  $\{p_1, \dots, p_k\} \subset X$  para el cual el índice  $J_{med}$  alcanza su mínimo.



**Figura 7: K-Medoid Clustering**  
Fuente: Wierzchoń & Kłopotek (2018)

### 2.3.1.3. Jerárquico

Conforme a Baesens (2014), a diferencias de las técnicas aglomerativas antes descritas, el método de agrupamiento jerárquico comienza con todo el conjunto de datos en un conglomerado, y luego lo divide en conglomerados cada vez más pequeños hasta que queda una observación por conglomerado.

En ese sentido, para decidir sobre la fusión o escisión se necesita una regla de similitud. Ante ello, ejemplos de reglas de similitud populares son la distancia euclidiana y la distancia de Manhattan. Sin embargo, para estudios de series de tiempo se podría usar el *dynamic time warping* (DTW), del cual se brindará más detalle en adelante.

Finalmente, para decidir el número óptimo de conglomerados, se podría utilizar un dendrograma o un gráfico de sedimentación. Un dendrograma es un diagrama en forma de árbol que registra las secuencias de fusiones. Por otro lado, un gráfico de sedimentación es un gráfico de la distancia a la que se fusionan los clústeres, donde el punto codo determina la agrupación óptima.

### **2.3.2. Análisis de Principales Componentes (PCA)**

Según Narasimhan & Shah (2004), el PCA es una forma de identificar patrones en los datos y expresar los datos de tal manera que resalten sus similitudes y diferencias. Dado que los patrones en los datos pueden ser difíciles de encontrar en datos de gran dimensión, donde la representación gráfica no está disponible, PCA es una herramienta poderosa para analizar datos. Toda vez que facilita la simplificación de la complejidad de espacios muestrales con muchas dimensiones a la vez que conserva su información.

Por ende, una vez que se ha encontrado estos patrones en los datos y estos son comprimidos, se reduce el número de dimensiones, sin mucha pérdida de información.

Es así que, al existir una muestra con de “n” individuos cada uno con “p” variables ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ ), el PCA permite encontrar un número de factores subyacentes ( $z < p$ ) que explican aproximadamente lo mismo que las “p” variables iniciales. En ese sentido, cada una de estas “z” nuevas variables será denominada como componente principal.

#### **2.3.2.1. Algebra matricial**

Acorde con Kong et al. (2017) existen dos de los conceptos matemáticos aplicados en el PCA, los *eigenvectors* y *eigenvalues*, también conocidos como vectores propios y valores propios, y los cuales están asociados a matrices cuadradas.

En ese sentido, se tiene que, dada una matriz “B” cuadrada de orden n, el vector propio generado viene definido por la expresión 4:

$$B \cdot \vec{v} = \lambda \cdot \vec{v} \dots (4)$$

donde el escalar  $\lambda$  es el valor propio.

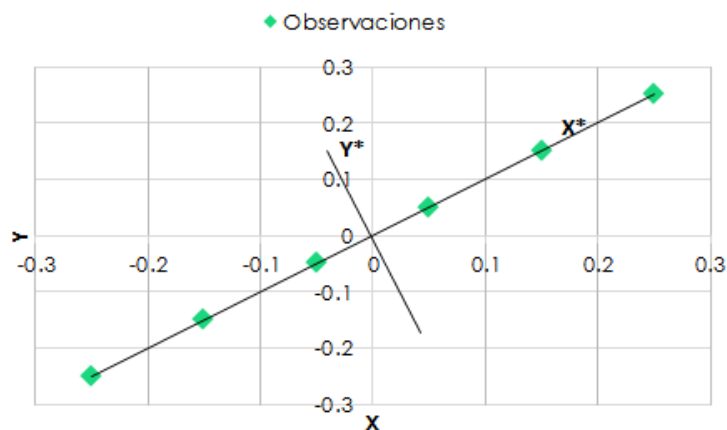
### 2.3.2.2. Cálculo de los componentes principales

Acorde a Naik (2017), los componentes principales resultan de una combinación lineal normalizada de las variables originales los datos. Generalmente, sería posible la obtención de una cantidad de componentes principales distintos así como variables. Cabe mencionar que, la primera componente principal debe ser elegida de tal forma que sea la que mayor varianza recaude; y de forma descendente la segunda y demás componentes. Asimismo, se debe elegir un número que recoja un porcentaje relevante de la varianza total.

Ante ello, el objetivo es determinar las combinaciones lineales que mejor representan las variables. Es decir, identificar los  $Z_m$  definidos por:

$$Z_m = \sum_{j=1}^p \phi_{jm} X_j \dots (5)$$

donde  $\phi_{1m}, \phi_{2m}, \dots, \phi_{pm}$  son los pesos de los componentes principales. Es así que, la suma de los cuadrados de los pesos debe sumar 1, a fin de que la combinación lineal se normalice para no inflar la varianza.



**Figura 8: Análisis de los dos Principales Componentes**  
Fuente: Naik (2017)

Por otro lado, desde un punto de vista geométrico, también es posible entender el PCA, a partir del concepto que el vector que define la primera componente principal sigue la dirección en la que las observaciones varían más. Luego, el segundo componente sigue la segunda dirección en la que los datos muestran mayor varianza y que no está correlacionada con la primera componente. Es así que, la condición de no correlación entre componentes principales equivale a decir que sus direcciones son perpendiculares/ortogonales. Esto se puede apreciar gráficamente en la

**Figura 8** donde por fines didácticos se analizará únicamente los 2 principales componentes.

### 2.3.3. Árbol de decisión

Acorde a Dietrich, D., Heller, R., Yang, B. (2015), este método utiliza la estructura de árbol para especificar secuencias de decisiones y consecuencias. El objetivo es predecir una respuesta o variable de salida considerando una determinada entrada. Es así que, cada miembro del conjunto se denomina variable de entrada. La predicción se puede lograr mediante la construcción de un árbol de decisión con puntos de prueba y ramas. En cada punto de prueba, se toma la decisión de elegir una rama específica y atravesar el árbol.

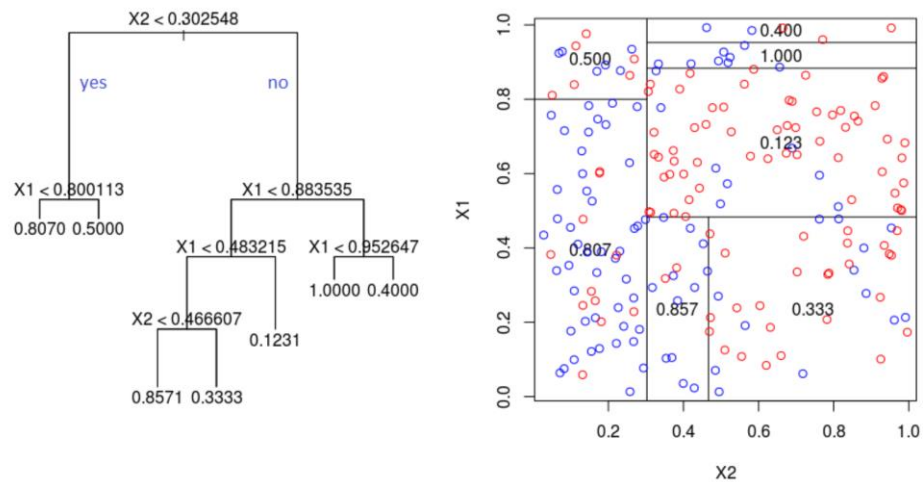
Los valores de entrada de un árbol de decisión pueden ser categóricos o continuos. Un árbol de decisión emplea una estructura de puntos de prueba (llamados nodos) y ramas, que representan la decisión que se está tomando. Un nodo sin más ramas se denomina nodo hoja. Los nodos hoja devuelven etiquetas de clase y, en algunas implementaciones, devuelven las puntuaciones de probabilidad. Un árbol de decisión se puede convertir en un conjunto de reglas de decisión.

Según Zaki & Meira (2020), un árbol de decisión consta de nodos internos que representan las decisiones correspondientes a los hiperplanos o puntos de división y nodos de hoja que representan regiones o particiones del espacio de datos, que se etiquetan con el clase mayoritaria. Una región se caracteriza por el subconjunto de puntos de datos que se encuentran en esa región.

Los árboles de decisión tienen dos variedades: árboles de clasificación y árboles de regresión. Los árboles de clasificación generalmente se aplican a las variables de salida que son de naturaleza categórica. Por otro lado, los árboles de regresión pueden aplicarse a variables de salida que son numéricas o continuas, como el precio previsto de un bien de consumo o la probabilidad de que se compre algún bien conforme a la **Figura 9**.

Finalmente, los árboles de decisión se pueden aplicar a una variedad de situaciones. Se pueden representar fácilmente de forma visual y las reglas de decisión correspondientes son bastante sencillas. Además, debido a que el resultado es una serie de declaraciones si-entonces lógicas, no existe una

suposición subyacente de una relación lineal (o no lineal) entre las variables de entrada y la variable de respuesta.

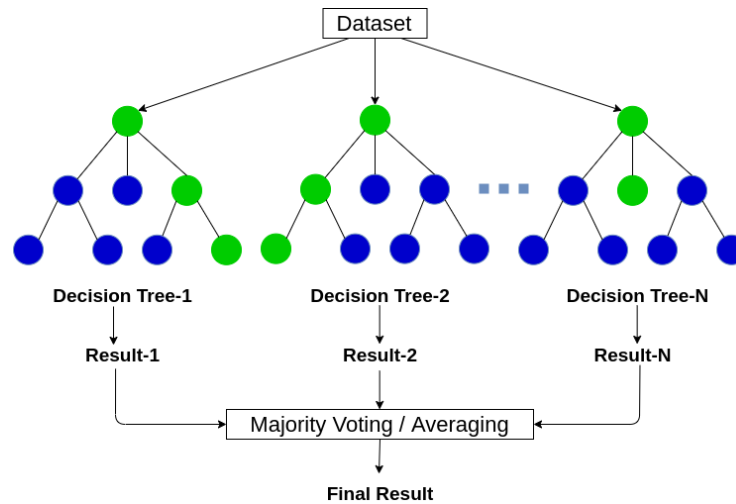


**Figura 9: Árbol de Regresión**  
Fuente: Baesens (2014)

### 2.3.4. Random Forest

Según Zaki & Meira (2020), un bosque aleatorio es un conjunto de  $K$  clasificadores donde cada clasificador es un árbol de decisión creado a partir de una muestra de arranque diferente. Lo que se requiere es tener una diversidad de árboles, a fin de que cuando se promedien sus decisiones, se verán mucho más los efectos de reducción de la varianza. El muestreo aleatorio de los atributos da como resultado la reducción de la correlación entre los árboles del conjunto.

Asimismo, acorde a Baesens (2014), los bosques aleatorios se pueden usar tanto con árboles de clasificación como con árboles de regresión. La clave en este enfoque es la disimilitud entre los clasificadores base, que se obtiene mediante la adopción de un procedimiento de arranque para seleccionar las muestras de entrenamiento de los clasificadores base individuales, la selección de un subconjunto aleatorio de atributos en cada nodo y la fuerza de los modelos base individuales, conforme se puede apreciar en la **Figura 10**. Como tal, la diversidad de los clasificadores básicos crea un conjunto que tiene un rendimiento superior en comparación con los modelos individuales.



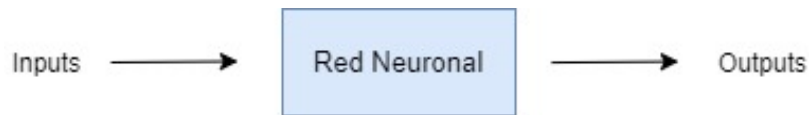
**Figura 10: Bosque Aleatorio**  
**Fuente: Zaki & Meira (2020)**

### 2.3.5. Redes neuronales

Acorde a Zaki & Meira (2020), las redes neuronales artificiales o simplemente las redes neuronales se inspiran en las redes neuronales biológicas. Por otro lado, Maheshwari (2015) menciona que el cerebro humano consta de miles de millones de neuronas que se enlazan entre sí a partir de un patrón. Es así que, cada neurona recibe información de muchas otras neuronas, la procesa, se excita o no y pasa su información de estado a otras neuronas.

Por ende, las redes neuronales artificiales (ANN), se pueden utilizar para muchos tipos de reconocimiento y predicción de patrones. En ese sentido, las ANN están compuestas por una gran cantidad de neuronas altamente interconectados que trabajan en estructuras de múltiples capas que reciben entradas, procesan las entradas y producen una salida, conforme a la **Figura 11**. Es así que, una red neuronal artificial se entrena mediante un proceso de aprendizaje, e igual que en los sistemas biológicos, estas realizan ajustes en las conexiones sinápticas con cada instancia de aprendizaje.

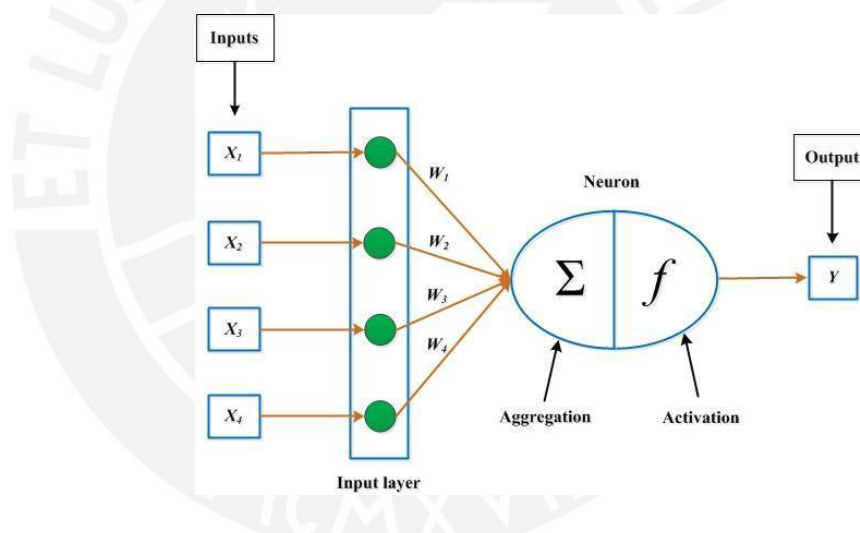
Cabe mencionar que, las redes neuronales artificiales son como una caja negra entrenadas para resolver un tipo particular de problema y pueden desarrollar un alto poder predictivo. Los valores de sus parámetros sinápticos intermedios evolucionan a medida que el sistema obtiene retroalimentación sobre sus predicciones y, por ende, una ANN aprende de más datos de entrenamiento.



**Figura 11: Modelo General de una Red Neuronal**  
**Fuente: Maheshwari (2015)**  
**Elaboración Propia**

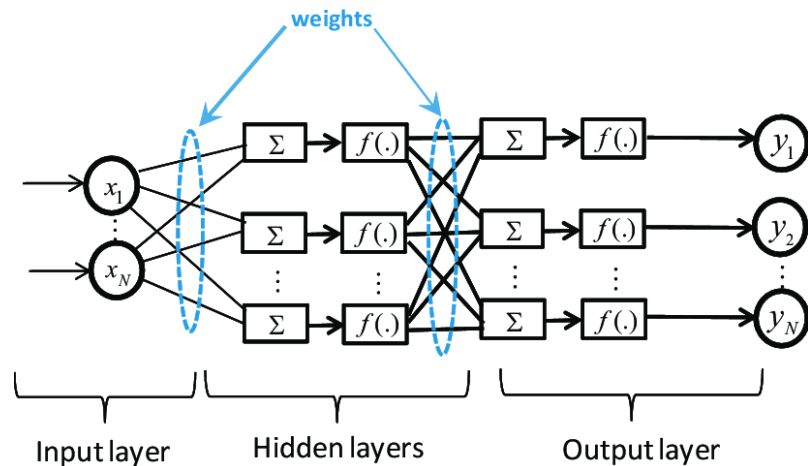
Ante ello, a continuación, se presentará a detalle los principios de diseño de una Red Neuronal Artificial:

- La neurona recibe entradas de sus neuronas precedentes, realiza un cálculo ponderado no lineal sobre la base de esas entradas, transforma el resultado en su valor de salida y luego pasa la salida a la siguiente neurona en el red, acorde a lo mostrado en la **Figura 12**. Las “X” son las entradas, las “w” son las ponderaciones de cada entrada e “Y” es la salida.



**Figura 12: Modelo para Red Neuronal Básica**  
**Fuente: Ghefiri et al. (2018)**

- En ese sentido, hay al menos una neurona de entrada, una neurona de salida y al menos una neurona de procesamiento. Una red neuronal con solo esta estructura básica sería una unidad computacional simple de una sola etapa. Sin embargo, las redes neuronales pueden tener múltiples capas de elementos de procesamiento en secuencia. En ese sentido, podría haber muchas neuronas involucradas en una secuencia dependiendo de la complejidad de la acción predictiva. Las capas de las neuronas precedentes podrían funcionar en secuencia o podrían funcionar en paralelo acorde a la **Figura 13**.



**Figura 13: Modelo de una Red Neuronal multicapa**  
**Fuente: Ghefiri et al. (2018)**

- La lógica de procesamiento de cada neurona puede asignar diferentes pesos a los distintos flujos de entrada. La lógica de procesamiento también puede utilizar una transformación no lineal, como una función sigmoide, de los valores procesados al valor de salida. Es así que, esta lógica de procesamiento y las funciones intermedias de peso y procesamiento son solo lo que funciona para el sistema resuelva un problema colectivamente. Por tanto, las redes neuronales se consideran un sistema de caja negra.
- La red neuronal se puede entrenar tomando decisiones similares una y otra vez con muchos casos de entrenamiento. Por lo tanto, las redes neuronales mejoran en la toma de decisiones a medida que manejan más decisiones.
- Dependiendo de la naturaleza del problema y la disponibilidad de buenos datos de entrenamiento, en algún momento la red neuronal aprenderá lo suficiente y comenzará a igualar la precisión predictiva de un experto humano.



## PARTE 2. MARCO METODOLÓGICO

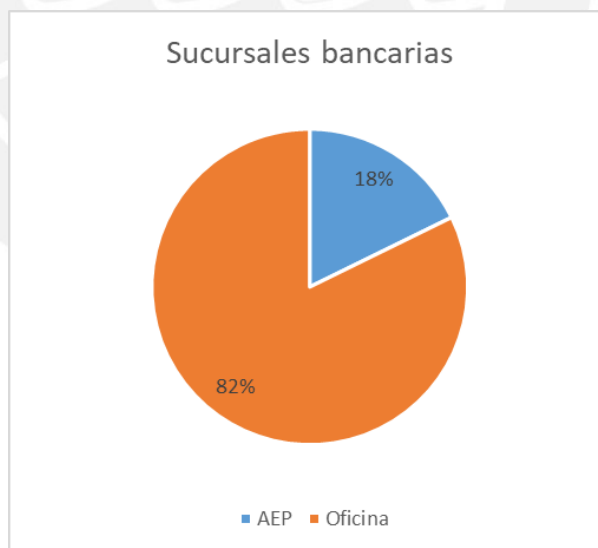
En esta parte se presentará, inicialmente, los antecedentes, para luego dar paso al mapeo del servicio que actualmente se brinda en materia de envíos y recaudos de efectivo en oficinas bancarias, y, posteriormente, enfocarnos en el entendimiento y preparación de los datos a utilizar en el presente proyecto de *Analytics*. Además, se realizará una clusterización de oficinas, a fin de determinar comportamientos similares para caracterizar las tendencias del proceso de negocio, para después proceder al modelamiento de predicción, evaluación, selección del modelo, y finalmente, propuesta de asignación de efectivo óptima por oficinas.

### Capítulo 3. Antecedentes

En el presente capítulo se realizará la caracterización de la entidad financiera en análisis, en cuanto a lo relacionado con el proceso de remesado de oficinas.

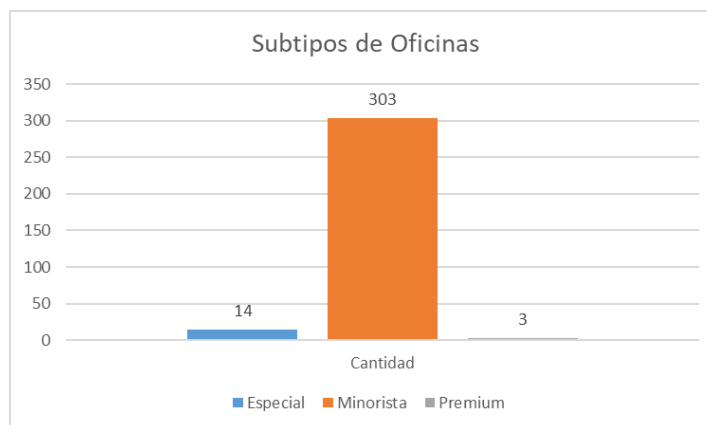
#### 3.1. Sucursales bancarias

La entidad financiera en análisis presenta a nivel nacional un total de 389 sucursales bancarias, divididas en Agentes Express Plus (AEP) y oficinas. De las cuales, conforme al **Gráfico 1**, 320 son oficinas representando el 82% del total.



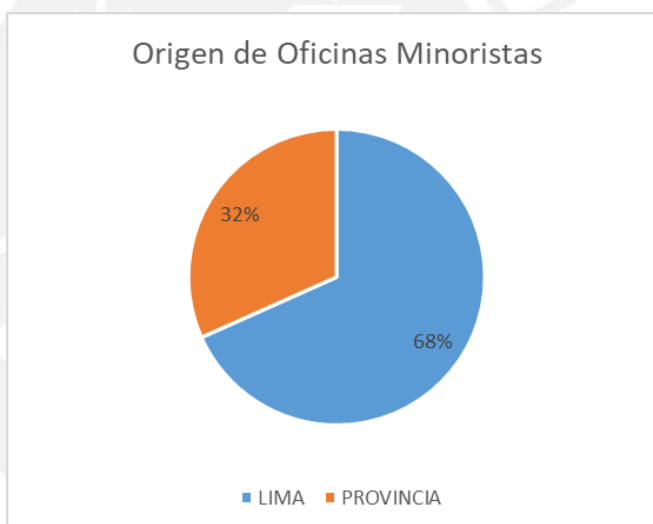
**Gráfico 1: Proporción de Sucursales Bancarias**  
Elaboración Propia

Asimismo, existen 3 subtipos de oficinas que son las Especiales, Minoristas y Premium, conforme al **Gráfico 2**, de las cuales 303 (95%) corresponden a la categoría de Minoristas, por lo cual se pondrá énfasis principal en estas a lo largo del presente trabajo de investigación.



**Gráfico 2: Subtipos de oficinas**  
Elaboración Propia

Finalmente, considerando que 207 (68%) de las oficinas minoristas, conforme al **Gráfico 3**, se encuentra en Lima, es que el análisis a realizar en el presente trabajo de investigación considerará este tipo de oficinas, y en particular aquellas que estén ubicadas en el radio Metropolitano.



**Gráfico 3: Origen de Oficinas Minoristas**  
Elaboración Propia

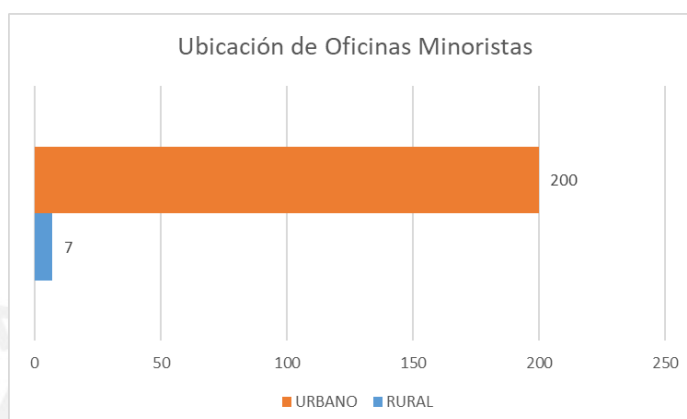
### 3.2. Distribución de Oficinas por distrito en Lima

Respecto a la distribución de oficinas de Lima, se aprecia que la mayor concentración, correspondiente al 97% (200 oficinas), se encuentra dispuesta dentro de Lima Metropolitana, y la cantidad restante en la zona rural de Lima acorde al **Gráfico 4**.

En ese sentido, se puede inferir que, para la atención de la demanda de efectivo dentro de Lima, tanto de envíos como de recaudos, no debería haber mayor dificultad, dado que las oficinas se encuentran dispuestas en su gran

mayoría en el radio urbano; es decir, cercanas a las fuentes de abastecimiento que son las bóvedas de las empresas transportadoras.

Lo cual representa una gran ventaja, puesto que, para el remesado de las oficinas rurales, en aras de mantener un nivel de disponibilidad de efectivo adecuado, se tendría que incurrir en mayor gasto respecto a una oficina urbana, debido al recargo fijo correspondiente por cada traslado rural de efectivo realizado.



**Gráfico 4: Ubicación de oficinas minoristas en Lima**  
**Elaboración Propia**

Asimismo, acorde a la **Tabla 1**, considerando las oficinas ubicadas en Lima Metropolitana, aquellos distritos que presentan mayor cantidad de oficinas son Santiago de Surco (19), Miraflores (15), San Isidro (15), Cercado de Lima (14), Callao (13), La Victoria (10), San Borja (8), San Miguel (8), Ate (7) y La Molina (7).

Por otro lado, en los 5 distritos donde se presenta oficinas rurales de Lima, existe una frecuencia reducida y uniforme de cantidad de ellas, siendo Barranca y Huacho en los que se presenta la mayor cantidad de este tipo de sucursales bancarias.

Finalmente, luego del análisis realizado, resulta fundamental prestar atención a la demanda y políticas de remesado del grupo de oficinas ubicadas en el área Metropolitana de Lima (97%). Sin embargo, es importante no sólo considerar la cantidad de oficinas a atender, sino también, la cantidad de traslados (envíos o recaudos) a realizar, y de forma más específica, la cantidad de efectivo que será trasladado hacia cada una de ellas. Toda vez que los costos logísticos asociados son directamente proporcionales a la cantidad de efectivo transportado.

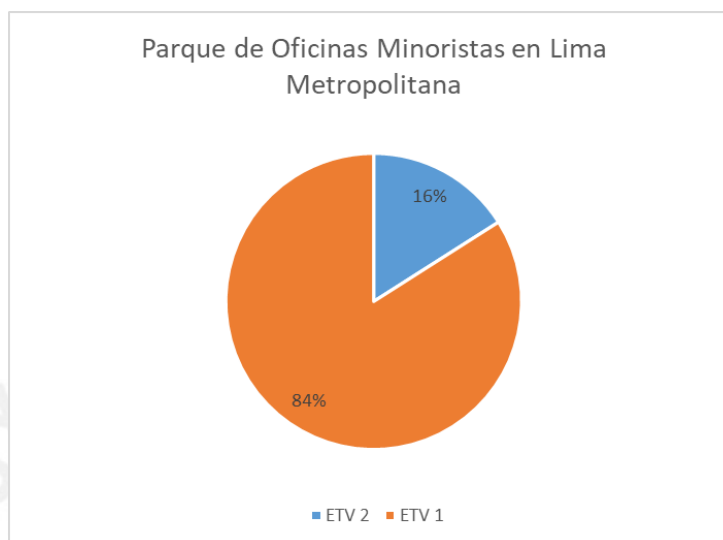
**Tabla 1: Distribución de oficinas por distrito en Lima**

<b>DISTRITO</b>	<b>RURAL</b>	<b>URBANO</b>	<b>Total</b>
SANTIAGO DE SURCO		19	<b>19</b>
MIRAFLORES		15	<b>15</b>
SAN ISIDRO		15	<b>15</b>
CERCADO DE LIMA		14	<b>14</b>
CALLAO		13	<b>13</b>
LA VICTORIA		10	<b>10</b>
SAN BORJA		8	<b>8</b>
SAN MIGUEL		8	<b>8</b>
ATE		7	<b>7</b>
LA MOLINA		7	<b>7</b>
LINCE		6	<b>6</b>
LOS OLIVOS		6	<b>6</b>
SAN JUAN DE LURIGANCHO		6	<b>6</b>
SAN MARTIN DE PORRES		6	<b>6</b>
CHORRILLOS		5	<b>5</b>
JESUS MARIA		5	<b>5</b>
MAGDALENA		5	<b>5</b>
BREÑA		4	<b>4</b>
COMAS		4	<b>4</b>
SAN JUAN DE MIRAFLORES		4	<b>4</b>
SURQUILLO		4	<b>4</b>
INDEPENDENCIA		3	<b>3</b>
PUEBLO LIBRE		3	<b>3</b>
VILLA EL SALVADOR		3	<b>3</b>
BARRANCA	2		<b>2</b>
BARRANCO		2	<b>2</b>
HUACHO	2		<b>2</b>
RIMAC		2	<b>2</b>
SAN LUIS		2	<b>2</b>
SANTA ANITA		2	<b>2</b>
VENTANILLA		2	<b>2</b>
VILLA MARIA DEL TRIUNFO		2	<b>2</b>
BELLAVISTA		1	<b>1</b>
CAÑETE		1	<b>1</b>
CARABAYLLO		1	<b>1</b>
CHANCAY	1		<b>1</b>
EL AGUSTINO		1	<b>1</b>
HUARAL	1		<b>1</b>
LURIGANCHO		1	<b>1</b>
LURIN		1	<b>1</b>
MALA	1		<b>1</b>
PUENTE PIEDRA		1	<b>1</b>
SAN VICENTE DE CAÑETE		1	<b>1</b>
<b>Total general</b>	<b>7</b>	<b>200</b>	<b>207</b>

Elaboración Propia

### 3.3. Empresas Transportadoras de valores

La entidad financiera en análisis cuenta con 2 empresas transportadoras de valores (ETV), que en adelante serán llamadas ETV1 y ETV2. Por lo tanto, existen 2 bóvedas desde las cuales se atienden las necesidades de envío y recaudo de efectivo para las oficinas de Lima Metropolitana.



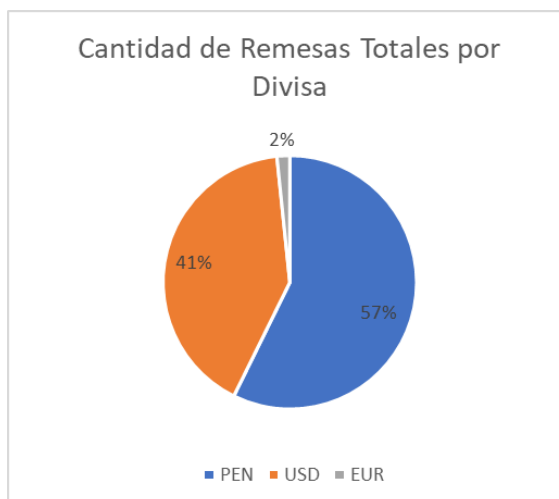
**Gráfico 5: Parque de oficinas minoristas en Lima Metropolitana**  
**Elaboración Propia**

Cabe mencionar que, respecto al parque de oficinas minoristas ubicadas en Lima Metropolitana que atienden estas ETV, conforme al **Gráfico 5**, el 84% (200 oficinas) está asignado a la ETV1 y el restante a la ETV2.

### 3.4. Envíos y Recaudos por oficina

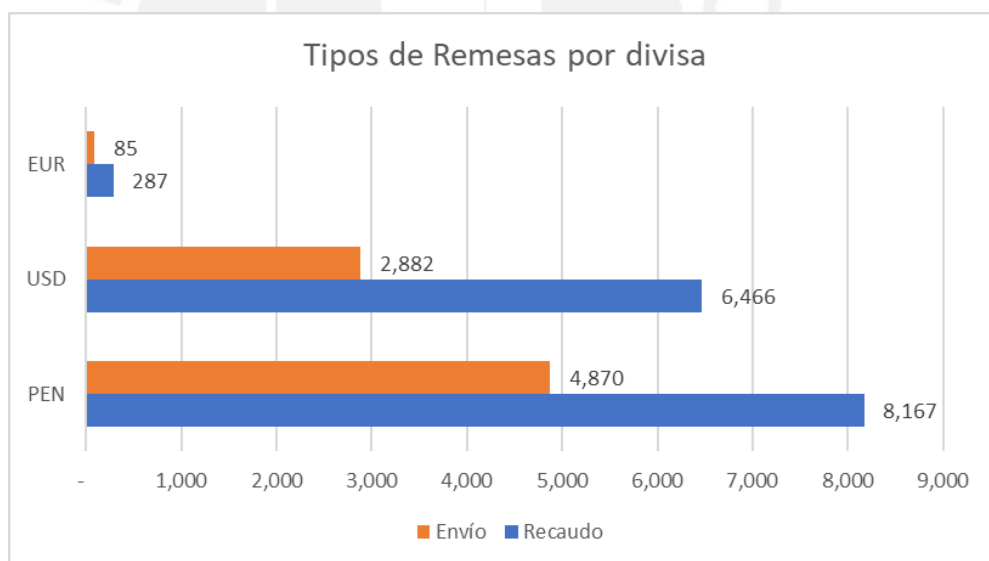
Cabe mencionar que, respecto a la cantidad de envíos y recaudos realizados a lo largo del 2021 para las oficinas ubicadas en el área Metropolitana de Lima, conforme al **Gráfico 6**, el 57% (13 037) corresponde a la divisa de soles, el 41% (9 348) corresponde a la divisa de dólares y el restante 2% (372) corresponde a euros.

Asimismo, acorde a lo mostrado en el **Gráfico 7**, para todas las divisas siempre la cantidad de recaudos son mayores a los envíos. Es así que, para la divisa de soles el 63% (8 167) corresponde a recaudos y el 37% (4 870) a envíos; para dólares el 70% (6 466) corresponde a recaudos y el 30% (2 882) a envíos; y finalmente, para euros el 77% (287) corresponde a recaudos y el 23% restante (85) a envíos.



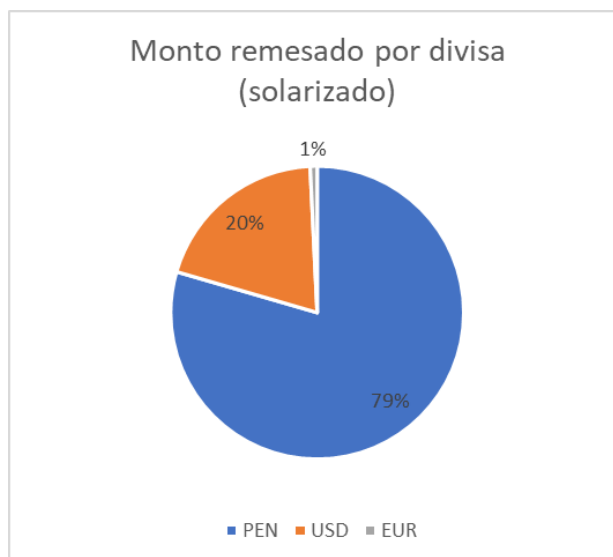
**Gráfico 6: Cantidad de Remesas Anuales por divisa**  
Elaboración Propia

Sin embargo, más allá de la cantidad de envíos y recaudos realizados, es importante analizar los volúmenes de los montos trasladados en dichas remesas, puesto que los costos logísticos son (en su gran mayoría) directamente proporcionales al volumen transportado.



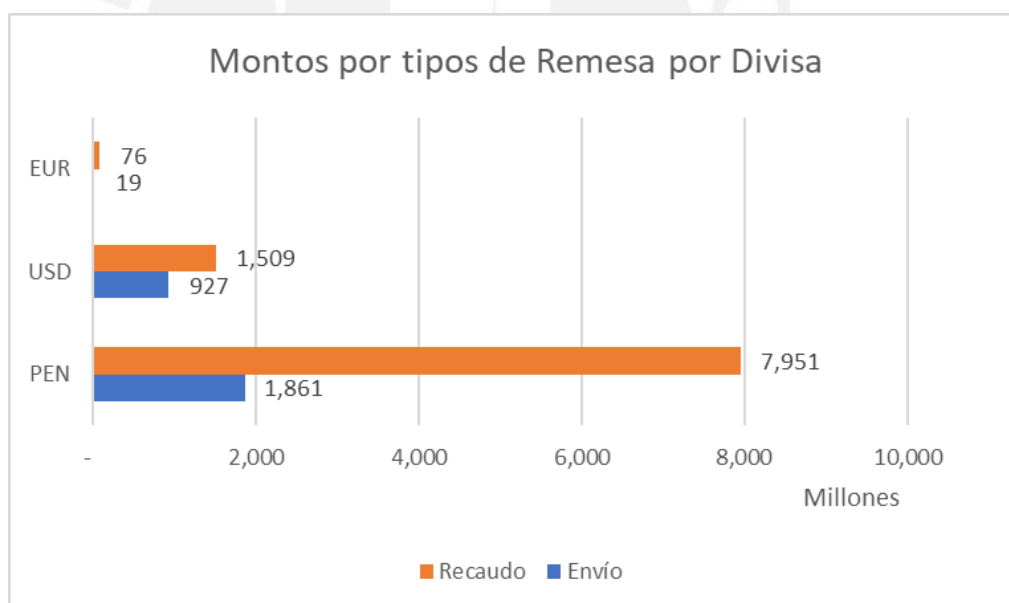
**Gráfico 7: Cantidad por tipos de Remesas Anuales**  
Elaboración Propia

En ese sentido, respecto a los montos de envíos y recaudos realizados a lo largo del 2021 para las oficinas ubicadas en el área Metropolitana de Lima (en soles al cambio), conforme al **Gráfico 8**, el 79% (9 812 millones) corresponde a la divisa de soles, el 20% (2 435 millones) corresponde a la divisa de dólares y el restante 1% (95 millones) corresponde a euros.



**Gráfico 8: Monto Remesado Anual en Soles**  
Elaboración Propia

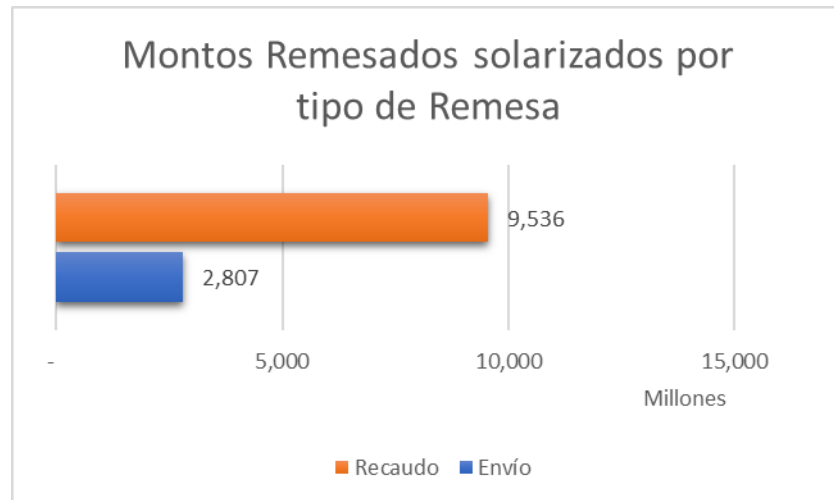
Por lo tanto, existiría una mayor proporción de gasto total en soles, por lo que, a priori, ello sugeriría que el foco del análisis debería centrarse únicamente en dicha divisa a nivel de oficinas minoristas en Lima Metropolitana.



**Gráfico 9: Monto por tipo de Remesa Anual (solarizado)**  
Elaboración Propia

De igual manera, acorde a lo mostrado en el **Gráfico 9**, para todas las divisas siempre el volumen de efectivo (en soles al cambio) de recaudo es mayor al enviado. Es así como, para la divisa de soles el 81% (7 951 millones) corresponde a recaudos y el 19% (1 861 millones) a envíos; para dólares el 62% (1 509 millones) corresponde a recaudos y el 38% (927 millones) a

envíos; y finalmente, para euros el 80% (76 millones) corresponde a recaudos y el 20% restante (19 millones) a envíos.



**Gráfico 10: Monto Remesado Anual Solarizado (Soles al cambio)**  
**Elaboración Propia**

Finalmente, acorde al **Gráfico 10**, se podría concluir que el parque de oficinas minoristas ubicadas en el área Metropolitana de Lima presenta, en líneas generales, un comportamiento más captador de efectivo, por lo que es necesario recaudar un mayor volumen de efectivo (en soles al cambio), 9 536 millones (77%), respecto al volumen de envíos de efectivo correspondiente a 2 807 millones (23%).



## Capítulo 4. Mapeo del Servicio

En el presente capítulo se realizará un mapeo del proceso de remesa de efectivo a fin de diagnosticar la situación actual en las sucursales de la entidad bancaria en estudio e identificar la potencial oportunidad de mejora. Se describirán la metodología del proceso actual de remesas de oficina, el proceso de modelado de dinámica de sistema, así como el costo total actual del proceso.

### 4.1. Descripción del proceso

A continuación, se presentará el flujograma del proceso de remesas actual tanto para los envíos a oficina como para los recaudos de efectivo de oficina, los cuales podrán ser apreciados en el **Gráfico 11** y **Gráfico 12**.

En dichos flujogramas se puede apreciar que para ambos procesos existen 3 actores los cuales son el Subgerente de cada oficina que requiere efectivo (envío o recaudo), el área de Cash Management de la entidad bancaria en estudio y la Empresa subcontratada para el transporte de efectivo.

#### 4.1.1. Envío de remesas

En este proceso, el Subgerente de oficina inicia verificando a juicio de experto si es que hubiese la cantidad necesaria de efectivo para atender las necesidades de los clientes que se apersonaran a la agencia.

Luego, y en caso el Subgerente considere que hay déficit de efectivo, procede a solicitar un envío de remesa a Cash Management.

Después, Cash Management se encarga de validar que haya el efectivo suficiente tanto en cantidad como en las denominaciones solicitadas para la divisa requerida. En caso de haber insuficiencia de efectivo, se solicita a la oficina un ajuste en su pedido, y en caso de haber insuficiencia en alguna denominación se procede a coordinar con la oficina, el ajuste para el envío de efectivo en otras denominaciones.

Una vez confirmada la remesa a ser enviada, con la oficina, se procede a remitir la instrucción a la Empresa de Transporte de Valores, quienes procederán a programar para el mismo día, solo en caso excepcionales, o para el día siguiente, en casos regulares.

Finalmente, el proceso culmina con la recepción del efectivo por el Subgerente de la oficina para la atención de los requerimientos de clientes.

#### **4.1.2. Recaudo de remesas**

En este proceso, el Subgerente de oficina inicia verificando a juicio de experto si es que hubiese la necesidad de recoger efectivo por tener un saldo en bóveda elevado.

Luego, y en caso el Subgerente considere que hay exceso de efectivo, procede a solicitar un recaudo de remesa a la Empresa Transportadora.

Una vez recibida la solicitud para recaudo de efectivo, la Empresa de Transporte de Valores procederá a programar el recojo para el mismo día, solo en caso excepcionales, o para el día siguiente, en casos regulares.

En paralelo, luego enviada la solicitud a la Empresa Transportadora de Valores, el Subgerente procederá a preparar el efectivo a ser recaudado.

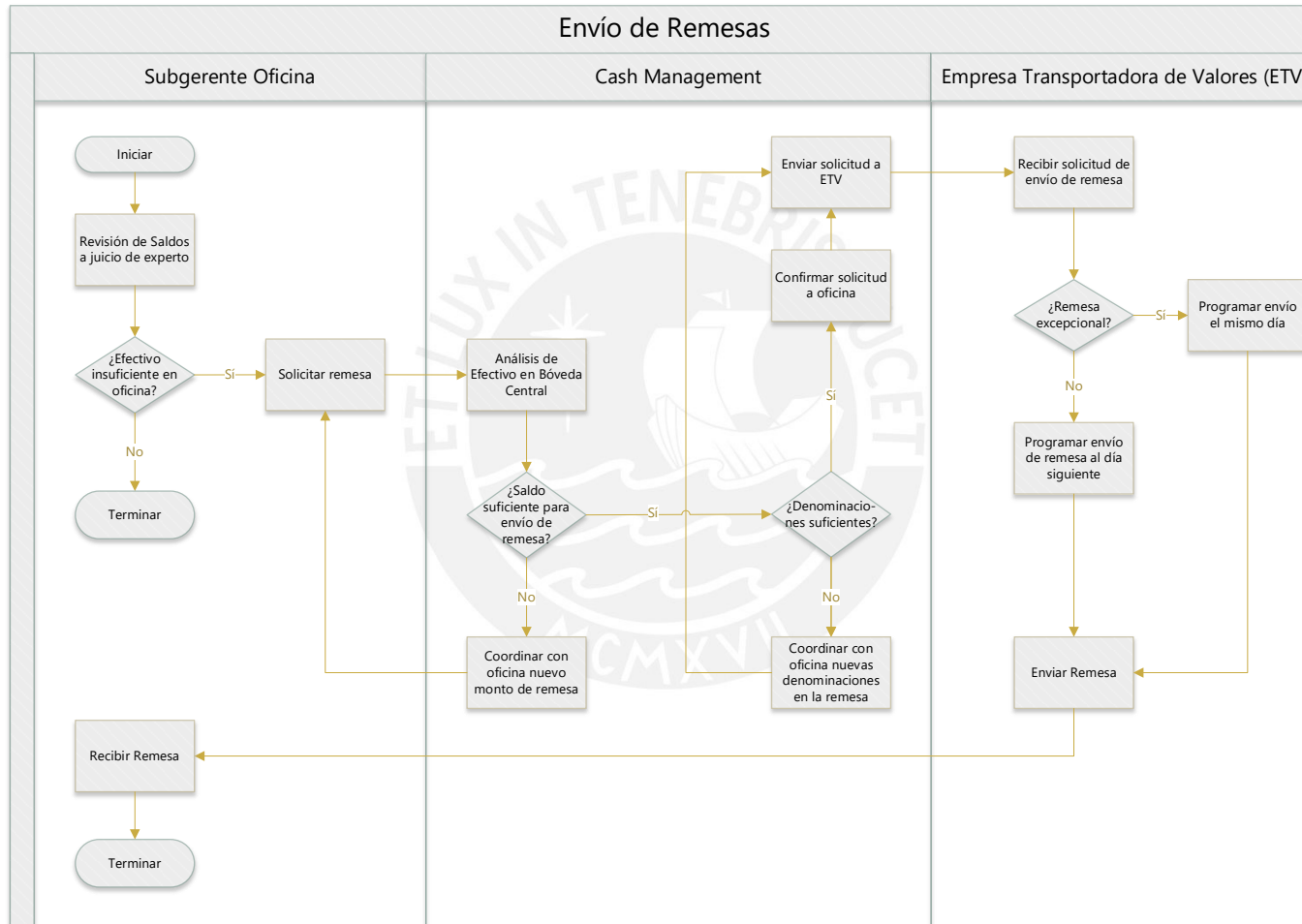
Finalmente, el proceso culmina con el recaudo de efectivo por parte de la Empresa Transportadora de Valores de la oficina y la confirmación respectiva a Cash Management (que es en la única fase en la que participa esta unidad). Cabe mencionar que, esto último representa una limitación ya que se pierde visibilidad respecto al efectivo que la oficina planifica enviar hacia la bóveda de la ETV.

### **4.2. Proceso de modelado de dinámica de sistemas**

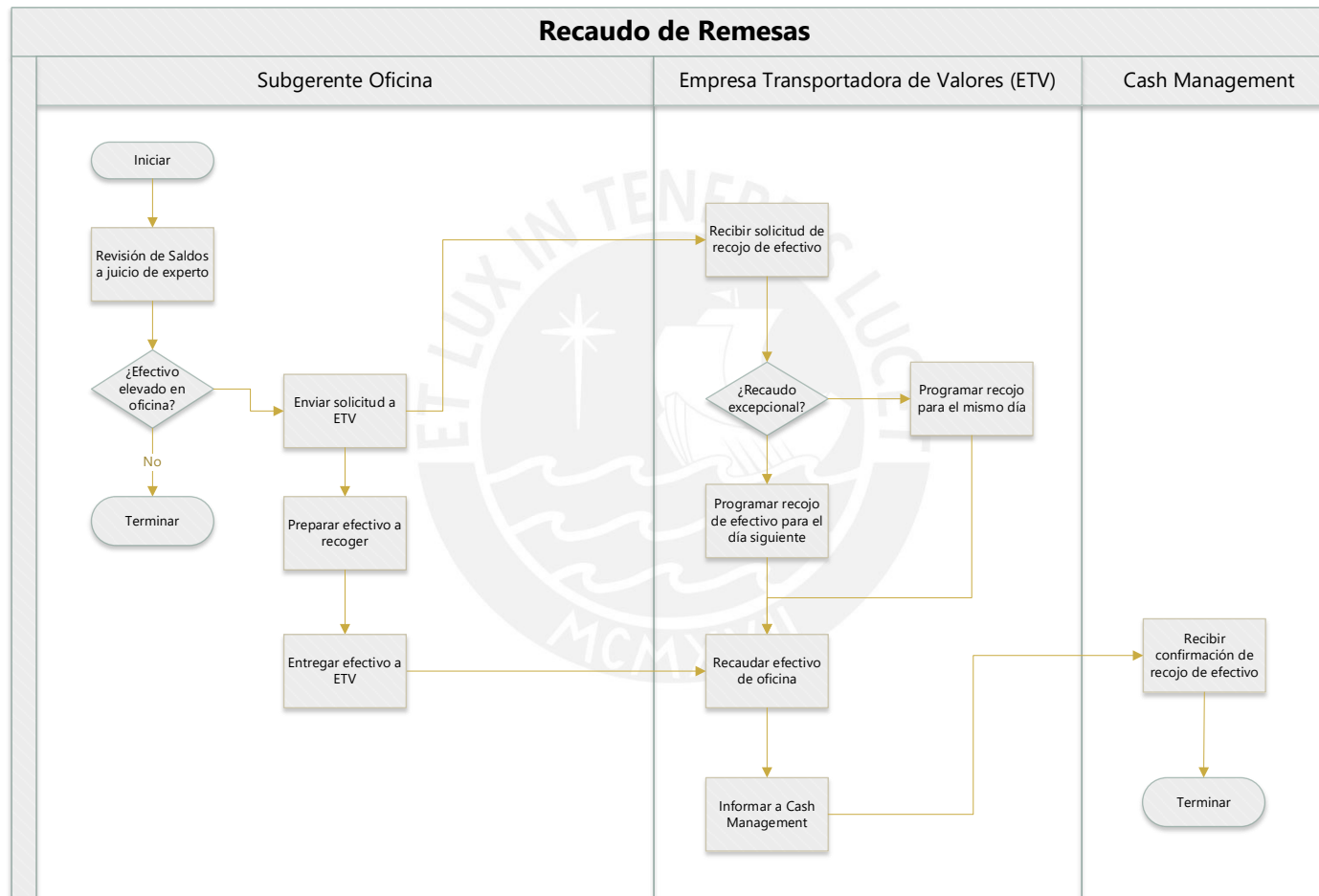
En el presente apartado, se hará hincapié en la realización de la dinámica de sistemas para el proceso de envío y recaudo de remesas, en la cual se analizarán los antecedentes, se presentará el problema actual analizado desde una óptica no lineal ni aislada. Finalmente, para presentar los diagramas de bucle causal, así como el de stock y flujo.

#### **4.2.1. Antecedentes**

- La predicción de los montos, divisas y denominaciones de efectivo requeridos se realiza a juicio de experto
- La solicitud de recaudo de efectivo la realiza directamente la agencia bancaria hacia la empresa de transporte de valores
- No existe un control de los requerimientos de efectivo solicitados por la agencia bancaria
- Existe inventario de efectivo que no es el óptimo (dinero inmovilizado)
- Existen elevados costos de transporte de efectivo (envíos y recaudos) incurrido



**Gráfico 11: Flujo de Envío de Remesas a Oficina**  
Elaboración Propia



**Gráfico 12: Flujoograma Recaudo de Remesas de Oficina**  
Elaboración Propia

#### **4.2.2. Articulación del problema**

Existen envíos y recaudos de efectivo solicitados por las sucursales de una entidad bancaria a nivel de Lima Metropolitana realizados a juicio de experto.

¿En cuánto impactará económicamente el hecho de no contar con un pronóstico preciso y robusto para los requerimientos de efectivo (depósitos y retiros de clientes) en oficinas bancarias al momento de solicitar el envío y recaudo de las remesas de efectivo?

#### **4.2.3. Formulación de la hipótesis dinámica**

Existen vínculos causales entre las solicitudes de remesa, inventario de efectivo, costos logísticos y disponibilidad de efectivo

#### **4.2.4. Diagrama de bucle causal**

Para el presente diagrama bucle causal las variables a considerar son el GAP de inventario de efectivo en la oficina (la diferencia entre el inventario deseado y el inventario actual).

Las variables a considerar son “GAP de inventario de efectivo”, “Envío de remesa”, “Recaudo de remesa de aptos”, “Recaudo de remesa de deteriorados”, “Costo logístico” y “Disponibilidad de efectivo”. De esta forma, en el **Gráfico 14** se puede apreciar el Diagrama de Bucle causal total del proceso de Remesas de Oficina donde interactúan las variables antes descritas.

Sin embargo, para precisar mayor detalle, se presentará el análisis específico por cada etapa del proceso global.

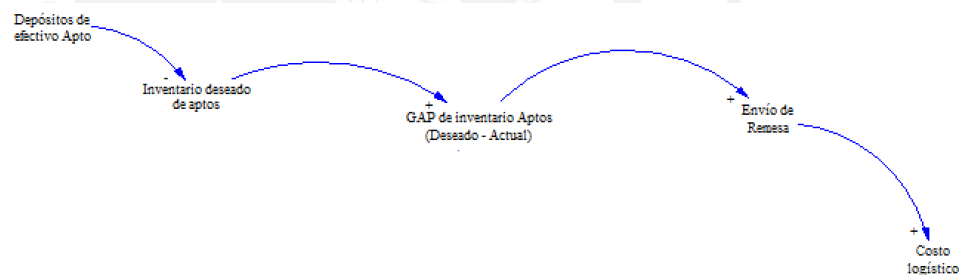
##### **4.2.4.1. Diagrama de bucle causal para Envío de remesas**

Como consideración inicial, cabe mencionar que, el envío de efectivo realizado por la Empresa Transportadora de Valores se realiza con dinero de calidad apta. Asimismo, los depósitos de efectivo que realizan los clientes pueden ser de efectivo apto o deteriorado, mientras que los retiros únicamente de efectivo apto, toda vez que los envíos de remesas para abastecer de efectivo a la oficina, son siempre con efectivo apto.

En ese sentido, cuando se mencione al GAP de inventario de efectivo, será referido al inventario deseado de efectivo apto menos el inventario actual de efectivo. Es así que, a priori para este proceso, se analizará esta

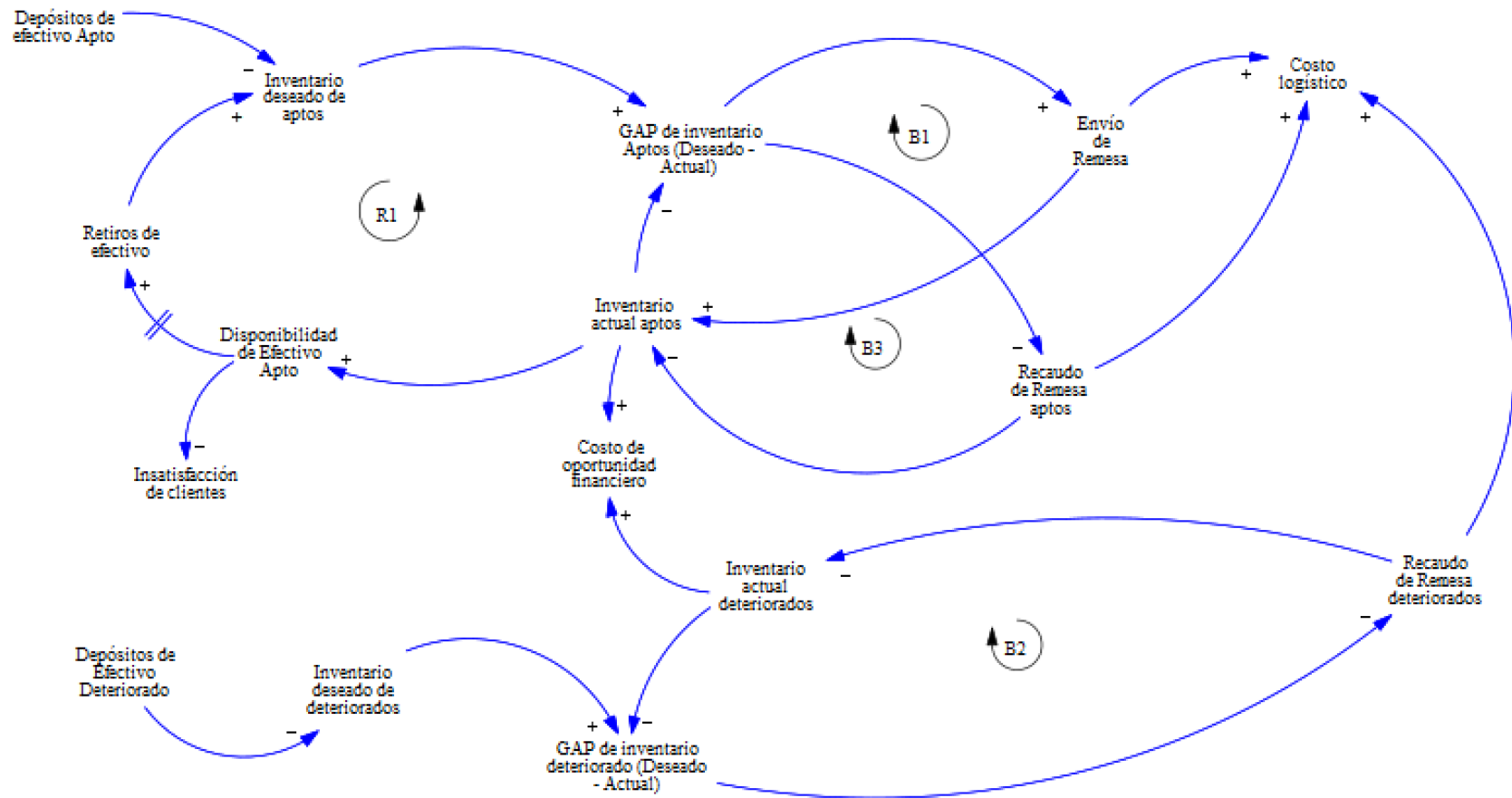
diferencia desde el punto de vista de la necesidad de tener suficiente efectivo para evitar el riesgo de *stockout*. Toda vez que, el escenario que podría suscitarse es uno en el que falte efectivo, y los clientes no puedan hacer los retiros que requerirían, mas no el escenario en el cual se bloquee a los clientes la posibilidad de depositar efectivo por mantener un elevado saldo en oficina.

En primer lugar, para el presente proceso, el **Gráfico 13** muestra el análisis del mismo que inicia a partir del depósito de efectivo apto en oficinas. En ese sentido, en caso aumenten los depósitos de efectivo (apto) de clientes, entonces, el inventario deseado de efectivo apto disminuirá (puesto que habrá cada vez más efectivo apto en inventario) generándose una polaridad negativa. Luego, el GAP de inventario también disminuirá (puesto que el inventario actual se asemejará al deseado), generándose una polaridad positiva. Ante ello, disminuye la necesidad de solicitar envío de remesa, lo que conlleva a una polaridad positiva. Finalmente, el costo logístico asociado a transporte de envío de remesas disminuye, generándose una polaridad positiva.

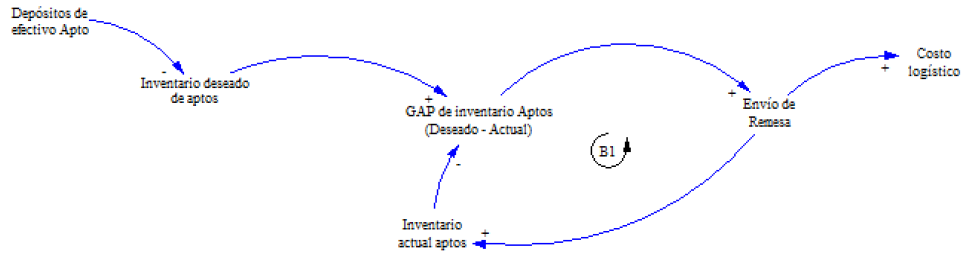


**Gráfico 13: Diagrama de Bucle causal a partir de depósitos de efectivo apto para Envío de Remesas de Oficina**  
Elaboración Propia

Por otro lado, el **Gráfico 15** muestra el efecto dinámico que tiene el hecho de que disminuyan las solicitudes de envío de remesas, lo cual origina que el inventario actual de aptos disminuya, lo que conlleva a una polaridad positiva. En consecuencia, de disminuir el efectivo actual apto, el GAP aumentará obteniéndose una polaridad negativa.

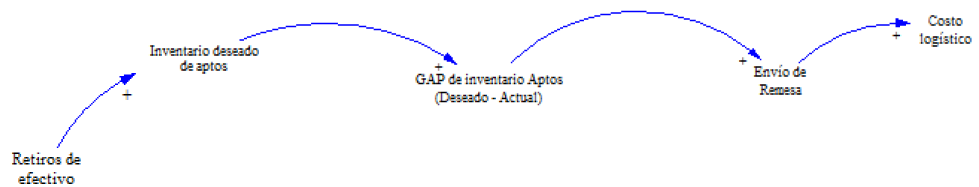


**Gráfico 14: Diagrama de Bucle causal para Remesas de Oficina**  
Elaboración Propia



**Gráfico 15: Bucle de retroalimentación negativa para Envío de Remesas de Oficina originado por depósitos de aptos**  
Elaboración Propia

De esta forma, se presenta un bucle de retroalimentación negativa o de balance. Lo cual se puede comprobar por la multiplicación de los signos  $(+) * (+) * (-)$  que dan un resultado negativo, lo que refuerza que es un bucle de balance. Donde el objetivo es llegar a un estado de equilibrio, a partir de la retroalimentación que dará la desviación del objetivo (GAP) al sistema.



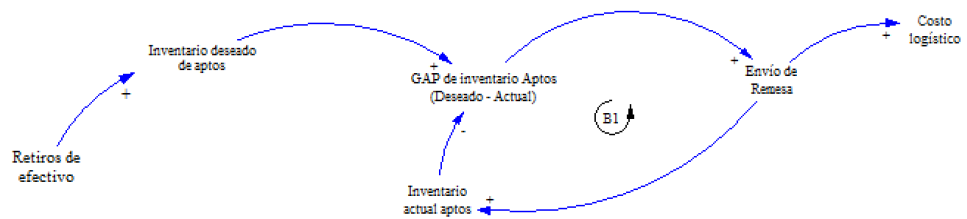
**Gráfico 16: Diagrama de Bucle causal a partir de retiros de efectivo apto para Envío de Remesas de Oficina**  
Elaboración Propia

En segundo lugar, para el presente proceso, el **Gráfico 16** muestra el análisis del mismo que inicia a partir del retiro de efectivo en oficinas. En ese sentido, en caso aumenten los retiros de efectivo (apto) de clientes, entonces, el inventario deseado de efectivo apto aumentará (puesto que habrá cada vez menos efectivo apto en inventario) generándose una polaridad positiva. Luego, el GAP de inventario también aumentará (puesto que el inventario deseado se alejará del actual), generándose una polaridad positiva. Ante ello, aumenta la necesidad de solicitar envío de remesa, lo que conlleva a una polaridad positiva. Finalmente, el costo logístico asociado a transporte de envío de remesas aumenta, generándose una polaridad positiva.

Por otro lado, el **Gráfico 17** muestra el efecto dinámico que tiene el hecho de que aumenten las solicitudes de envío de remesas, lo cual origina que el inventario actual de aptos aumente, lo que conlleva a una polaridad



positiva. En consecuencia, de incrementarse el efectivo actual apto, el GAP disminuirá obteniéndose una polaridad negativa.



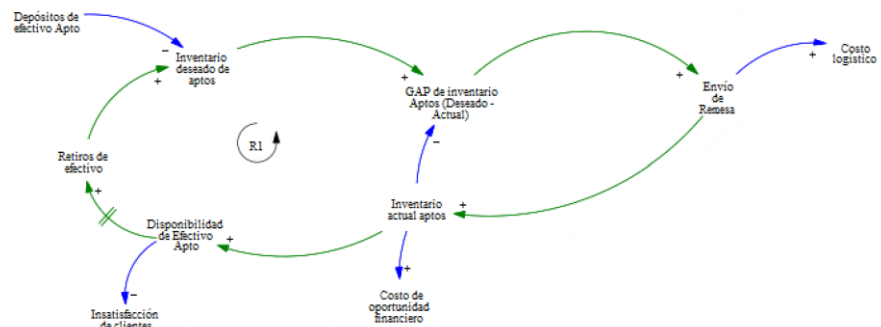
**Gráfico 17: Bucle de retroalimentación negativa para Envío de Remesas de Oficina originado por retiros de aptos  
Elaboración Propia**

De esta forma, se presenta un bucle de retroalimentación negativa o de balance. Lo cual se puede comprobar por la multiplicación de los signos (+) \* (+) \* (-) que dan un resultado negativo, lo que refuerza que es un bucle de balance. Donde el objetivo es llegar a un estado de equilibrio, a partir de la retroalimentación que dará la desviación del objetivo (GAP) al sistema.

En tercer lugar, existe un efecto causado en la disponibilidad de efectivo en la oficina. El cual se origina a partir de que, un incremento en los depósitos de efectivo apto (considerando el análisis antes desglosado) decantará en una disminución del inventario deseado de efectivo apto (puesto que habrá cada vez más efectivo apto en inventario). Lo cual conllevaría a una disminución de la necesidad de solicitar envío de remesa, y, en consecuencia, no solo a una disminución del costo logístico asociado sino también de la disponibilidad de efectivo (dado que estaríamos regulando el nivel de inventario apto actual). Por lo cual, se puede inferir que una disminución en el costo logístico por transporte de envío de remesas, conllevaría a una disminución en la disponibilidad de efectivo en oficina, generándose cada vez mayor insatisfacción en los clientes. Y, a su vez, se estaría disminuyendo el costo de oportunidad por inventario inmovilizado, ya que el inventario actual sería menor (y sería menor el costo de oportunidad por no rentabilizar dicho dinero almacenado en oficinas).

Asimismo, también existe un efecto con retardo que a largo plazo originaría la disminución de disponibilidad de efectivo, el cual sería una reducción en los retiros de clientes, puesto que estaría habiendo menos

efectivo disponible para ello. Lo cual, a su vez, incentivaría a desear mayor cantidad de inventario de efectivo apto deseado.



**Gráfico 18: Bucle de retroalimentación positiva para Envío de Remesas de Oficina considerando efectivo en disponibilidad**  
Elaboración Propia

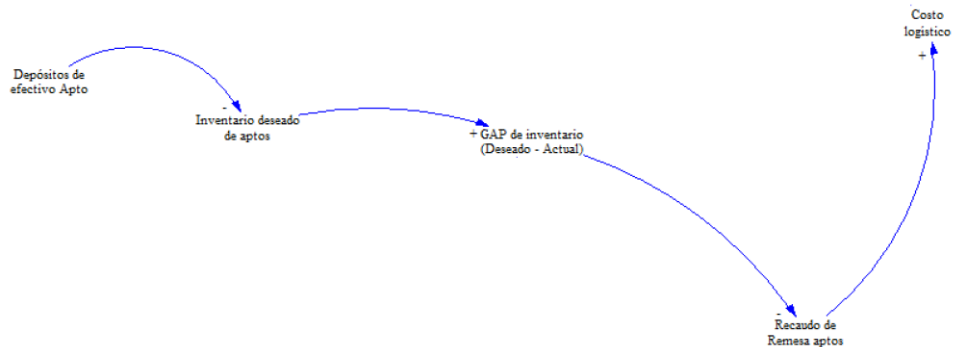
De esta forma, es que el **Gráfico 18** muestra cómo se estaría generando un bucle de retroalimentación positiva o de refuerzo (de color verde). Lo cual se puede comprobar por la multiplicación de los signos (+) \* (+) \* (+) \* (+) \* (+) \* (+) \* (+) que dan un resultado positivo. Donde, si se incrementa el estímulo al envío de efectivo, entonces el sistema responderá potenciando el crecimiento de mayores envíos de efectivo.

#### 4.2.4.2. Diagrama de bucle causal para Recaudo de remesas de aptos

Como consideración inicial, cabe mencionar que, el recaudo de efectivo realizado por la Empresa Transportadora de Valores puede ser tanto de efectivo apto como deteriorado. Asimismo, los depósitos de efectivo que realizan los clientes pueden ser de efectivo apto o deteriorado, mientras que los retiros únicamente de efectivo apto, toda vez que los envíos de remesas para abastecer de efectivo a la oficina, son siempre con efectivo apto.

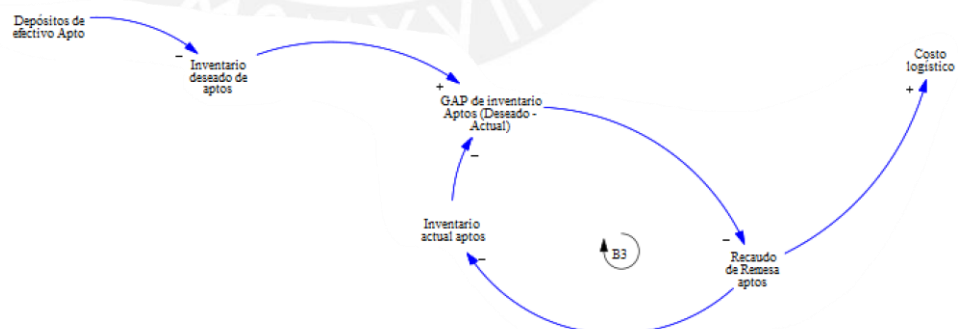
En ese sentido, cuando se mencione al GAP de inventario de efectivo, será referido al inventario deseado de efectivo apto menos el inventario actual de efectivo. Es así que, a priori para este proceso, se analizará esta diferencia desde el punto de vista de la necesidad de tener suficiente efectivo para evitar el riesgo de *stockout*. Toda vez que, el escenario que podría suscitarse es uno en el que falte efectivo, y los clientes no puedan hacer los retiros que requerirían, mas no el escenario en el cual se

bloquee a los clientes la posibilidad de depositar efectivo por mantener un elevado saldo en oficina.



**Gráfico 19: Diagrama de Bucle causal a partir de depósitos de efectivo apto para Recaudado de Remesas de Oficina**  
Elaboración Propia

En primer lugar, para el presente proceso, el **Gráfico 19** muestra el análisis del mismo que inicia a partir del depósito de efectivo apto en oficinas. En ese sentido, en caso aumenten los depósitos de efectivo (apto) de clientes, entonces, el inventario deseado de efectivo apto disminuirá (puesto que habrá cada vez más efectivo apto en inventario) generándose una polaridad negativa. Luego, el GAP de inventario también disminuirá (puesto que el inventario actual se asemejará al deseado), generándose una polaridad positiva. Ante ello, aumenta la necesidad de solicitar recaudo de remesa, lo que conlleva a una polaridad negativa. Finalmente, el costo logístico asociado a transporte de recaudo de remesas aumenta, generándose una polaridad positiva.



**Gráfico 20: Bucle de retroalimentación negativa para Recaudado de Remesas de Oficina originado por depósitos de aptos**  
Elaboración Propia

Por otro lado, el **Gráfico 20** muestra el efecto dinámico que tiene el hecho de que aumenten las solicitudes de recaudo de remesas, lo cual origina que el inventario actual de aptos disminuya, lo que conlleva a una

polaridad negativa. En consecuencia, de disminuir el efectivo actual apto, el GAP aumentará obteniéndose una polaridad negativa.

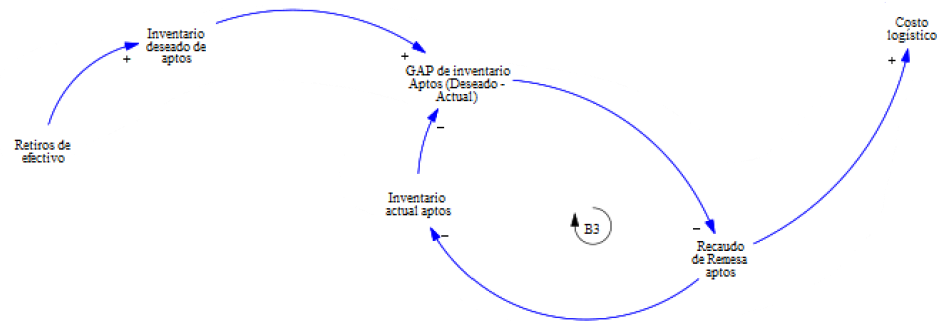
De esta forma, se presenta un bucle de retroalimentación negativa o de balance. Lo cual se puede comprobar por la multiplicación de los signos (-) \* (-) \* (-) que dan un resultado negativo, lo que refuerza que es un bucle de balance. Donde el objetivo es llegar a un estado de equilibrio, a partir de la retroalimentación que dará la desviación del objetivo (GAP) al sistema.



**Gráfico 21: Diagrama de Bucle causal a partir de retiros de efectivo apto para Recaudo de Remesas de Oficina**  
Elaboración Propia

En segundo lugar, para el presente proceso, el **Gráfico 21** muestra el análisis del mismo que inicia a partir del retiro de efectivo en oficinas. En ese sentido, en caso aumenten los retiros de efectivo (apto) de clientes, entonces, el inventario deseado de efectivo apto aumentará (puesto que habrá cada vez menos efectivo apto en inventario) generándose una polaridad positiva. Luego, el GAP de inventario también aumentará (puesto que el inventario deseado se alejará del actual), generándose una polaridad positiva. Ante ello, disminuye la necesidad de solicitar recaudo de remesa, lo que conlleva a una polaridad negativa. Finalmente, el costo logístico asociado a transporte de recaudo de remesas disminuye, generándose una polaridad positiva.

Por otro lado, el **Gráfico 22** muestra el efecto dinámico que tiene el hecho de que disminuyan las solicitudes de recaudo de remesas, lo cual origina que el inventario actual de aptos aumente, lo que conlleva a una polaridad negativa. En consecuencia, de incrementarse el efectivo actual apto, el GAP disminuirá obteniéndose una polaridad negativa.

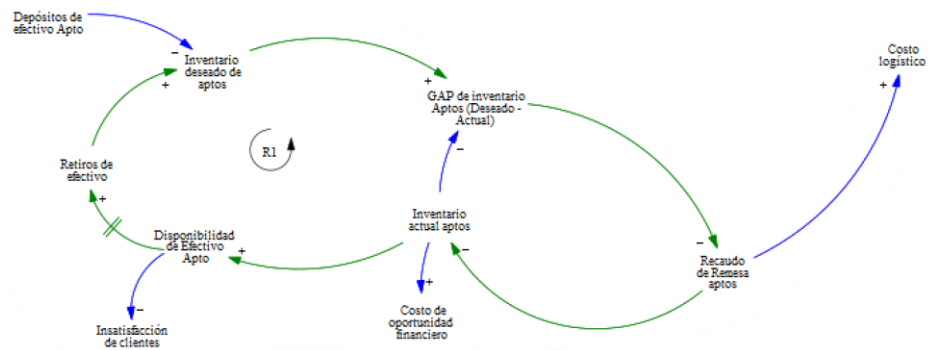


**Gráfico 22: Bucle de retroalimentación negativa para Recaudo de Remesas de Oficina originado por retiros de aptos**  
**Elaboración Propia**

De esta forma, se presenta un bucle de retroalimentación negativa o de balance. Lo cual se puede comprobar por la multiplicación de los signos (-) \* (-) \* (-) que dan un resultado negativo, lo que refuerza que es un bucle de balance. Donde el objetivo es llegar a un estado de equilibrio, a partir de la retroalimentación que dará la desviación del objetivo (GAP) al sistema.

En tercer lugar, existe un efecto causado en la disponibilidad de efectivo en la oficina. El cual se origina a partir de que, un incremento en los depósitos de efectivo apto (considerando el análisis antes desglosado) decantará en una disminución del inventario deseado de efectivo apto (puesto que habrá cada vez más efectivo apto en inventario). Lo cual conllevaría a un aumento de la necesidad de solicitar recaudo de remesa, y, en consecuencia, a un aumento del costo logístico asociado y una disminución de la disponibilidad de efectivo (dado que estaríamos regulando el nivel de inventario apto actual). Por lo cual, se puede inferir que un aumento en el costo logístico por transporte de recaudo de remesas, conllevaría a una disminución en la disponibilidad de efectivo en oficina, generándose cada vez mayor insatisfacción en los clientes. Y, a su vez, se estaría disminuyendo el costo de oportunidad por inventario inmovilizado, ya que el inventario actual sería menor (y sería menor el costo de oportunidad por no rentabilizar dicho dinero almacenado en oficinas).

Asimismo, también existe un efecto con retardo que a largo plazo originaría la disminución de disponibilidad de efectivo, el cual sería una reducción en los retiros de clientes, puesto que estaría habiendo menos efectivo disponible para ello. Lo cual, a su vez, incentivaría a una menor cantidad de inventario de efectivo apto deseado.



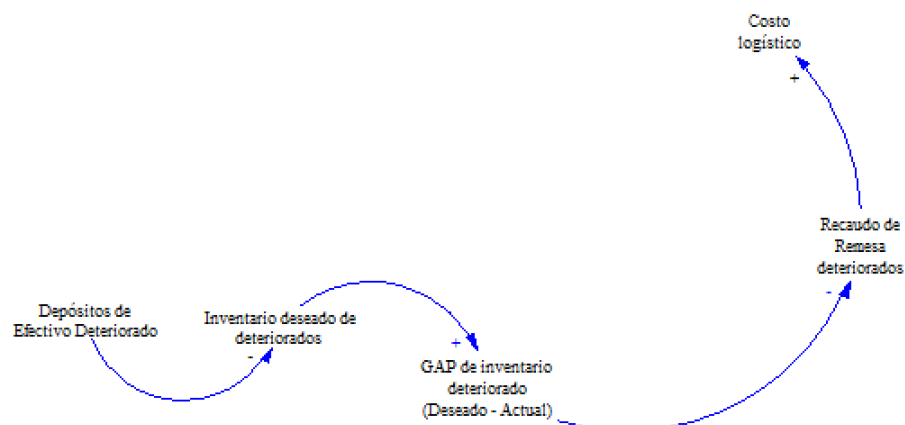
**Gráfico 23: Bucle de retroalimentación positiva para Recaudo de Remesas de Oficina considerando efectivo en disponibilidad**  
**Elaboración Propia**

De esta forma, es que el **Gráfico 23** muestra cómo se estaría generando un bucle de retroalimentación positivo (de color verde). Lo cual se puede comprobar por la multiplicación de los signos (+) \* (-) \* (-) \* (+) \* (+) \* (+) que dan un resultado positivo, lo que indica que es un bucle de refuerzo. Donde, si se incrementa el estímulo al recaudo de efectivo, entonces el sistema responderá potenciando el crecimiento de mayores recaudos de efectivo.

#### 4.2.4.3. Diagrama de bucle causal para Recaudo de remesas de deteriorados

Como consideración inicial, cabe mencionar que, el recaudo de efectivo realizado por la Empresa Transportadora de Valores puede ser tanto de efectivo apto como deteriorado. Asimismo, los depósitos de efectivo que realizan los clientes pueden ser de efectivo apto o deteriorado, mientras que los retiros únicamente de efectivo apto, toda vez que los envíos de remesas para abastecer de efectivo a la oficina, son siempre con efectivo apto.

En ese sentido, cuando se mencione al GAP de inventario de efectivo, será referido al inventario deseado de efectivo apto menos el inventario actual de efectivo. Es así que, a priori para este proceso, se analizará esta diferencia desde el punto de vista de la necesidad de tener al mínimo la cantidad de efectivo deteriorado.



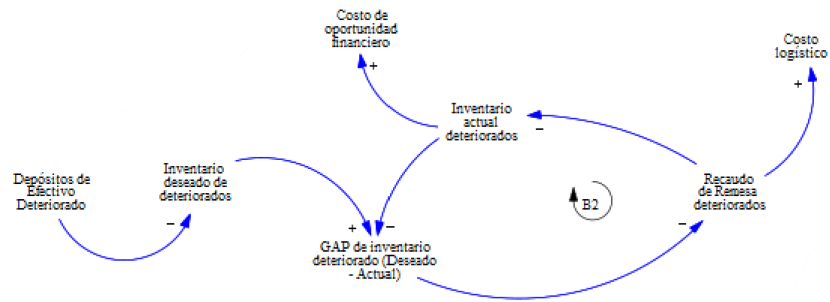
**Gráfico 24: Diagrama de Bucle causal a partir de depósitos de efectivo deteriorado para Recaudos de Remesas de Oficina**  
Elaboración Propia

En primer lugar, para el presente proceso, el **Gráfico 24** muestra el análisis del mismo que inicia a partir del depósito de efectivo deteriorado en oficinas. En ese sentido, en caso aumenten los depósitos de efectivo (deteriorado) de clientes, entonces, el inventario deseado de efectivo deteriorado disminuirá (puesto que habrá cada vez más efectivo deteriorado en inventario) generándose una polaridad negativa. Luego, el GAP de inventario también disminuirá (puesto que el inventario actual se asemejará al deseado), generándose una polaridad positiva. Ante ello, aumenta la necesidad de solicitar recaudo de remesa, lo que conlleva a una polaridad negativa. Finalmente, el costo logístico asociado a transporte de recaudo de remesas aumenta, generándose una polaridad positiva.

Por otro lado, el **Gráfico 25** muestra el efecto dinámico que genera el aumento de las solicitudes de recaudo de remesas, lo cual origina que el inventario actual de deteriorados disminuya, lo que conlleva a una polaridad negativa. En consecuencia, al disminuir el efectivo actual deteriorados, el GAP aumentará obteniéndose una polaridad negativa.

De esta forma, se presenta un bucle de retroalimentación negativa o de balance. Lo cual se puede comprobar por la multiplicación de los signos (-) \* (-) \* (-) que dan un resultado negativo, lo que refuerza que es un bucle de balance. Donde el objetivo es llegar a un estado de equilibrio, a partir de la retroalimentación que dará la desviación del objetivo (GAP) al sistema.





**Gráfico 25: Bucle de retroalimentación negativa para Recauo de Remesas de Oficina originado por depósitos de deteriorados**  
**Elaboración Propia**

Finalmente, cabe mencionar, que un efecto adicional sería la disminución del costo de oportunidad por inventario inmovilizado, ya que el inventario actual de deteriorados se reduciría (y sería menor el costo de oportunidad por no rentabilizar dicho dinero almacenado en oficinas).

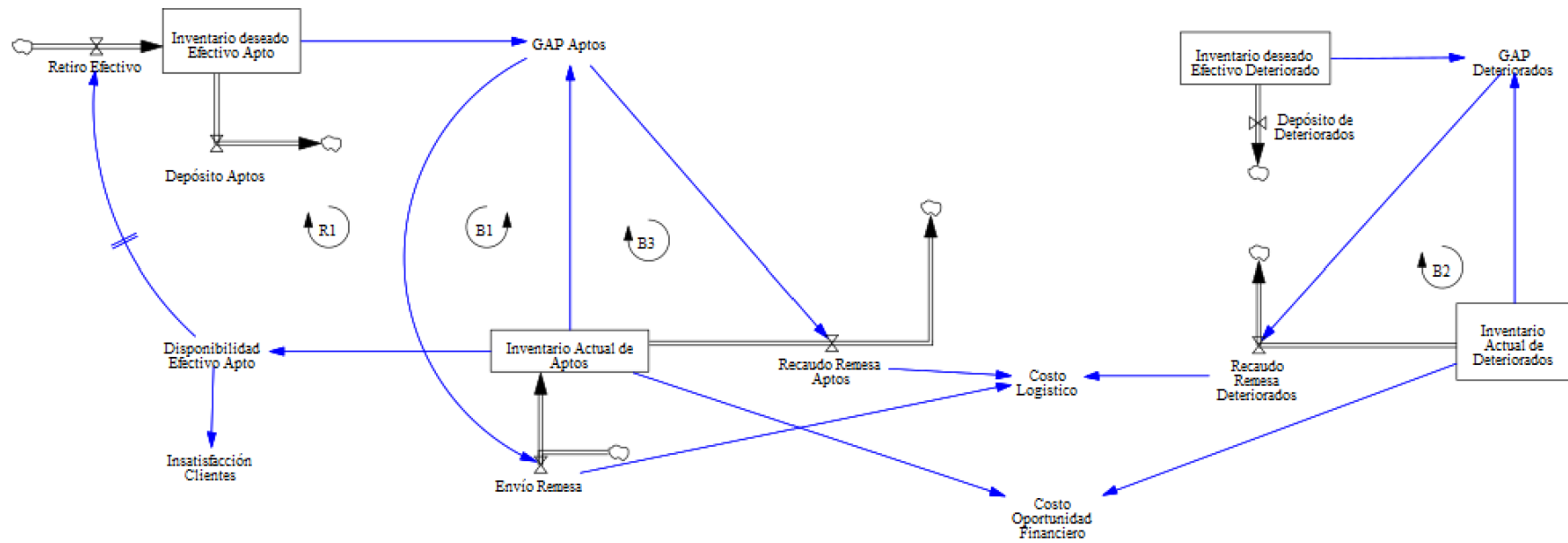
#### 4.2.5. Diagrama de stock y flujo

Para el presente diagrama de stock y flujo, que se muestra en el **Gráfico 26**, se considera como niveles de stock a aquellos estados del sistema en un específico momento del tiempo. Por lo cual, los inventarios actuales y esperados de efectivo apto y deteriorado serían aquellos que encajarían en esta categoría. Asimismo, mientras el stock de efectivo apto tendrá influencia sobre la disponibilidad de efectivo (y, por ende, satisfacción de clientes), ambos niveles de stock (apto y deteriorado) tendrán influencia sobre el costo de oportunidad por tener efectivo almacenado sin rentabilizar.

Por otro lado, los flujos o válvulas estarán definidos por aquellas flechas que ingresen a los niveles de stock, tales como los envíos de remesa y los recaudos tanto de efectivo apto como deteriorado, ya que serán estos los que determinarán el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo, así como los costos logísticos asociados.

Asimismo, otros flujos a considerar son el depósito (de aptos y deteriorados) y el retiro de efectivo, puesto que afectarán el nivel deseado de efectivo que se requiera tener en las oficinas, el cual es input para la regulación (mediante el GAP) de los envíos y recaudos de remesa necesarios.





**Gráfico 26: Diagrama de Stock y Flujo en Oficinas**  
 Elaboración Propia

Ante ello, para precisar mayor detalle, se presentará a continuación el análisis específico por cada etapa del proceso global.

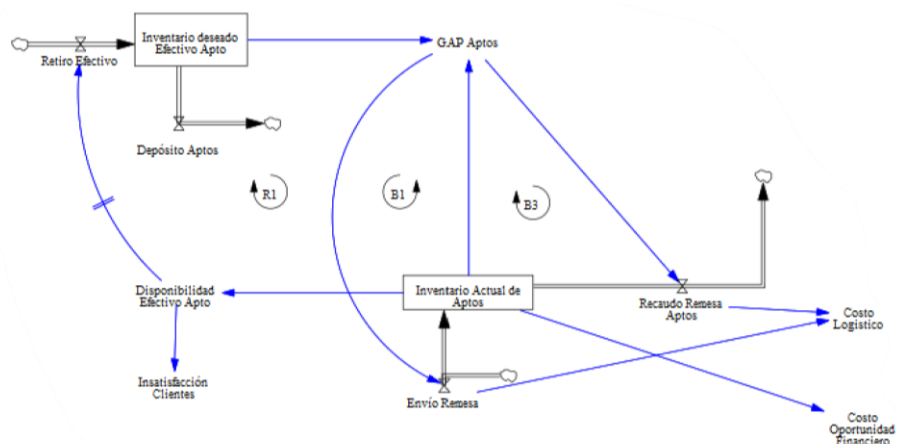
#### 4.2.5.1. Diagrama de stock y flujo de efectivo apto en oficinas

En diagrama mostrado en el **Gráfico 27**, se tiene que “Inventario Deseado de Efectivo Apto” e “Inventario Actual de Aptos” son stocks o niveles, acorde a lo antes descrito de los envíos y recaudos de remesa necesarios, así como de los retiros y depósitos de efectivo apto.

Por lo tanto, “Depósito Aptos” y “Retiro de Efectivo” son flujos ya que ambos inciden en el stock de “Inventario Deseado de Efectivo Apto”. Donde el primero es un flujo de salida, puesto que tiene polaridad negativa, y el segundo es un flujo de entrada, puesto que tiene polaridad positiva, conforme al Diagrama de Bucle casual.

Luego, “Envío de Remesa” y “Recaudo de Remesa Aptos” son flujos ya que ambos inciden en el stock. Donde el primero es un flujo de entrada, puesto que tiene polaridad positiva, y el segundo es un flujo de salida, puesto que tiene polaridad negativa, conforme al Diagrama de Bucle casual.

Asimismo, en términos de las unidades métricas, como el “Inventario Actual de Aptos” e “Inventario deseado de Efectivo Apto” se mide en unidades monetarias (soles, dólares o euros), mientras que, “Envío de Remesa”, “Recaudo de Remesa Aptos”, “Retiro de Efectivo” y “Deposito de Aptos” se miden unidades monetarias/tiempo.



**Gráfico 27: Diagrama de Stock y Flujo de efectivo apto en Oficinas**  
Elaboración Propia

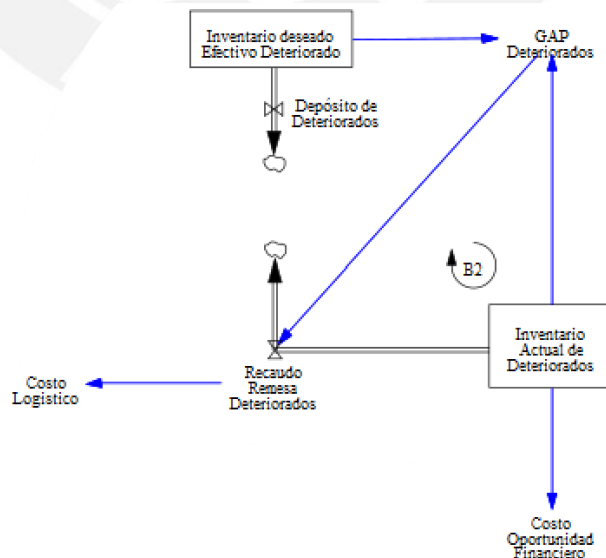
En ese sentido, se presentan los 2 bucles de retroalimentación y 1 de refuerzo, antes mostrados en el diagrama de bucle causal. Luego, en B1 y B3, el GAP de Aptos regulará los recaudos y envíos de remesa conforme a la necesidad deseada de efectivo apto, y de esta forma, se afectará el costo logístico involucrado, así como el costo de oportunidad, por efecto del inventario actúa que se mantendría.

Finalmente, en B2, por defecto del nivel de inventario actual de aptos obtenido, se afectará la disponibilidad de efectivo apto, y, en consecuencia, la insatisfacción de los clientes, así como, a largo plazo, el flujo de retiro de efectivo.

#### 4.2.5.2. Diagrama de stock y flujo de efectivo deteriorado en oficinas

En diagrama mostrado en el **Gráfico 28**, se tiene que “Inventario Deseado de Efectivo Deteriorado” e “Inventario Actual de Deteriorados” son stocks o niveles, acorde a lo antes descrito de los recaudos de deteriorados necesarios, así como de depósitos de efectivo deteriorado.

Por lo tanto, “Depósito de Deteriorados” es un flujo ya que incide en el stock de “Inventario Deseado de Efectivo Deteriorado”, siendo un flujo de salida, puesto que tiene polaridad negativa, conforme al Diagrama de Bucle casual.



**Gráfico 28: Diagrama de Stock y Flujo de efectivo deteriorado en Oficinas**  
Elaboración Propia

Luego, “Recaudo de Deteriorados” es un flujo ya que, también, incide en el stock”, siendo un flujo de salida, puesto que tiene polaridad negativa, conforme al Diagrama de Bucle casual.

Asimismo, en términos de las unidades métricas, como el “Inventario Actual de Deteriorados” e “Inventario deseado de Efectivo Deteriorado” se mide en unidades monetarias (soles, dólares o euros), mientras que, “Recaudo de Remesa Deteriorados” y “Deposito de Deteriorados” se mide en unidades monetarias/tiempo.

En ese sentido, se presenta el bucle de retroalimentación, antes mostrado en el diagrama de bucle causal. Luego, en B2, el GAP de Deteriorados regulará los recaudos de remesa conforme a la necesidad deseada de efectivo deteriorado, y de esta forma, se afectará el costo logístico involucrado, así como el costo de oportunidad, por efecto del inventario actual que se mantendría.

### **4.3. Costo actual del proceso**

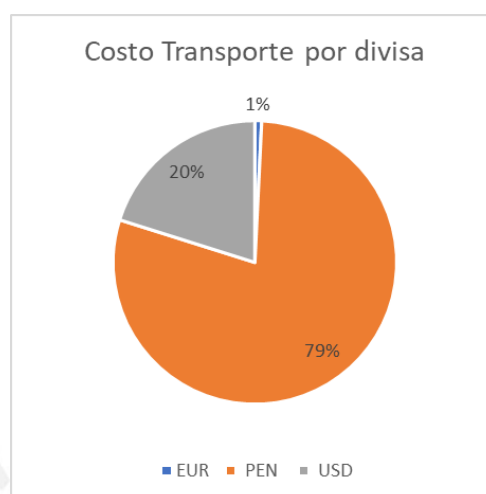
En el presente apartado, se detallarán los costos logísticos asociados con el proceso actual de envío y recaudo de remesas, los cuales involucran los costos de transporte, materiales, procesamiento, custodia y costo de oportunidad financiero para las oficinas minoristas ubicadas en Lima Metropolitana. Asimismo, cabe mencionar que, solo será motivo de análisis el efectivo apto, puesto que el efectivo deteriorado solo tiene flujo de ingreso en las oficinas, por lo cual su transporte (más temprano o más tarde) es inminente y no es relevante en la propuesta de optimización de costos. De igual forma, considerando que en Lima Metropolitana el efectivo deteriorado proveniente de oficinas es trasladado al Banco Central de forma diaria para ser triturado (a fin de que no salga a circulante), es que este efectivo prácticamente no genera costo de Custodia ni de oportunidad financiero.

#### **4.3.1. Costo de transporte**

El costo de transporte se obtiene a partir de la multiplicación entre el volumen de efectivo trasladado (por cada mil soles convertidos al tipo de cambio) por la respectiva tarifa tanto para la ETV1 y la ETV2.

En ese sentido, acorde al **Gráfico 29**, el gasto anual de transporte de las oficinas minoristas de Lima Metropolitana en la divisa de soles representa el

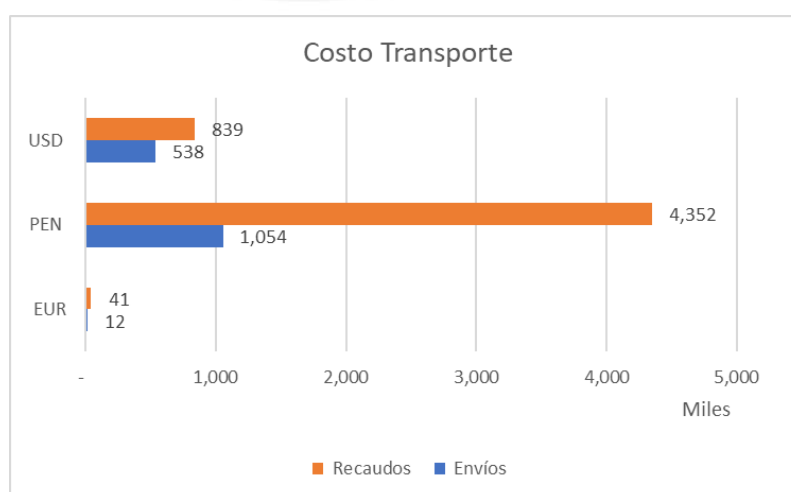
79% (5 406 660 soles), el correspondiente a la divisa de dólares representa el 20% (1 376 888 soles), y, finalmente, el correspondiente a euros corresponde al 1% (53 054 soles).



**Gráfico 29: Costo de Transporte por divisa**  
Elaboración Propia

Asimismo, acorde al **Gráfico 30**, para todas las divisas siempre el costo de transporte de efectivo (en soles) de recaudo es mayor al enviado. Es así que, para la divisa de soles el 80% (4 352 340 soles) corresponde a recaudos y el 20% (1 054 320 soles) a envíos; para dólares el 61% (839 174 soles) corresponde a recaudos y el 39% (537 714 soles) a envíos; y finalmente, para el 78% (41 249 soles) corresponde a recaudos y el 22% restante (11 805 soles) a envíos.

Finalmente, se concluye que del presente costo resulta relevante analizar la divisa de soles (79%) para las oficinas minoristas de Lima Metropolitana.



**Gráfico 30: Costo de Transporte por tipo de remesa**  
Elaboración Propia

### 4.3.2. Costo de materiales

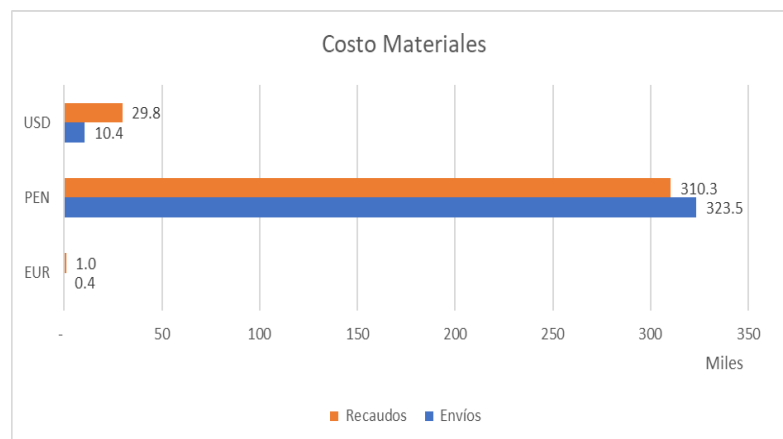
El presente costo anual se obtiene a partir de la multiplicación entre el volumen de cada uno los materiales utilizados para el transporte de efectivo (fajas de billetes, bolsas de billetes, precintos de bolsas de billetes, cajas/bolsas monedas, manipuleo de cajas de monedas y remitos de las remesas) por la respectiva tarifa tanto para la ETV1 y la ETV2. Cabe mencionar que, el volumen de materiales a utilizar es proporcional al volumen de efectivo trasladado.



**Gráfico 31: Costo de Materiales por divisa**  
Elaboración Propia

En ese sentido, acorde al **Gráfico 31**, el gasto anual de materiales de las oficinas minoristas de Lima Metropolitana en la divisa de soles representa el 93.8% (633 826 soles), el correspondiente a la divisa de dólares representa el 6.0% (40 287 soles), y, finalmente, el correspondiente a euros corresponde al 0.2% (1 399 soles).

Asimismo, acorde al **Gráfico 32**, para todas las divisas, excepto en soles, siempre el costo de materiales de efectivo (en soles) de recaudo es mayor al enviado. Es así que, para la divisa de soles el 51% (323 486 soles) corresponde a recaudos y el 49% (310 340 soles) a envíos; para la divisa dólares el 74% (29 844 soles) corresponde a recaudos y el 26% (10 443 soles) a envíos; y finalmente, para euros el 71% (990 soles) corresponde a recaudos y el 29% restante (409 soles) a envíos.



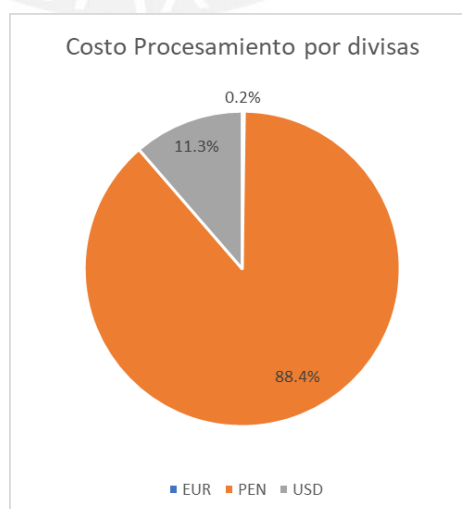
**Gráfico 32: Costo de Materiales por tipo de remesa**  
Elaboración Propia

Finalmente, se concluye que resulta relevante analizar los costos de materiales asociados a la divisa de soles (93.8%) para las oficinas minoristas de Lima Metropolitana.

#### 4.3.3. Costo de procesamiento

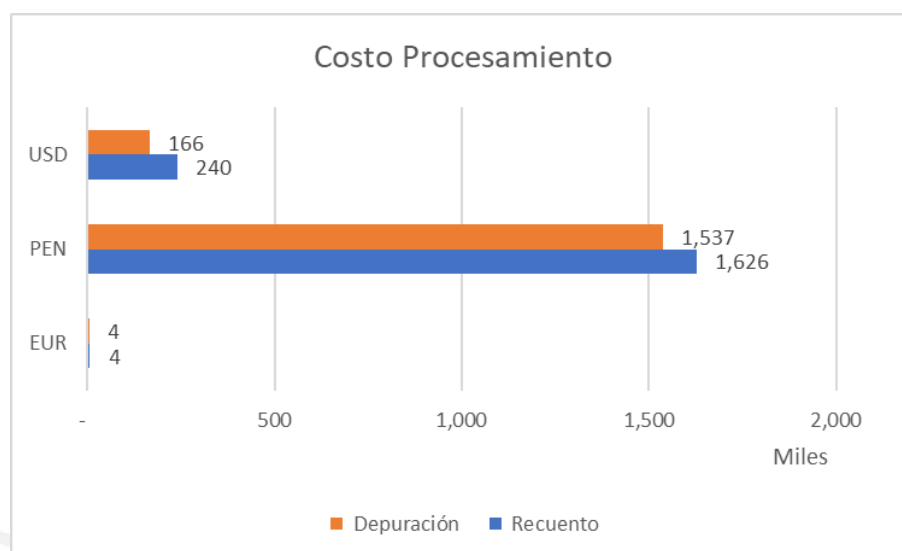
El presente costo anual se obtiene a partir de la multiplicación del volumen de cada mil billetes y piezas de monedas recaudados desde las oficinas, que son recontados y depurados en la bóveda central, por la respectiva tarifa tanto para la ETV1 y la ETV2.

En ese sentido, acorde al **Gráfico 33**, el gasto anual en procesamiento de efectivo de las oficinas minoristas de Lima Metropolitana en la divisa de soles representa el 88.4% (3 163 666 soles), el correspondiente a la divisa de dólares representa el 11.3% (405 673 soles), y, finalmente, el correspondiente a euros corresponde al 0.2% (7 936 soles).



**Gráfico 33: Costo de Procesamiento por divisa**  
Elaboración Propia

Asimismo, acorde al **Gráfico 34**, para la divisa de soles el 51% (1 626 404 soles) corresponde a recuento y el 49% (1 537 262 soles) a depuración; para la divisa dólares el 59% (239 924 soles) corresponde a recuento y el 41% (165 749 soles) a depuración; y finalmente, para euros el 55% (4 376 soles) corresponde a recuento y el 45% restante (3 560 soles) a depuración.



**Gráfico 34: Costo de Materiales por tipo de remesa  
Elaboración Propia**

Finalmente, se concluye que del presente costo resulta relevante analizar la divisa de soles (88.4%) para las oficinas minoristas de Lima Metropolitana.

#### 4.3.4. Costo de custodia

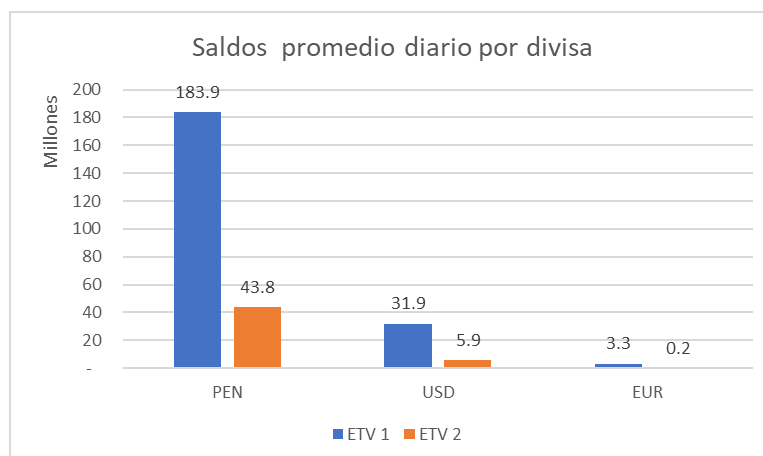
El presente costo anual se obtiene a partir de la multiplicación del volumen de cada cien mil soles en billetes y/o monedas que forman parte del saldo total al cierre de todos los días en la bóveda central, por la respectiva tarifa tanto para la ETV1 y la ETV2.

En consecuencia, para la estimación de dicho costo se debe considerar el monto neto que permanece en la bóveda de forma diaria (diferencia entre recaudos menos envíos), el cual permanecerá almacenado en las bóvedas centrales de cada ETV, por los días de inventario que demore en rotar el efectivo. Cabe mencionar que, en los casos donde los envíos sean mayores a los recaudos habrá un ahorro, en vez de un costo, ya que habrá una reducción en la contribución a la custodia en las bóvedas de las ETV.

Por lo tanto, conforme al **Gráfico 35**, para la ETV1 el saldo promedio diario es 183 906 776 soles, 31 935 563 dólares y 3 268 903 euros; mientras que,

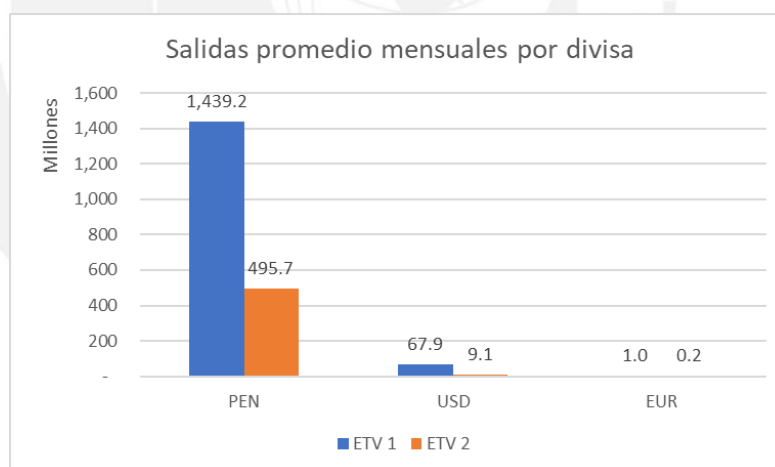


para la ETV2 el saldo promedio diario es 43 802 551 soles, 5 868 719 dólares y 207 876 euros.



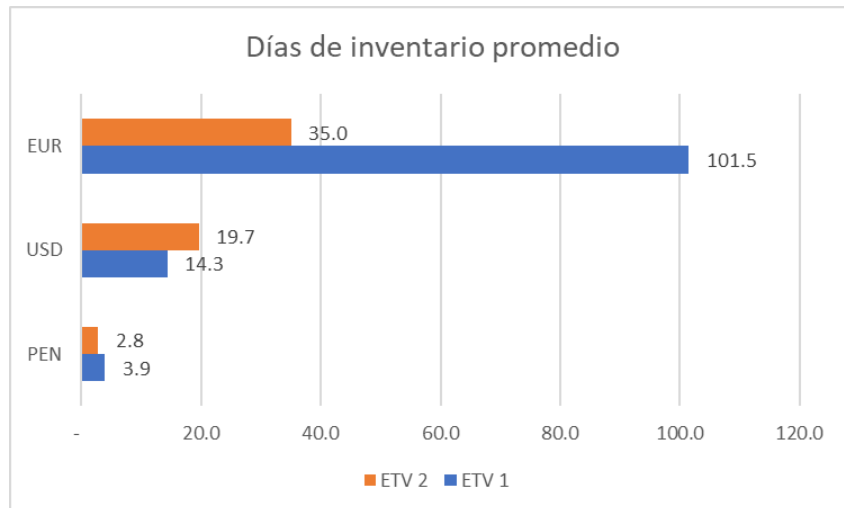
**Gráfico 35: Saldos promedio diario por divisa**  
Elaboración Propia

Por otro lado, acorde al **Gráfico 36**, para la ETV1 las salidas promedio mensuales son de 1 439 237 410 soles, 67 938 936 dólares y 973 247 euros; mientras que, para la ETV2 las salidas promedio mensuales son 495 717 011 soles, 9 131 651 dólares y 217 094 euros.



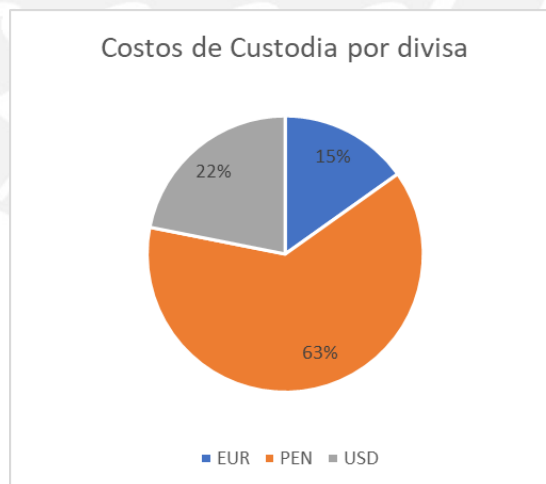
**Gráfico 36: Salidas promedio mensuales por divisa**  
Elaboración Propia

Por ende, conforme a los datos antes mostrados, se obtendrán los días de inventario promedio por divisa que permanece almacenado el efectivo en cada una de las bóvedas centrales por cada ETV, a partir de la siguiente fórmula  $días\ de\ inventario = \frac{Saldo\ promedio\ diario}{Salidas\ promedio\ mensuales / días\ del\ mes}$ . Es así que, según el **Gráfico 37**, para la ETV1 se tiene en soles 3.9 días, en dólares 14.3 días y en euros 101.5 días; mientras que, para la ETV2 se tiene en soles 2.8 días, en dólares 19.7 días y en euros 35 días.



**Gráfico 37: Días de inventario promedio por divisa en bóveda central**  
Elaboración Propia

Por consiguiente, acorde al **Gráfico 38**, y considerando los inputs anteriores, la contribución del gasto anual por custodia de efectivo de las oficinas minoristas de Lima Metropolitana en la divisa de soles representa el 63% (322 136 soles), el correspondiente a la divisa de dólares representa el 22% (111 993 soles), y, finalmente, el correspondiente a euros corresponde al 15% (77 573 soles). Finalmente, se concluye que del presente costo resulta relevante analizar la divisa de soles (63%) para las oficinas minoristas de Lima Metropolitana.



**Gráfico 38: Costo de Custodia por tipo de remesa**  
Elaboración Propia

No obstante, cabe mencionar que, la bóveda central almacena todo el efectivo necesario para la atención de todos los requerimientos de la entidad financiera en análisis; es decir, no solo para envíos y recaudos de remesas de oficina, sino también para abastecimiento de ATM y comercios. De igual

forma, existen traslados de efectivo entre bóvedas de diferentes departamentos de la misma sucursal bancaria, movimientos de efectivo con otras entidades bancarias, así como depósitos y retiros de efectivo con el Banco Central.

Ante ello, el análisis del costo de custodia deberá realizarse de forma total y considerando la superposición de todos los flujos de ingresos y salida de efectivo de la bóveda. De modo que, a fin de conocer el efecto que tendría la propuesta de mejora del presente trabajo de investigación, se deberá analizar la diferencia entre la contribución actual y la contribución que tendría el proceso de remesado al costo total de custodia, luego de implementada la mejora.

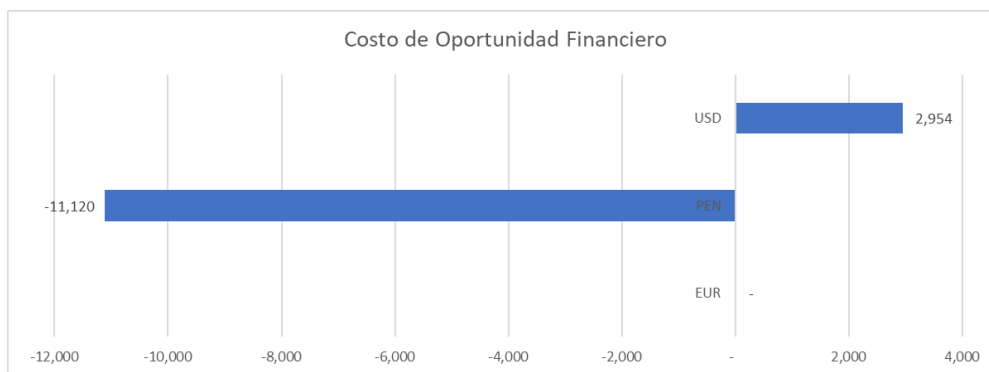
#### **4.3.5. Costo de oportunidad financiero**

El presente costo anual se obtiene a partir de la multiplicación del volumen de efectivo, que permanece sin rotar en oficinas y en las bóvedas centrales de cada ETV, por la tasa de interés interbancario (2.5% anual en soles y 0.08% anual en dólares), que representa el costo de la mejor alternativa que se podría emplear para rentabilizar el efectivo inmovilizado. Cabe mencionar que, la entidad financiera en análisis únicamente rentabiliza financieramente las divisas en soles y dólares, por lo que no existe el costo de oportunidad financiero por efectivo en euros inmovilizado.

Por ello, para calcular el efectivo que permanece sin rotar en las bóvedas centrales de cada ETV se deberá obtener el efectivo neto (recaudos-envíos) que ingresa a las bóvedas y considerando los días que dicho efectivo permanece inmovilizado, mostrado en el **Gráfico 37**, se deberá calcular el costo de oportunidad multiplicando dichos flujos de efectivo por las respectivas tasas de interés interbancario. Cabe mencionar que, en los casos donde los envíos sean mayores a los recaudos habrá un ahorro, en vez de un costo, ya que habrá una reducción del inventario de efectivo inmovilizado.

Por otro lado, para calcular el efectivo que permanece sin rotar en las oficinas se deberá obtener el efectivo neto (envíos-recaudos) que ingresa a las oficinas y, considerando los días que dicho efectivo permanece inmovilizado en cada oficina, se deberá calcular el costo de oportunidad multiplicando dichos flujos de efectivo por las respectivas tasas de interés interbancario.

Por consiguiente, acorde al **Gráfico 39**, y considerando los inputs anteriores, la contribución al costo de oportunidad financiero por inventario inmovilizado de las oficinas minoristas de Lima Metropolitana en la divisa de dólares equivale a 2 954 soles, mientras que, por el lado de la divisa de soles, existe un ahorro financiero de 11 120 soles. Asimismo, la divisa de euros no genera ningún costo ni ahorro financiero, por los motivos antes explicados.

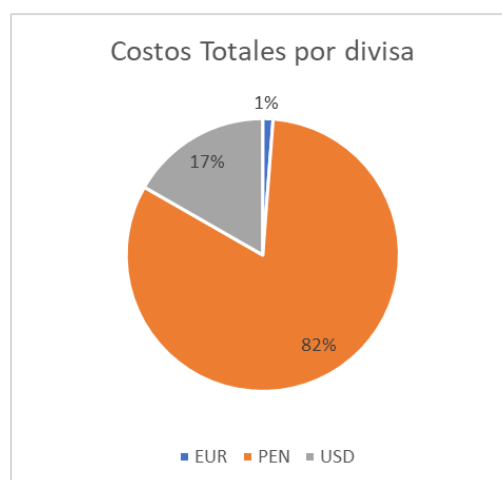


**Gráfico 39: Costo de Oportunidad Financiero**  
Elaboración Propia

Finalmente, al igual que para el costo de custodia, a fin de conocer el efecto que tendría la propuesta de mejora del presente trabajo de investigación, será necesario analizar la diferencia entre la contribución actual y la contribución que tendría el proceso de remesado al costo total de oportunidad financiero, luego de implementada la mejora.

#### 4.3.6. Costo total

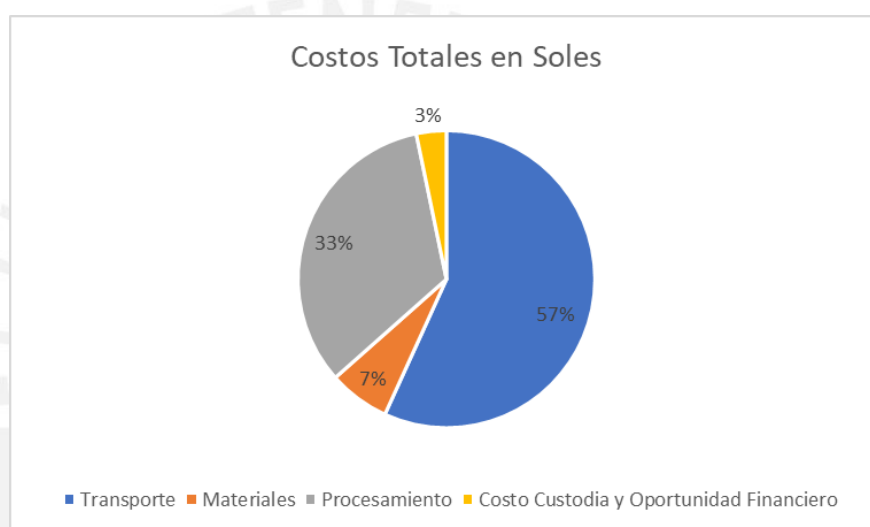
El total costo anual se obtiene a partir de la suma de todos los costos antes descritos para el parque de oficinas minoristas ubicadas en el área Metropolitana de Lima.



**Gráfico 40: Costo Total por tipo de remesa**  
Elaboración Propia

En ese sentido, acorde al **Gráfico 40**, el gasto total anual de efectivo de las oficinas minoristas de Lima Metropolitana en la divisa de soles representa el 82% (9 517 689 soles), el correspondiente a la divisa de dólares representa el 17% (1 938 196 soles), y, finalmente, el correspondiente a euros corresponde al 1% (139 963 soles).

Finalmente, se concluye que resulta relevante analizar los costos asociados a la divisa de soles (82%) para las oficinas minoristas de Lima Metropolitana. Asimismo, a partir de la proporción porcentual de los costos parciales en la divisa de soles, acorde al **Gráfico 41**, se aprecia que el 90% de dichos costos se concentran en el transporte y procesamiento.



**Gráfico 41: Costo Total por tipo de remesa**  
Elaboración Propia

#### 4.4. Pareto de Costos logísticos

A partir del análisis de aquellas oficinas que generen mayor costo logístico de efectivo apto en la divisa de soles, es que se pretende focalizar los esfuerzos de cara a la implementación de la propuesta de mejora materia del presente trabajo de investigación.

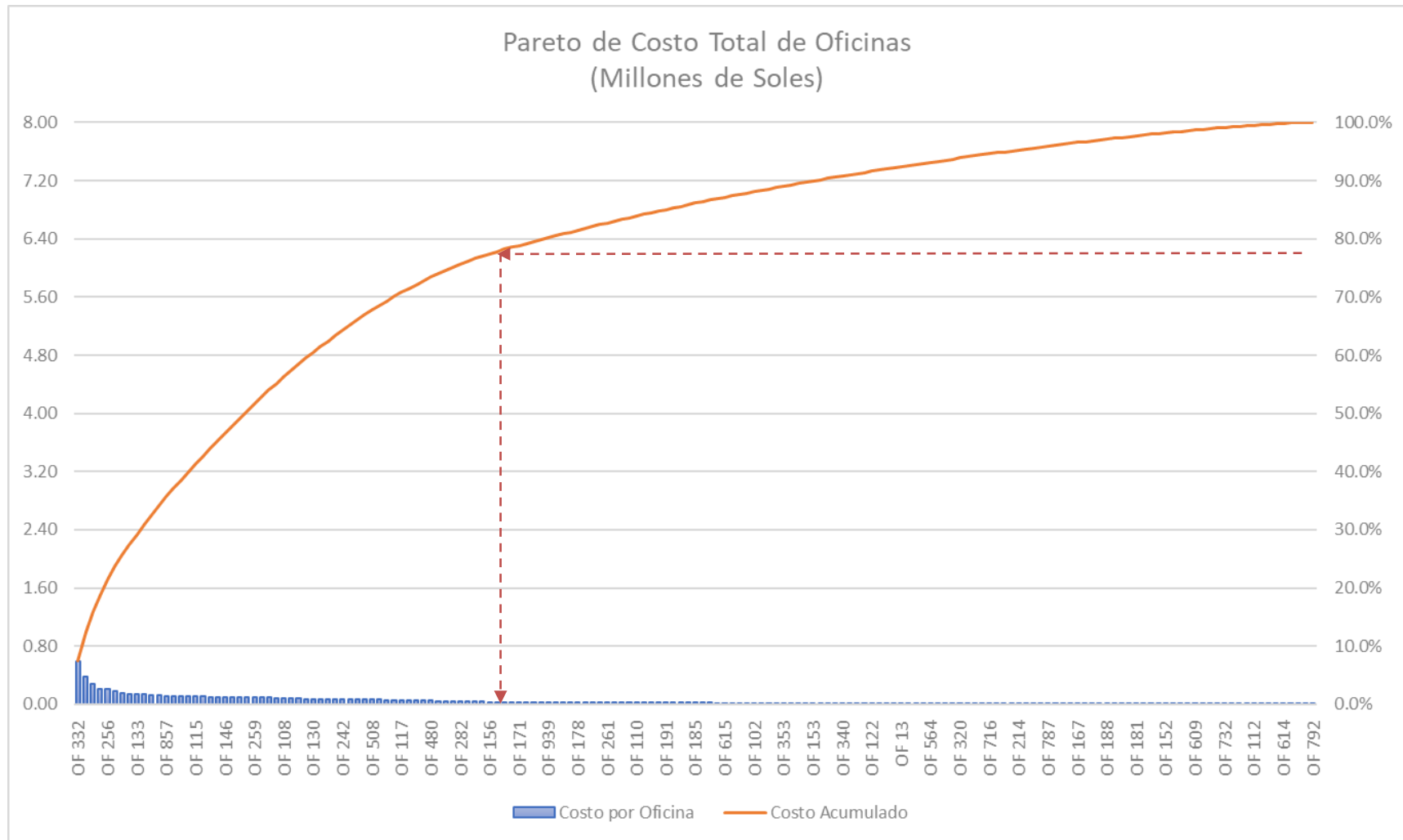
Asimismo, cabe mencionar que, el efecto del costo de custodia y el costo de oportunidad financiero, ha originado que algunas oficinas generen ahorros en lugar de gasto para la entidad financiera. En ese sentido, es importante considerar, primero, al universo de oficinas que genera gasto, puesto que, a priori, son las oficinas en las que hay margen de mejora. Y, posteriormente, se deberá analizar el porcentaje de estas oficinas que representan los pocos

vitales, que generarán los mayores beneficios económicos resultantes para la entidad financiera.

Es así como, para el análisis de Pareto de costos logísticos totales se han considerado a las oficinas (169) que actualmente generan costos (7 820 329 soles). Por lo tanto, conforme al **Gráfico 42**, el 77% de los costos logísticos totales en la divisa de soles, que representa un gasto total de 6 055 802 soles, corresponde al 34% de las oficinas (57) minoristas de Lima Metropolitana.

Finalmente, se concluye que, para la presente propuesta de mejora, se deberán concentrar los esfuerzos en optimizar los costos logísticos del grupo de 57 oficinas antes mencionado, a fin de tener el mayor impacto.





**Gráfico 42: Pareto de Costo Total de Oficinas**  
Elaboración Propia

## **Capítulo 5. Entendimiento del Negocio y de los datos**

En el presente capítulo se desarrollarán las 2 primeras fases del modelo CRISP-DM, tales como Entendimiento del Negocio y Entendimiento de los datos.

### **5.1. Entendimiento del Negocio**

A continuación, se presentará la comprensión del negocio en base a las necesidades existentes, a partir del diagnóstico antes realizado en el Capítulo 3. En ese sentido, las actividades principales de esta etapa son las siguientes:

#### **5.1.1. Identificación del problema**

Conforme a la dinámica de sistemas antes presentada, el problema que acontece en el presente proceso es que existen envíos y recaudos de efectivo apto solicitados por las sucursales de una entidad bancaria a nivel de Lima Metropolitana realizados a juicio de experto. Lo cual a largo plazo puede actuar en detrimento de la optimización de costos logísticos asociados.

#### **5.1.2. Objetivo del Negocio**

El objetivo del negocio es optimizar los costos logísticos en las remesas de efectivo de las sucursales de una entidad bancaria mediante la aplicación de herramientas de analítica, sin disminuir el nivel de servicio al cliente al proporcionar la cantidad adecuada de efectivo en la ubicación y tiempo correctos.

#### **5.1.3. Evaluación del contexto**

En esta etapa procederá a especificar el estado actual antes de implementar la solución de minería de datos propuesta, conforme a los siguientes pasos.

##### **5.1.3.1. Inventario de recursos**

La entidad bancaria cuenta como principal recurso de explotación a las fuentes de datos de transaccionalidad de efectivo en ventanilla, envíos y recaudos de remesa, así como de saldos en la bóveda de cada oficina.

##### **5.1.3.2. Restricciones y consideraciones**

Actualmente, la gestión de remesas de efectivo (envíos y recaudos) es parte de las funciones del Subgerente de cada sucursal bancaria. En ese



sentido, al no contar con una herramienta de analítica que brinde input en base a datos para la toma de decisiones, es que ellos incurren en la aplicación del juicio de experto.

Asimismo, cabe mencionar que, existen actualmente dos empresas transportadoras de valores que atienden a un parque determinado de oficinas, y ofrecen tarifas fijas no negociables para la prestación del servicio de transporte de efectivo. Lo cual representa una gran limitante de libre mercado.

De igual manera, existen arcos horarios definidos a nivel contractual, que obligan a solicitar los requerimientos de envío o recaudo de efectivo, así como la atención de estos, en momentos del día específicos.

Finalmente, considerando que el grupo de oficinas a analizar no cuenta con ATM's autoabastecidos (sino solo ATM's abastecidos por las empresas de transporte de valores), solo se considerará los ingresos y salidas de efectivo por ventanilla para el análisis de demanda de efectivo.

#### **5.1.3.3. Costos actuales**

Actualmente, el gasto en el cual incurre la entidad bancaria por el grupo de oficinas a nivel de Lima Metropolitana motivo de análisis del presente trabajo de investigación, por concepto de transporte de remesas, materiales, procesamiento, custodia y costo de oportunidad financiero por la divisa de soles, asciende a la suma de 9 694 090 soles anuales. Cabe mencionar que, este gasto responde a la gestión que actualmente se lleva a cabo en base al juicio de experto de cada Subgerente de Oficina.

## **5.2. Entendimiento de los Datos**

A continuación, se presentarán las etapas para entender los datos con los que se cuenta, así como para comprender su suficiencia para el desarrollo del trabajo de investigación en materia de analítica.

### **5.2.1. Recolección de los Datos**

Los datos obtenidos fueron recopilados de las bases y registros con los que cuenta la entidad bancaria materia de análisis, tal como se aprecia en la **Tabla 2.**

Asimismo, como principal consideración se tiene que durante la madrugada no existen envíos ni recaudos de remesa, por lo cual el saldo al cierre del

horario de atención será el mismo que al inicio del horario de apertura de la oficina.

Por otro lado, la data con la que cuenta la entidad bancaria en análisis se basa en los registros contables que realiza cada una de las agencias, los cuales reflejan todos y cada uno de los movimientos de efectivo que se realizan tanto de depósito y retiro en ventanilla. Asimismo, el registro de envíos y recaudos de remesa es llevado a cabo por las empresas de transporte de valores, quienes utilizan esta información para, finalmente, reportar los costos asociados en el reporte de facturación mensual respectivo.

**Tabla 2: Inventario de Fuentes de Datos**

Nombre de la fuente	Tipo de fuente	Dueño	Responsable de Mantenimiento	Almacenamiento físico
Reporte transacciones de Efectivo en Ventanilla	Interna	Cash Management	Systems	Servidor interno
Saldo de efectivo en oficina	Interna	Cash Management	Systems	Servidor interno
Reporte de Remesas a oficinas	Externa	ETV1	ETV1	Servidor externo
Reporte de Remesas a oficinas	Externa	ETV2	ETV2	Servidor externo

**Elaboración Propia**

### 5.2.2. Descripción de los Datos

Los datos obtenidos en las fuentes antes mencionadas, han sido consolidados en una única base de datos, y responden a las siguientes variables: Código de Oficina, Fecha, Monto de efectivo depositado y Monto de efectivo retirado. Estos datos describen la información necesaria para comprender el comportamiento de la demanda de efectivo en cada Oficina.

Por otro lado, las variables de Saldo de Oficina, Monto de efectivo enviado por la ETV y Monto de efectivo recaudado por la ETV, describen la decisión actual que han venido tomando los Subgerentes de oficina para abastecerse de efectivo, y poder atender la demanda que los clientes soliciten transaccionalmente. Cabe mencionar que, estas variables conllevan a un costo para la entidad financiera, los cuales fueron evaluados en el capítulo anterior.

Finalmente, existen otras variables tales como Id, Trimestre, Mes, Semana del Mes, Día de Semana, Nombre del día de Semana, Feriado, Nombre de Oficina, Territorio de Oficina, Distrito de Oficina, Latitud y Longitud.

### **5.2.3. Exploración de los Datos**

En la presente sección se procederá a caracterizar el conjunto de datos realizando diferentes tipos de análisis desde la identificación del tipo de atributo hasta la determinación de la relación entre ellos.

#### **5.2.3.1. Identificación de tipo de atributo**

Para el presente estudio se cuenta con una base de datos de 20 atributos cuyas características de tipo de atributo se muestran en la **Tabla 3**. En general se tiene atributos de tipo numérico, factor, fecha y entero.

#### **5.2.3.2. Análisis univariado**

Conforme a la **Tabla 4** respecto al análisis de los atributos numéricos existe mayor concentración de valores a la derecha de la media que a su izquierda, dado que el coeficiente de asimetría (sesgo) es positivo, excepto en los atributos de límites. En particular las variables de depósitos y retiros en ventanilla presentan los coeficientes de asimetría mayores respecto a las demás variables.

Asimismo, respecto al análisis de curtosis se muestran más valores extremos que una distribución normal, toda vez que en todos los casos se tiene valores positivos (asimetría a la derecha). Asimismo, como se aprecia en el **Gráfico 43**, **Gráfico 44**, **Gráfico 46** y **Gráfico 47**, las variables de depósitos, retiros en ventanilla, envíos y saldos presentan los valores de curtosis más elevados ( $>3$ ), por lo cual existe una gran concentración de los valores en torno a su media.

Por otro lado, las variables de envíos y recaudos son las que presentan mayor coeficiente de variación, por lo que cuentan con valores muy dispersos respecto de sus medias. Esto se da debido a que actualmente los subgerentes tienen criterios diversos de forma empírica respecto a la gestión de pedidos de envíos y recaudos de efectivo.

**Tabla 3: Tipo de Atributos**

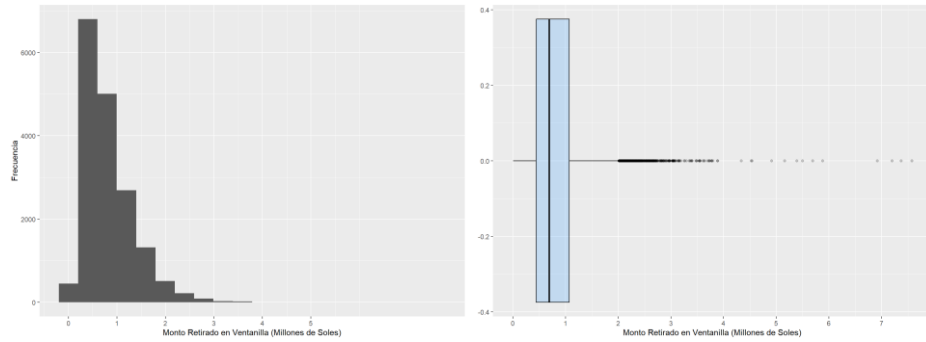
Atributo	Tipo de dato Almacenamiento	Nulos	Distintos	Media	Desviación Estandar	Moda	Min	Max	Valores
Id	"factor" c/ 20850 niveles	0	20805	-	-	-	-	-	"1","2","3","4",..
CodOfi	"factor" c/ 57 niveles	0	57	-	-	-	-	-	"48","101","103",..
Fecha	"Date"	0	365	2/07/2021	105	-	1/01/2021	31/12/2021	"2021-01-01" "2021-01-02" "2021-01-03" ...
Trimestre	"factor" c/ 4 niveles	0	4	-	-	3	-	-	"1","2","3","4"
Mes	"factor" c/ 12 niveles	0	12	-	-	1	-	-	"1","2","3","4",..
SemanaMes	"factor" c/ 6 niveles	0	6	-	-	2	-	-	"1","2","3","4",..
DiaSem	"factor" c/ 7 niveles	0	7	-	-	2	-	-	"1","2","3","4",..
NombreDiaSem	"factor" c/ 7 niveles	0	7	-	-	martes	-	-	"domingo","jueves",..
Feriado	"factor" c/ 2 niveles	0	2	-	-	0	-	-	"0","1"
SaldoInicialPEN	"integer"	0	17083	1456903	738722	749522	14119	8061262	1491869 1491869 1374860 1094023 ...
SaldoFinalPEN	"integer"	0	17139	1457535	739462	749522	14119	8061262	1491869 1374860 1094023 1258743 ...
DepVentanillaPEN	"integer"	3648	17055	1101705	731642	-	2217	8145953	NA 743996 541913 1419268
RetVentanillaPEN	"integer"	3648	17058	815863	529873	-	678	7575384	NA 861006 822750 328407
EnviosPEN	"integer"	20347	353	288350	344781	-	1200	3000000	NA 1200 NA NA NA NA ...
RecaudosPEN	"integer"	16312	3691	1112067	804461	-	440	6036200	NA NA NA 926141 NA NA NA NA NA 342140 ...
LimiteInferiorPEN	"integer"	0	42	293737	81973	280000	132000	525000	280000 280000 280000 ...
LimiteSuperiorPEN	"integer"	0	43	3722982	1010872	3500000	1770000	6570000	3500000 3500000 3500000 ...
Nombre	"factor" c/ 57 niveles	0	57	-	-	Of. Mega Express Villa El Salvador	-	-	Of. Angamos Este,...
Territorio	"factor" c/ 9 niveles	0	9	-	-	Lima Centro	-	-	Callao San Miguel,...
Distrito	"factor" c/ 24 niveles	0	24	-	-	La Victoria	-	-	Ate,"Brena",..
Latitud	"numeric"	0	57	-12.06	0.08	-	-12.24	-11.87	12.2 -12.2 -12.2 ...
Longitud	"numeric"	0	57	-77.02	0.06	-	-77.13	-76.82	-76.9 -76.9 -76.9 ...

**Elaboración Propia**

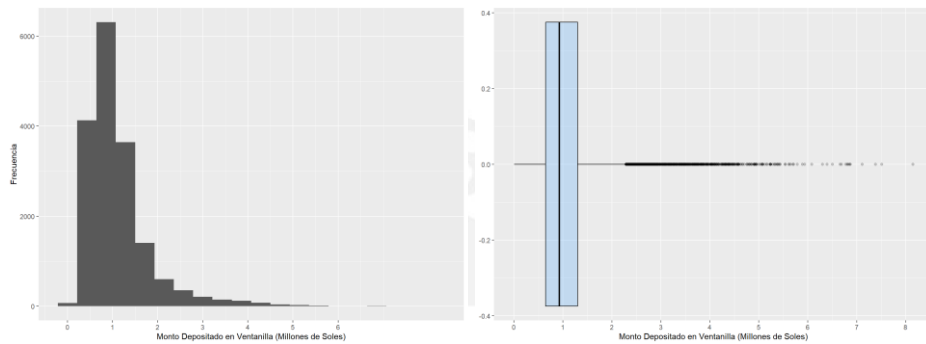
**Tabla 4: Estadísticos Básicos Atributos numéricos**

Atributo	Media	DesvEst	IQR	CV	Sesgo	Curtosis	IQ	IIQ	IIIQ	Cantidad	Nulos
SaldoinicialPEN	1456903	738722	834813	51%	1.64	5.78	956875	1340043	1791688	20805	0
SaldoFinalPEN	1457535	739462	834933	51%	1.64	5.81	956965	1340239	1791898	20805	0
DepVentanillaPEN	1101705	731642	656023	66%	2.54	9.91	648144	927181	1304167	17157	3648
RetVentanillaPEN	815863	529873	630738	65%	1.99	9.66	436420	685020	1067561	17157	3648
EnviosPEN	288350	344781	450000	120%	1.94	6.32	40000	104400	490000	817	20347
RecaudosPEN	1112067	804461	1034697	72%	1.12	1.71	500000	965050	1534697	4610	16312
LimiteInferiorPEN	293737	81973	121000	28%	0.34	0.12	225000	300000	346000	20805	0
LimiteSuperiorPEN	3722982	1010872	1560000	27%	0.36	-0.02	2820000	3780000	4380000	20805	0

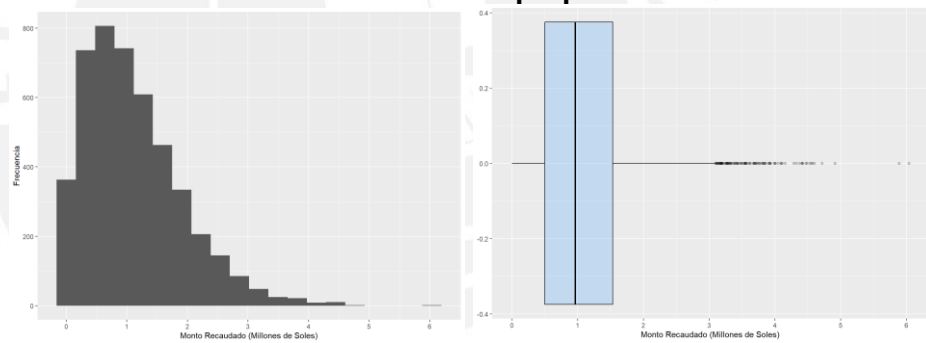
**Elaboración Propia**



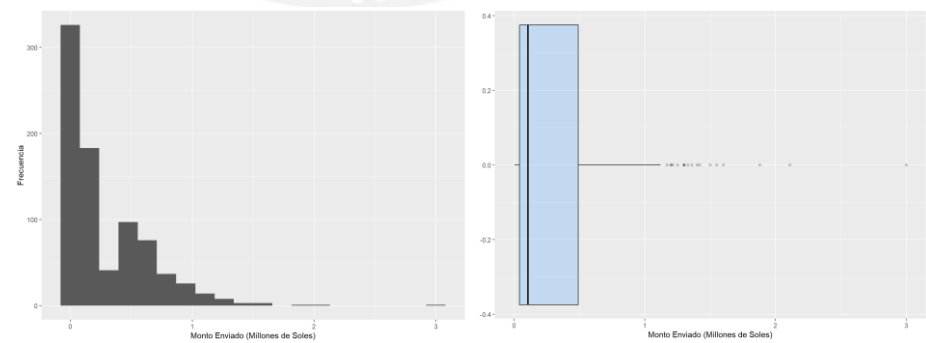
**Gráfico 43: Histograma y Diagrama de Cajas Monto Retirado**  
Elaboración Propia



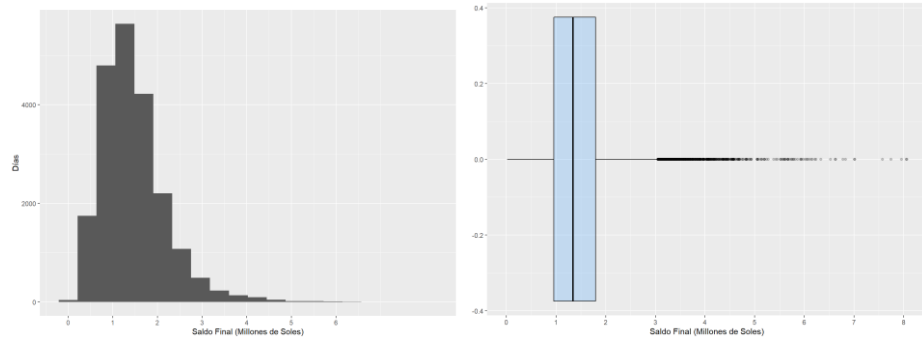
**Gráfico 44: Histograma y Diagrama de Cajas Monto Depositado**  
Elaboración propia



**Gráfico 45: Histograma y Diagrama de Cajas Monto Recaudado**  
Elaboración Propia



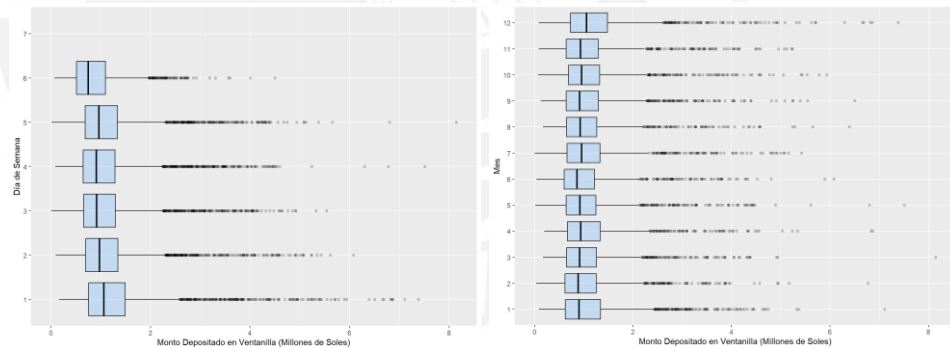
**Gráfico 46: Histograma y Diagrama de Cajas Monto Enviado**  
Elaboración Propia



**Gráfico 47: Histograma y Diagrama de Cajas Saldo Final**  
Elaboración Propia

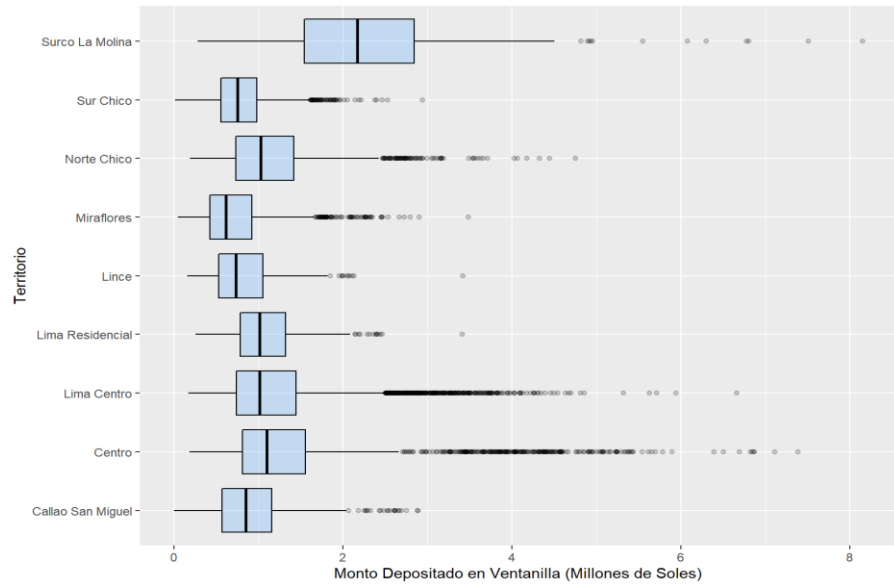
### 5.2.3.3. Análisis multivariado

En primer lugar, considerando el análisis de relaciones entre atributos cuantitativos y cualitativos, respecto al atributo Monto Depositado se aprecia en el diagrama de cajas que la mayor media de depósitos se da los días lunes, que tiene sentido con el ciclo del efectivo, toda vez que sería el día en que retorna el efectivo para realizar transacciones en ventanilla. Luego, y acorde al **Gráfico 48**, el mes en que mayores depósitos en promedio se dan es diciembre (presuntamente en su mayoría a inicios de mes).



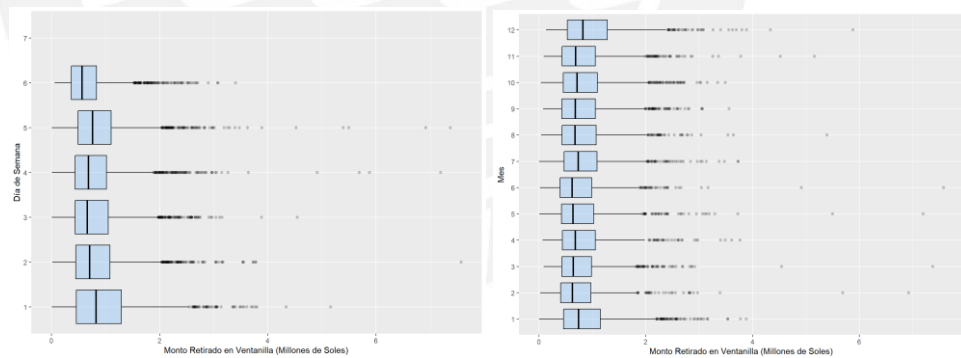
**Gráfico 48: Diagrama de Cajas Monto Depositado Ventanilla por día y mes**  
Elaboración Propia

De igual forma, conforme al **Gráfico 49**, se tiene que los territorios Surco La Molina, seguido de Centro, Lima Centro y Norte Chico son aquellos donde los clientes depositan mayor cantidad de efectivo en promedio por ventanilla.



**Gráfico 49: Diagrama de Cajas Monto Depositado Ventanilla por territorio**  
Elaboración Propia

Por otro lado, conforme al **Gráfico 50** y respecto al atributo Monto Retirado se aprecia en el diagrama de cajas que la mayor media de depósitos se da los días lunes y viernes. Luego, los meses en que mayores depósitos en promedio se dan son julio (por fiestas patrias) y diciembre (presuntamente en su mayoría a fin de mes).



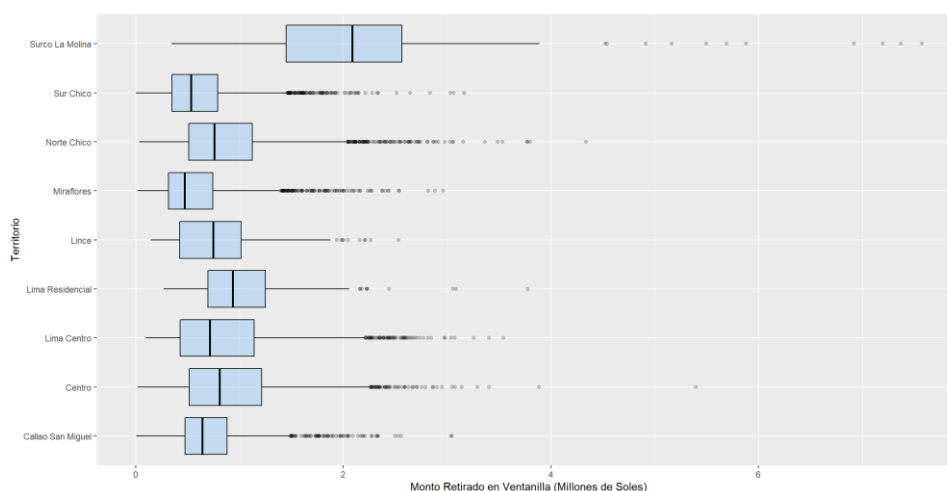
**Gráfico 50: Diagrama de Cajas Monto Retirado Ventanilla por día y mes**  
Elaboración Propia

Asimismo, conforme al **Gráfico 51**, se tiene que los territorios Surco La Molina, seguido de Centro, Lima Residencial y Norte Chico son aquellos donde los clientes realizan mayor cantidad de retiros de efectivo en promedio por ventanilla.

Ahora bien, acorde al **Gráfico 52**, a partir del análisis de correlación entre las variables cuantitativas se tiene que los Envíos y los Retiros de efectivo en ventanilla, al igual que los Recaudos y Depósitos de efectivo, los



cuales están positivamente correlacionados (lo cual resulta lógico ya que es la respuesta de reposición o evacuación de efectivo a fin de mantener un saldo balanceado).

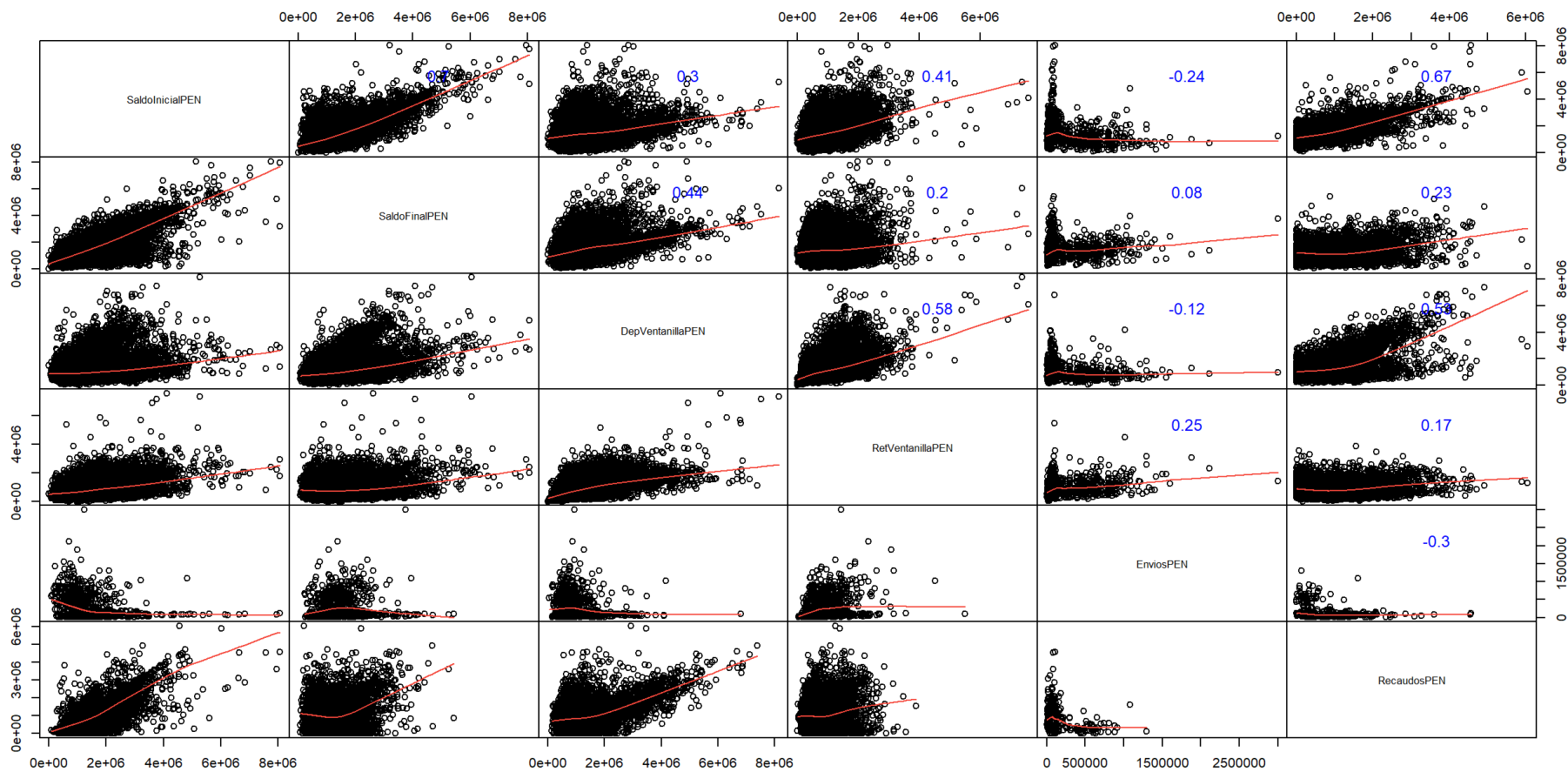


**Gráfico 51: Diagrama de Cajas Monto Retirado Ventanilla por territorio**  
**Elaboración Propia**

A continuación, acorde al **Gráfico 52**, el saldo inicial está positivamente correlacionado con los recaudos y negativamente correlacionado con los envíos, puesto que cada una de estas situaciones responde a mantener un status quo en tanto la oficina inicie con un stock alto o bajo. De igual manera, a mayor cantidad de depósitos en ventanilla, es natural que hubiese un mayor saldo final (lo cual explica la alta correlación positiva entre ambos).

Por otra parte, los envíos y recaudos están negativamente correlacionados entre sí, puesto que, naturalmente, no resulta lógico que se realicen simultáneamente, toda vez que los envíos se dan ante un déficit de saldo y los recaudos ante un superávit de saldo.

En conclusión, las correlaciones encontradas resultan lógicas a nivel general de los datos, más aún, considerando que, las decisiones de envío, recaudo, y, por ende, los saldos finales, son consecuencia de la evaluación a juicio de experto de la transaccionalidad en ventanilla (depósitos y retiros). Sin embargo, luego de la etapa de preparación de datos, se deberá llevar a cabo el modelamiento por oficina de cara a obtener un predictor que pronostique las dos variables de interés (depósitos y retiros) de forma segmentada e independiente. Esto a fin de brindar decisiones de envío o recaudo más óptimas.



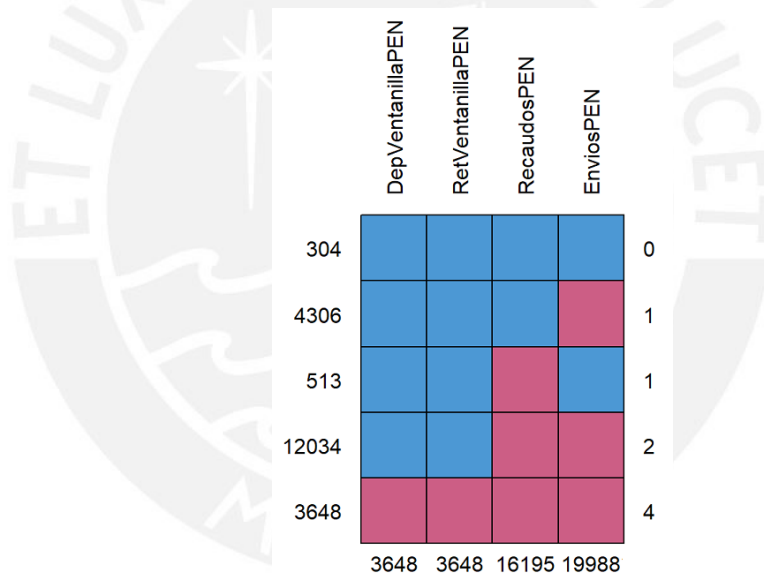
**Gráfico 52: Matriz de gráficos de Dispersión**  
**Elaboración Propia**

## Capítulo 6. Preparación de datos

En el presente capítulo se desarrollarán la tercera fase del modelo CRISP-DM, que viene a ser la preparación de datos, la cual incluye la selección, limpieza, construcción, integración y formato de datos. En particular, se buscará remover o completar valores faltantes, suavizar datos con ruido, identificar o remover datos atípicos.

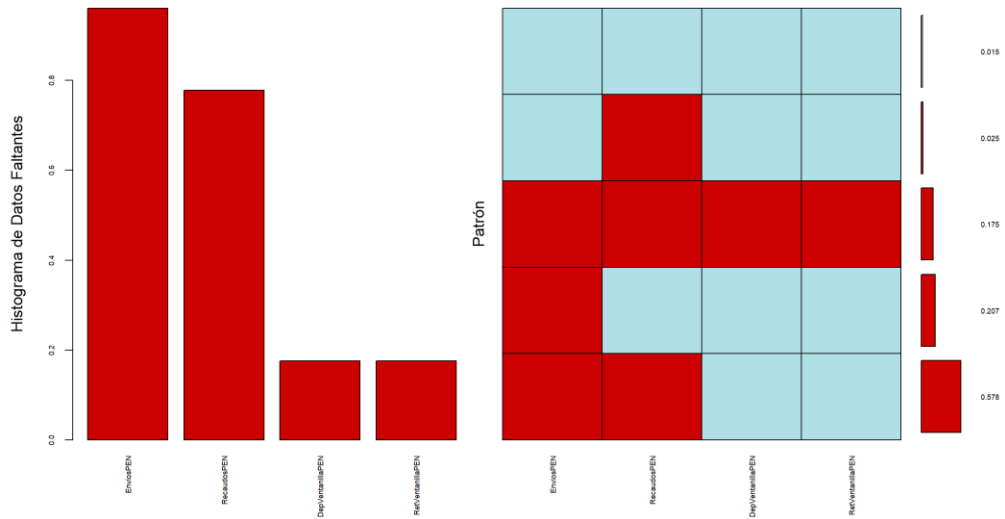
### 6.1. Tratamiento de datos faltantes

En primer lugar, existen 3648 datos nulos en las variables de depósito, retiro en ventanilla, envíos y recaudos, acorde al **Gráfico 53**, lo cual representa el 17.5% del total de datos. Cabe mencionar que, estos valores nulos se presentan los días domingo (día 7 de la semana) y feriados, que son los días donde las oficinas se encuentran cerradas a la atención al público. Por ende, a fin de completar el *dataframe* corresponde imputar estos valores como cero.



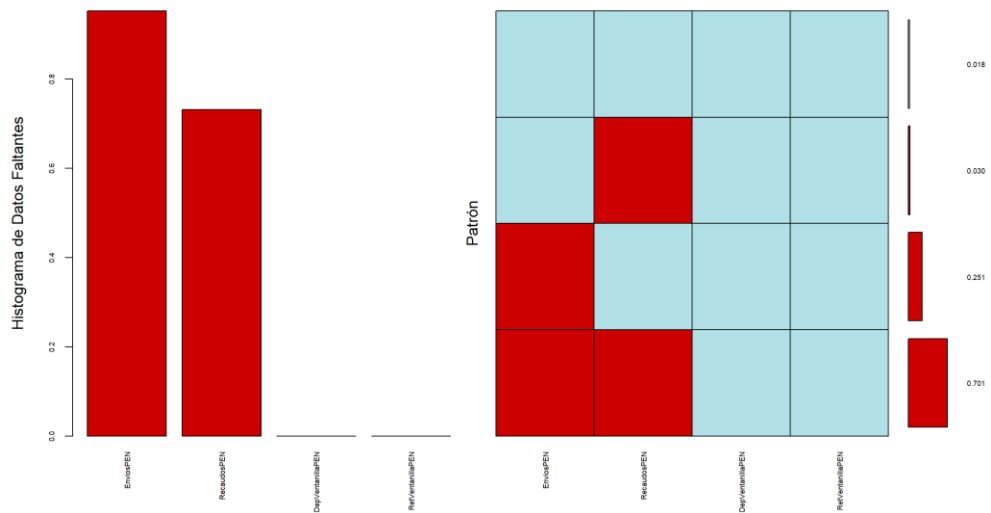
**Gráfico 53: Histograma de Cantidad de Datos Faltantes**  
Elaboración Propia

Por otro lado, existen 12034 (57.8%) datos faltantes en días en los cuales las oficinas no han solicitado ni envío ni recaudo. Asimismo, existen 4306 (20.7%) datos faltantes los días en lo que se pidió envío, pero no recaudo, y 513 (2.5%) los días en que se pidió recaudo, pero no envío. Por último, solo el 1.5% de la data no presenta faltantes conforme al **Gráfico 54**.



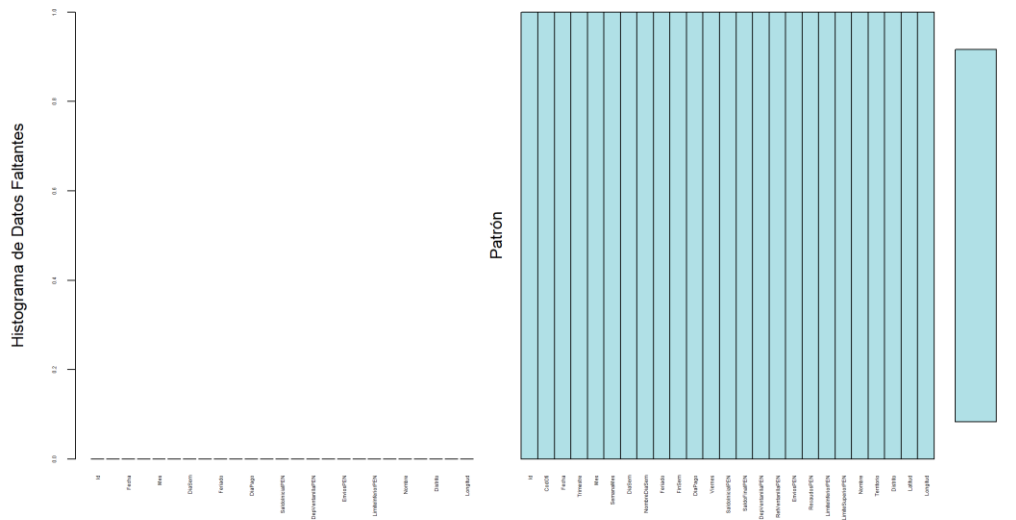
**Gráfico 54: Histograma de Proporción de Datos Faltantes**  
Elaboración Propia

En consecuencia, después de haber imputado los 3648 valores nulos como cero en los días domingo y feriado, se aprecia que únicamente quedan valores faltantes en los atributos de Envíos y Recaudos conforme al **Gráfico 55**.



**Gráfico 55: Histograma de Proporción de Datos Faltantes en Envíos y Recaudos**  
Elaboración Propia

No obstante, cabe mencionar que, las fuentes de origen del sistema de la entidad financiera consideran como nulo aquellos días en los que cada oficina no ha solicitado envío o recaudo, lo cual se comprueba cuando se hace el balance de saldos al final del día. En ese sentido, la imputación con valores cero sería apropiada en estos casos. De esta forma el *dataframe* queda sin valores faltantes, tal como se muestra en el **Gráfico 56**.



**Gráfico 56: Histograma de Proporción de Datos Faltantes Final  
Elaboración Propia**

## 6.2. Tratamiento de datos atípicos

Para el presente análisis, conforme a lo estipulado por Chen & Liu (1993), se considerará que los valores atípicos de los depósitos y retiros en ventanilla serán del tipo AO (aditivos), LS (Cambio de Nivel) y TC (Cambio Temporal). Debido a que se trata de datos temporales registrados a lo largo de un año de evaluación por un grupo de 58 oficinas en Lima Metropolitana.

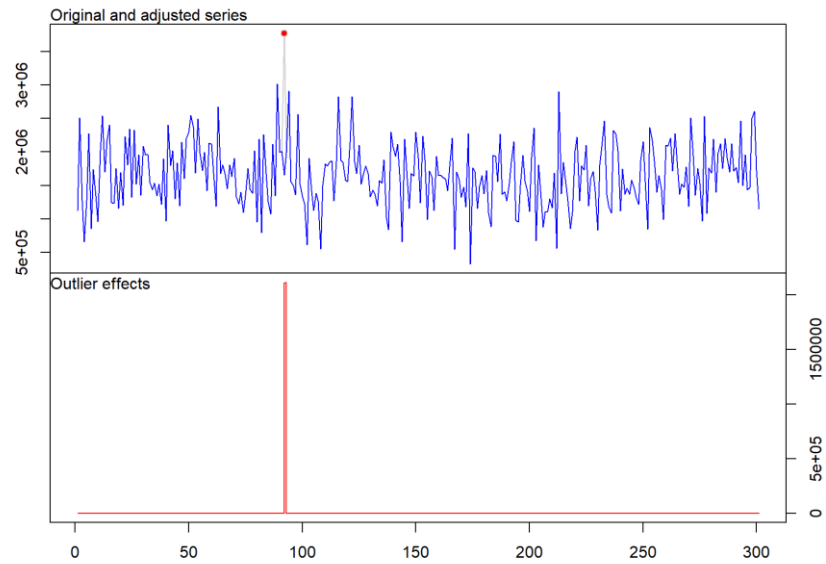
### 6.2.1. Outliers Aditivos (AO)

Son valores que se producen para una única observación (picos aislados), y que no afectan a las siguientes observaciones. Para llevar a cabo el procedimiento, primero, se ubican los valores atípicos en un modelo temporal elegido de forma iterativa. Luego, se elige el modelo que incluye dichos valores atípicos detectados en el paso anterior, y se procede a eliminar los valores atípicos que no son significativos en el nuevo ajuste. Por último, este procedimiento se repite hasta que no se detectan valores atípicos o hasta que se alcanza un número máximo de 4 iteraciones, conforme a lo estipulado por Chen & Liu (1993).

No obstante, en los modelos de pronóstico, eliminar los valores atípicos puede ser muy peligroso. En ese sentido, considerando que todos los días existe una transaccionalidad de efectivo en ventanilla, un modelo de pronóstico para valores temporales de depósitos y retiros en ventanilla es sensible a los valores atípicos. Por lo cual, resulta más apropiado remplazarlos, porque los valores atípicos generaran efecto sesgado.

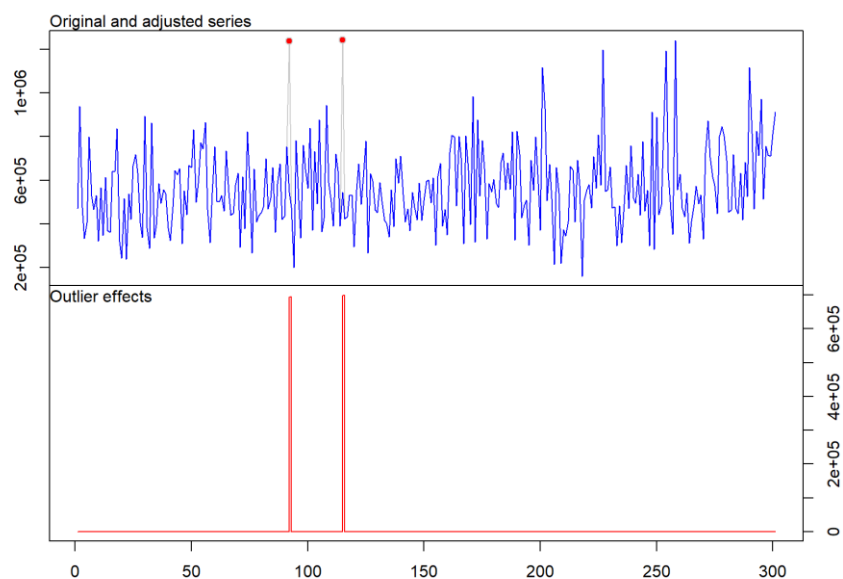
### 6.2.1.1. Depósitos en Ventanilla

Respecto al análisis de outliers en la variable depósitos en ventanilla, se cuenta con 33 oficinas que presentan al menos un valor atípico de tipo aditivo. Es así que, a continuación, se presentará el análisis individual por oficina respectivo.



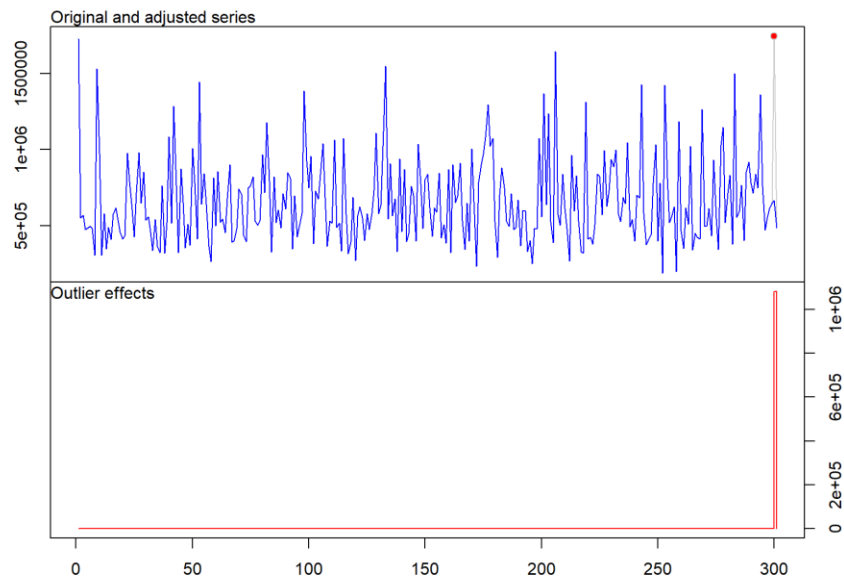
**Gráfico 57: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 103**  
Elaboración Propia

En la oficina 103 se aprecia, conforme al **Gráfico 57**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 92.



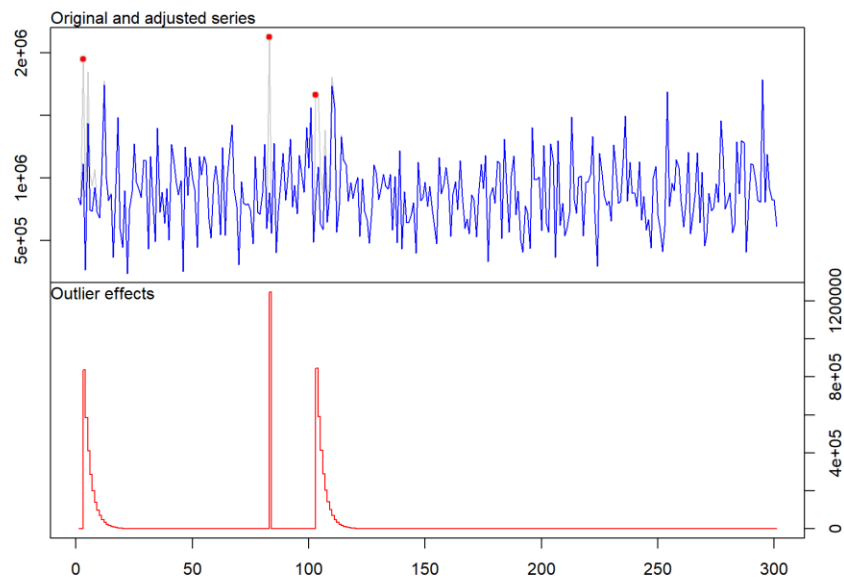
**Gráfico 58: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 108**  
Elaboración Propia

En la oficina 108 se aprecia, conforme al **Gráfico 58**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 92 y 115.



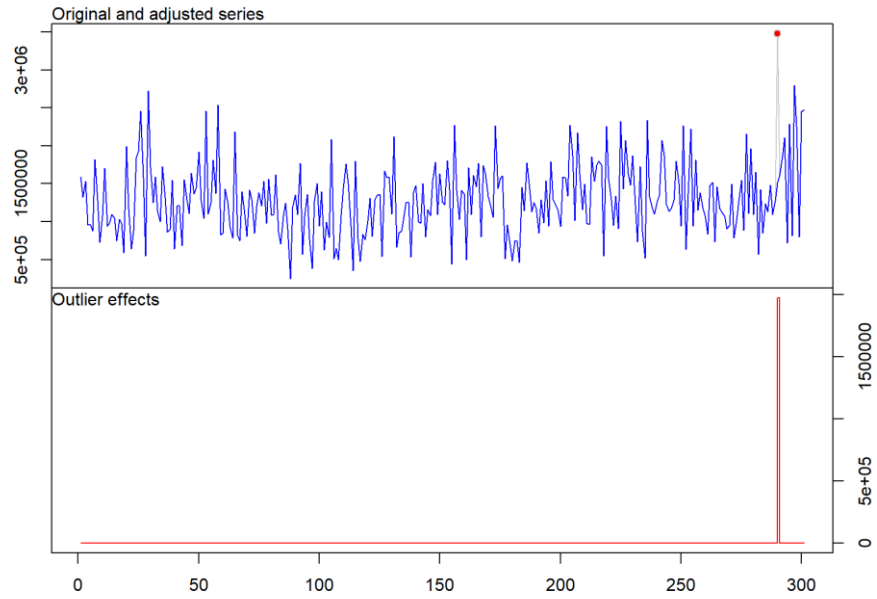
**Gráfico 59: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 113**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 113 se aprecia, conforme al **Gráfico 59**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 300.



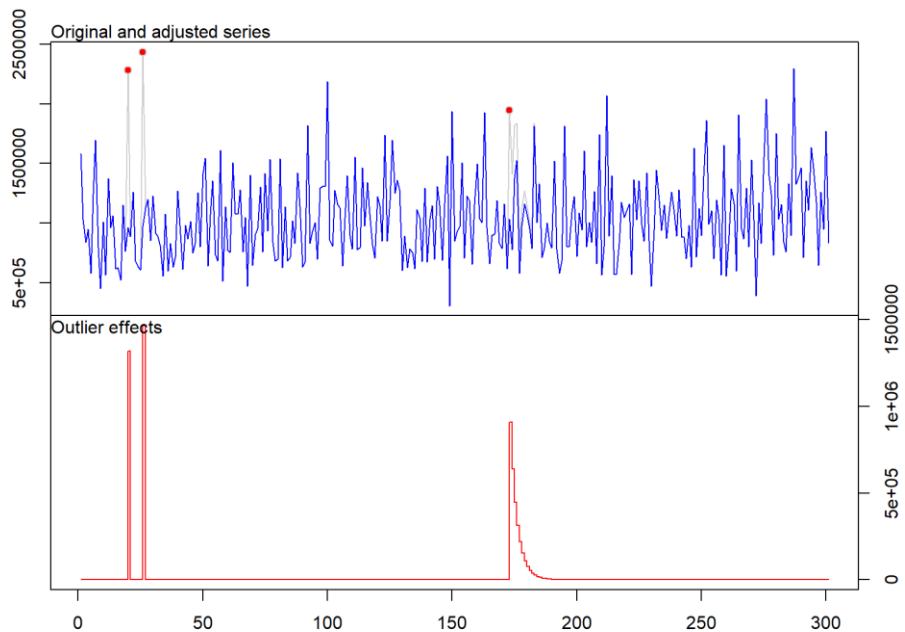
**Gráfico 60: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 115**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 115 se aprecia, conforme al **Gráfico 60**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 83.



**Gráfico 61: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 117**  
Elaboración Propia

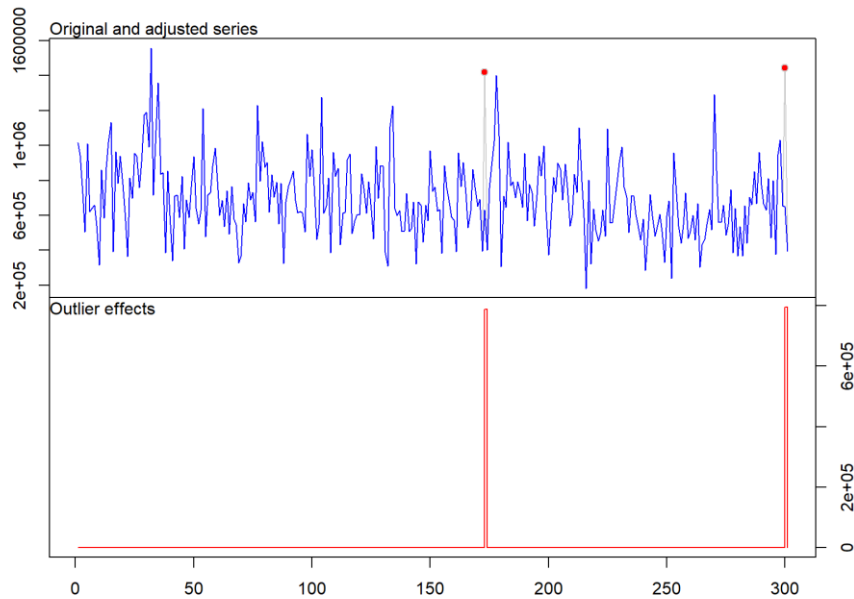
En la oficina 117 se aprecia, conforme al **Gráfico 61**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 290.



**Gráfico 62: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 127**  
Elaboración Propia

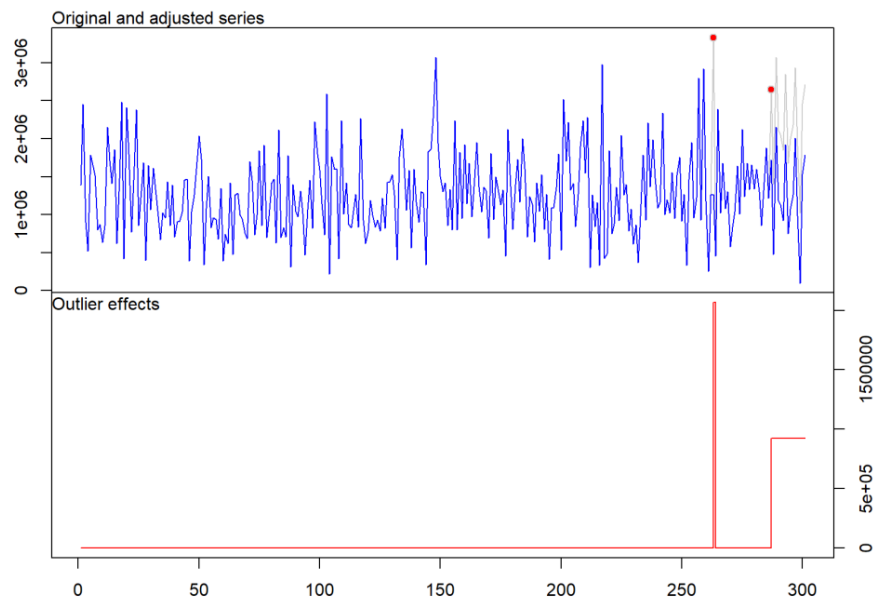
En la oficina 127 se aprecia, conforme al **Gráfico 62**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 20 y 26.





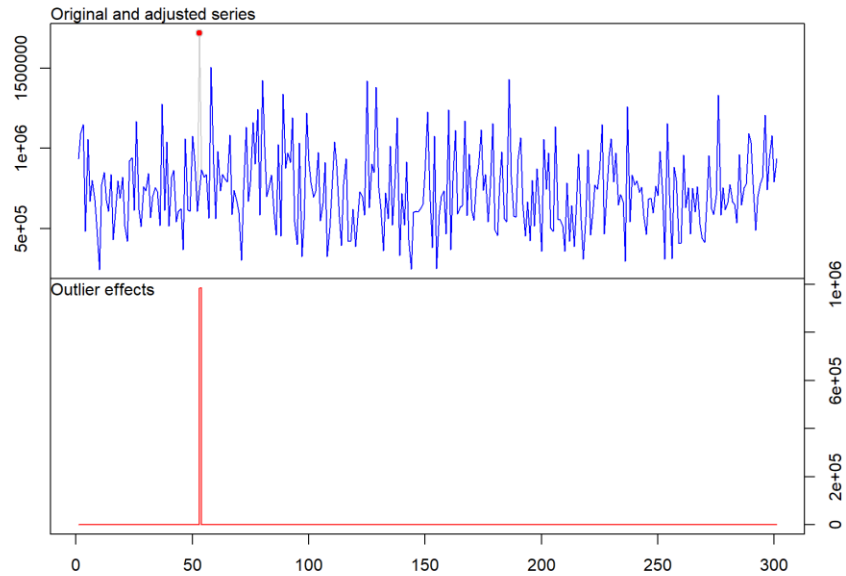
**Gráfico 63: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 129**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 129 se aprecia, conforme al **Gráfico 63**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 173 y 300.



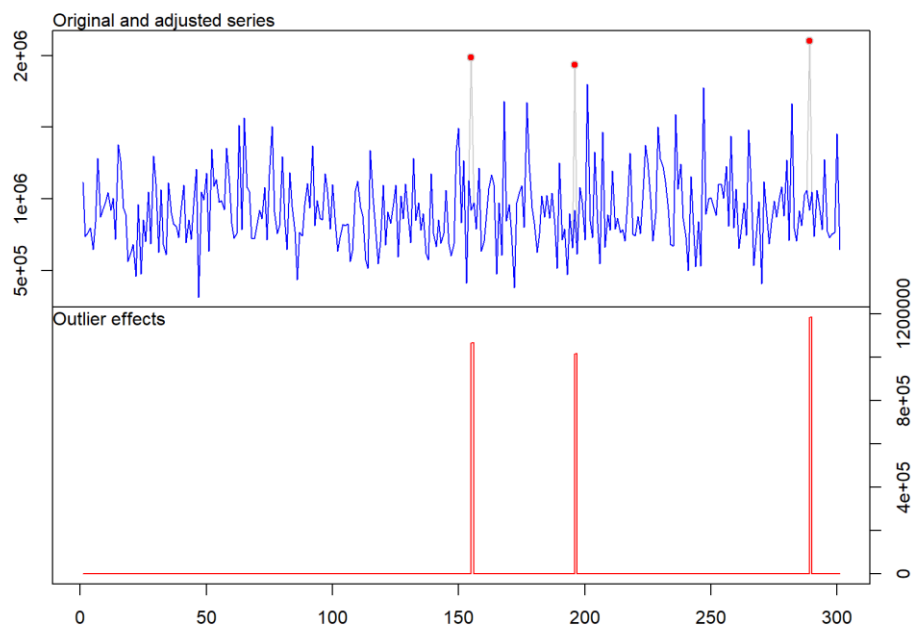
**Gráfico 64: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 130**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 130 se aprecia, conforme al **Gráfico 64**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 263.



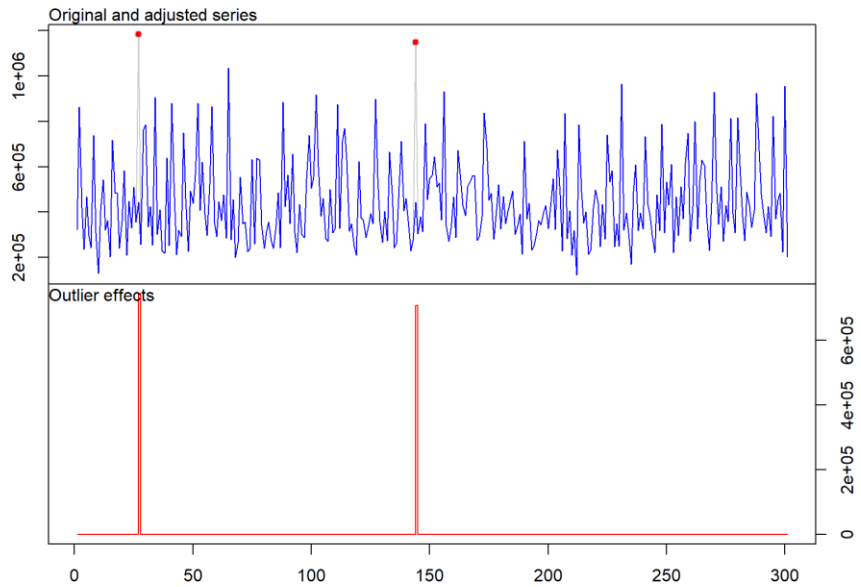
**Gráfico 65: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 137**  
Elaboración Propia

En la oficina 137 se aprecia, conforme al **Gráfico 65**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 53.



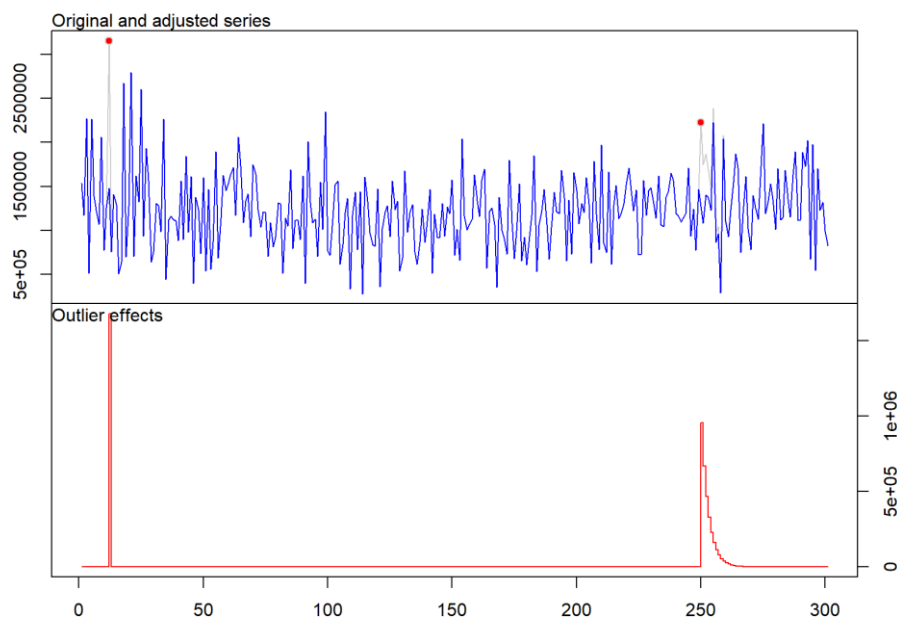
**Gráfico 66: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 146**  
Elaboración Propia

En la oficina 146 se aprecia, conforme al **Gráfico 66**, que existen tres valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 155, 196 y 289.



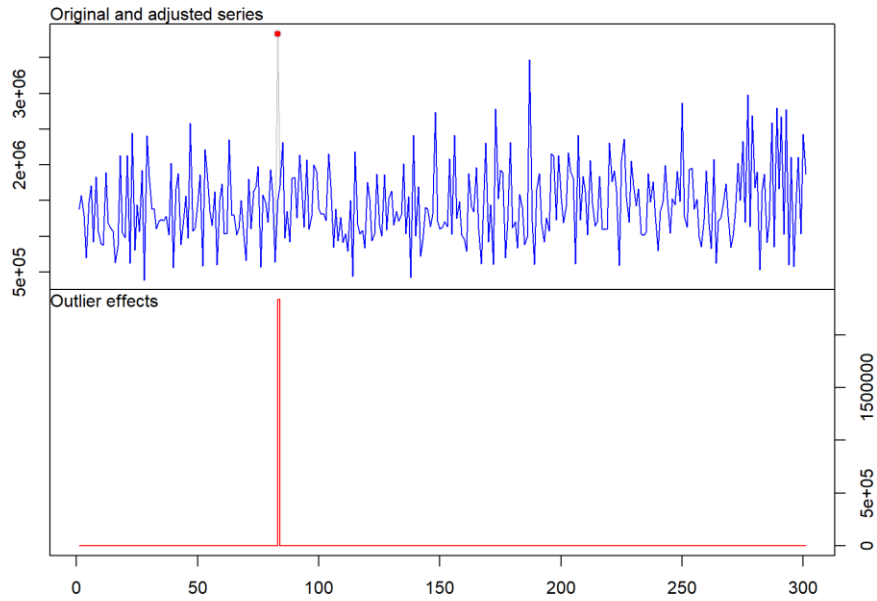
**Gráfico 67: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 149**  
Elaboración Propia

En la oficina 149 se aprecia, conforme al **Gráfico 67**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 27 y 144.



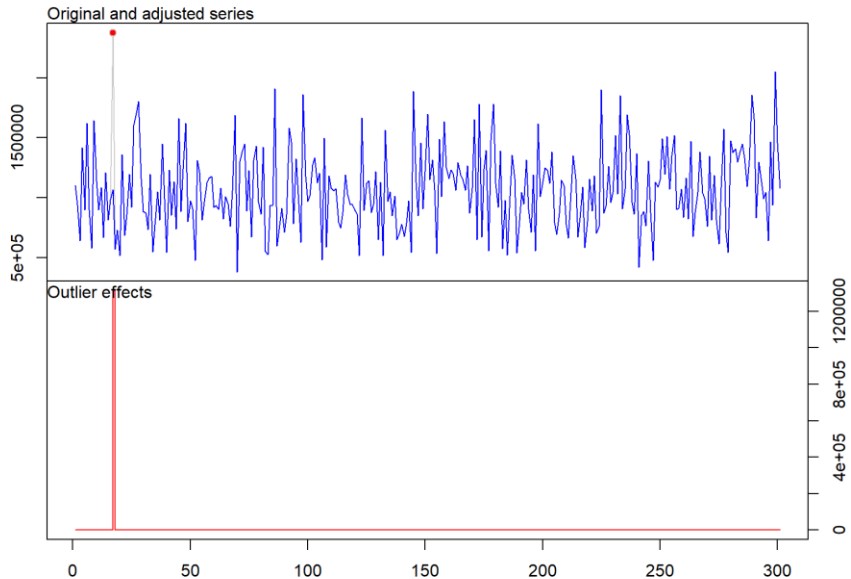
**Gráfico 68: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 163**  
Elaboración Propia

En la oficina 163 se aprecia, conforme al **Gráfico 68**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 12.



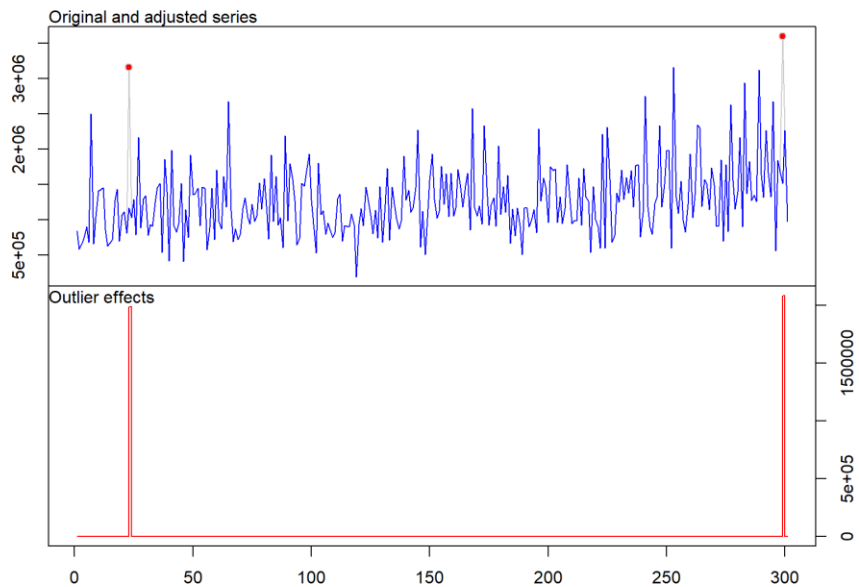
**Gráfico 69: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 175**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 175 se aprecia, conforme al **Gráfico 69**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 83.



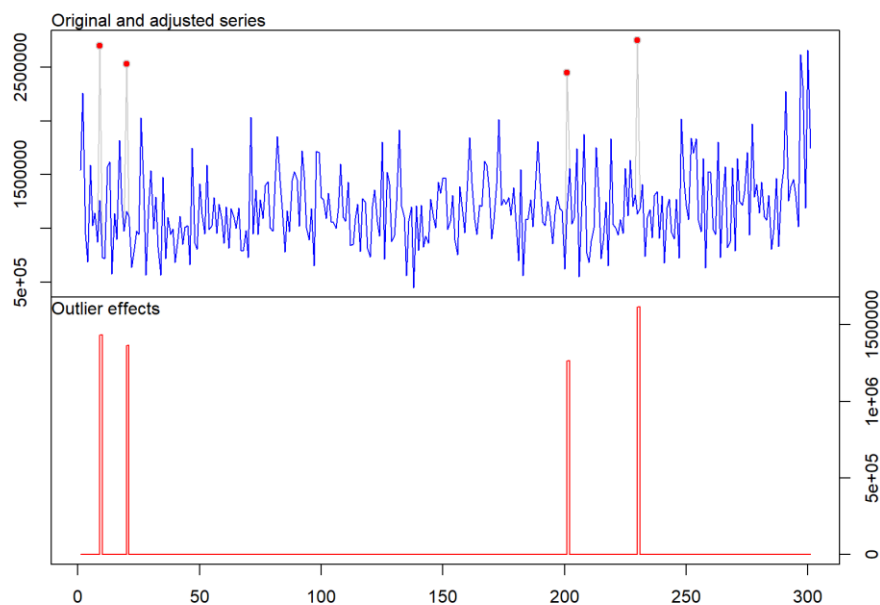
**Gráfico 70: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 234**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 234 se aprecia, conforme al **Gráfico 70**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 17.



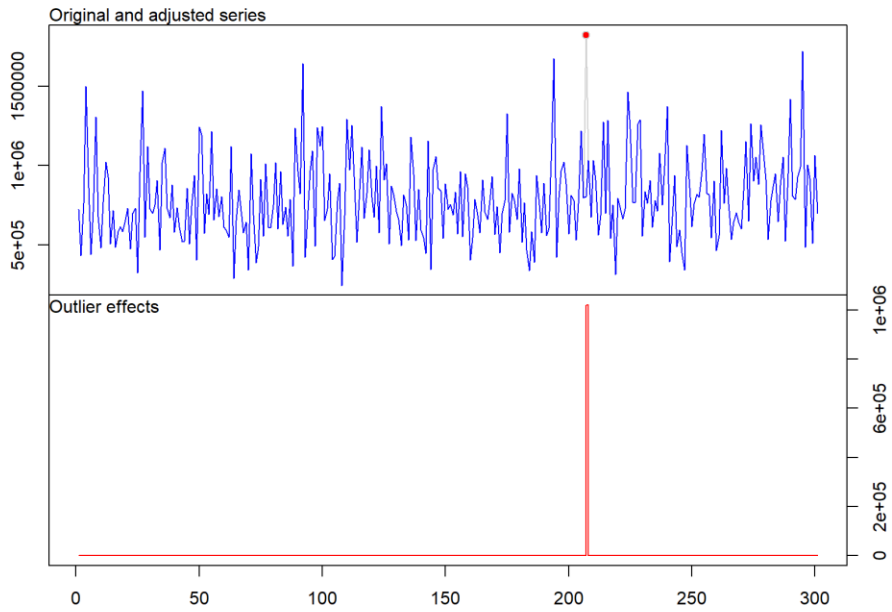
**Gráfico 71: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 253**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 253 se aprecia, conforme al **Gráfico 71**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 23 y 299.



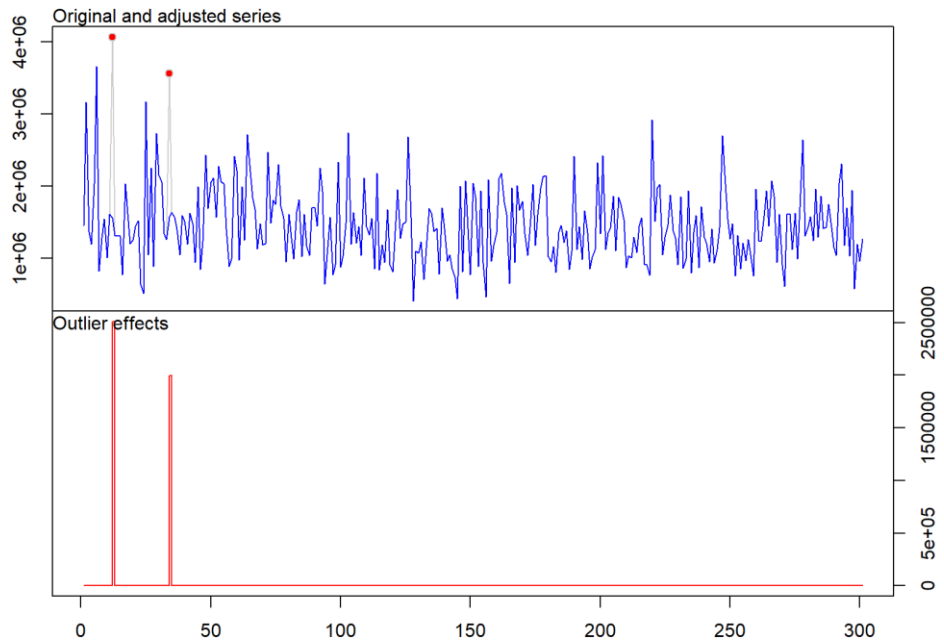
**Gráfico 72: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 259**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 259 se aprecia, conforme al **Gráfico 72**, que existen cuatro valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 9, 20, 201 y 230.



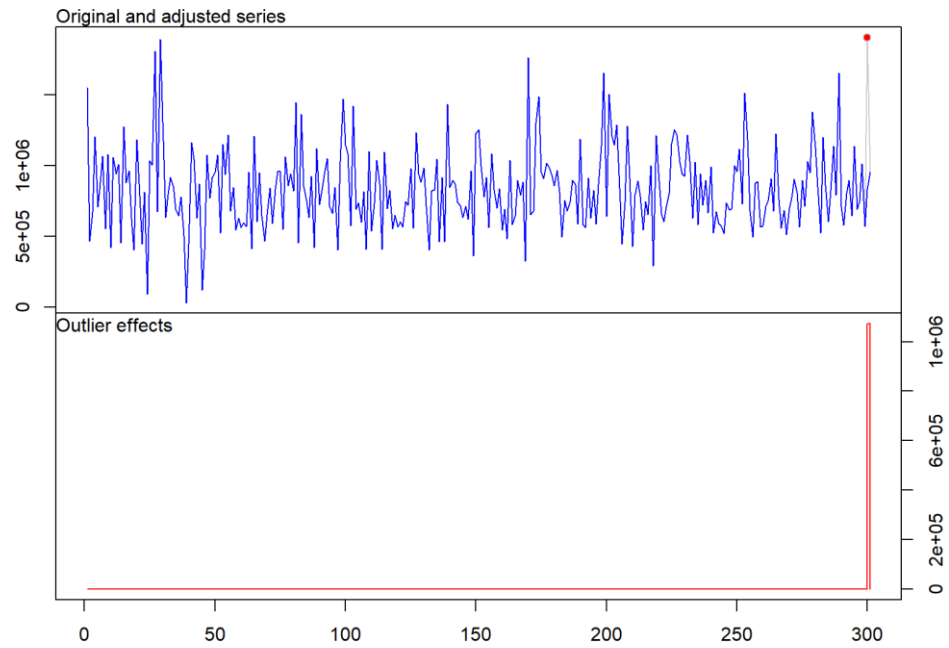
**Gráfico 73: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 312  
Elaboración Propia**

En la oficina 312 se aprecia, conforme al **Gráfico 73**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 207.



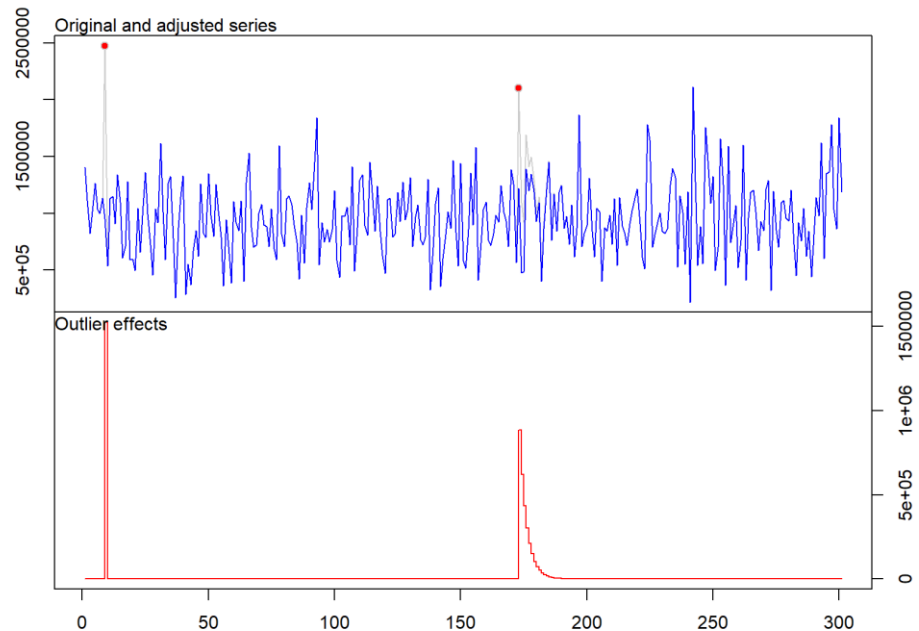
**Gráfico 74: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 316  
Elaboración Propia**

En la oficina 316 se aprecia, conforme al **Gráfico 74**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 12 y 34.



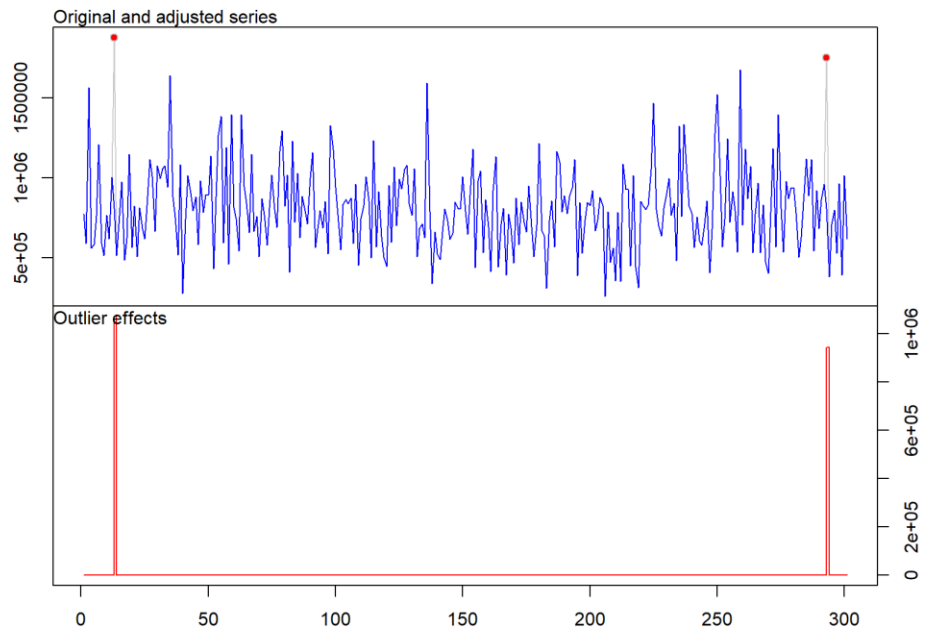
**Gráfico 75: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 317**  
Elaboración Propia

En la oficina 317 se aprecia, conforme al **Gráfico 75**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 300.



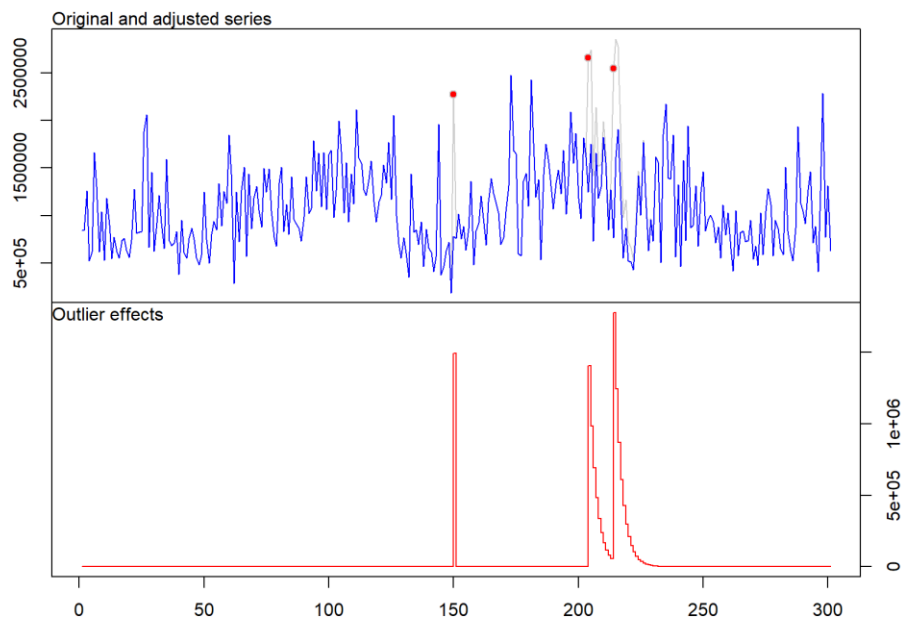
**Gráfico 76: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 322**  
Elaboración Propia

En la oficina 322 se aprecia, conforme al **Gráfico 76**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 9.



**Gráfico 77: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 341**  
**Elaboración Propia**

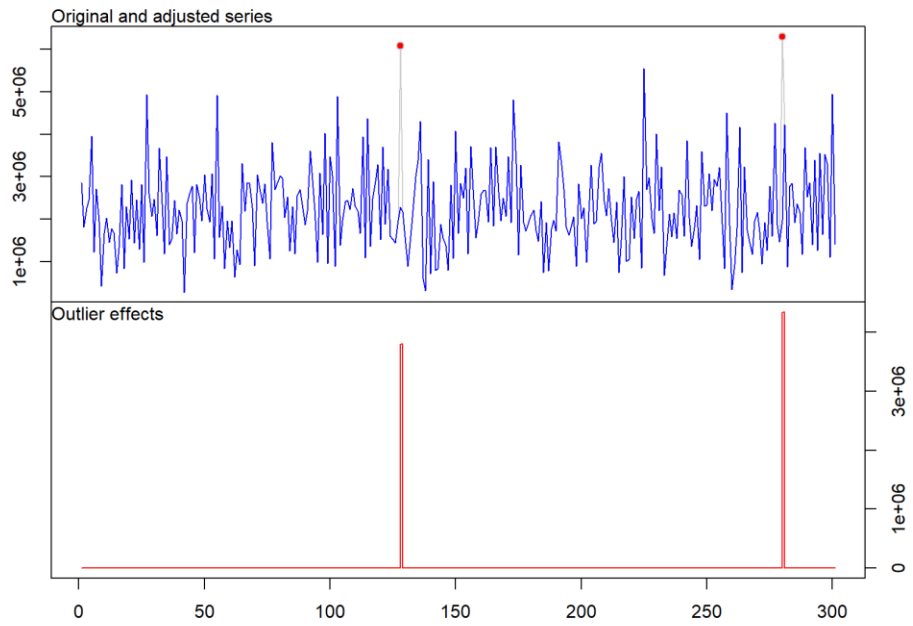
En la oficina 341 se aprecia, conforme al **Gráfico 77**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 13 y 293.



**Gráfico 78: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 342**  
**Elaboración Propia**

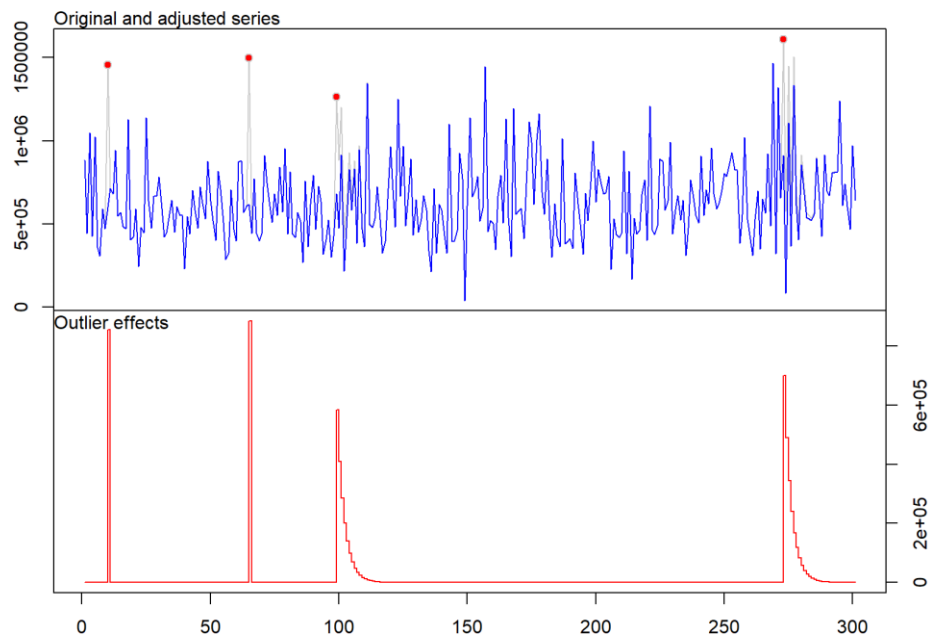
En la oficina 342 se aprecia, conforme al **Gráfico 78**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 150.





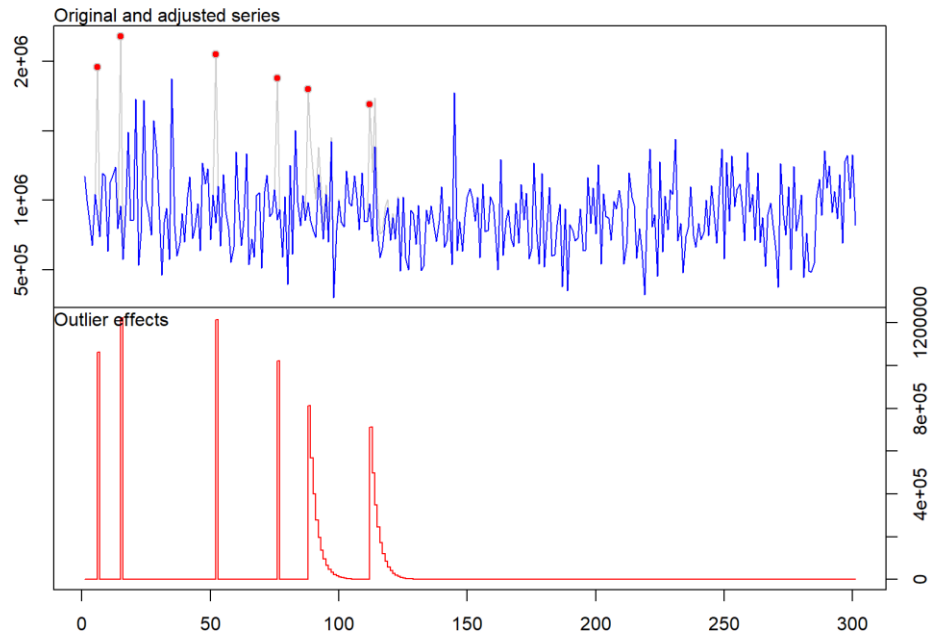
**Gráfico 79: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 360**  
Elaboración Propia

En la oficina 360 se aprecia, conforme al **Gráfico 79**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 128 y 280.



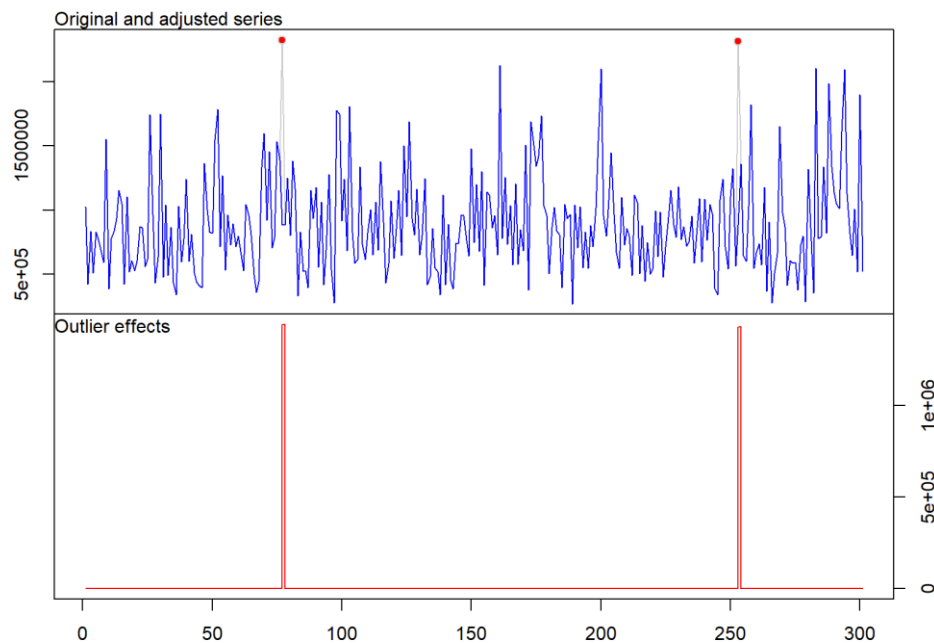
**Gráfico 80: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 480**  
Elaboración Propia

En la oficina 480 se aprecia, conforme al **Gráfico 80**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 10 y 65.



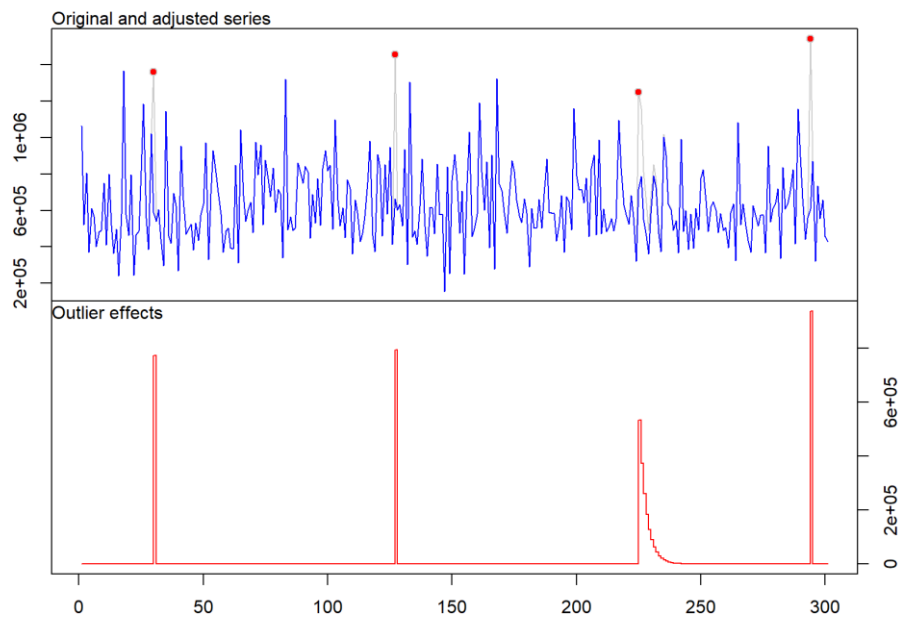
**Gráfico 81: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 484**  
Elaboración Propia

En la oficina 484 se aprecia, conforme al **Gráfico 81**, que existen cuatro valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 6, 15, 52 y 76.



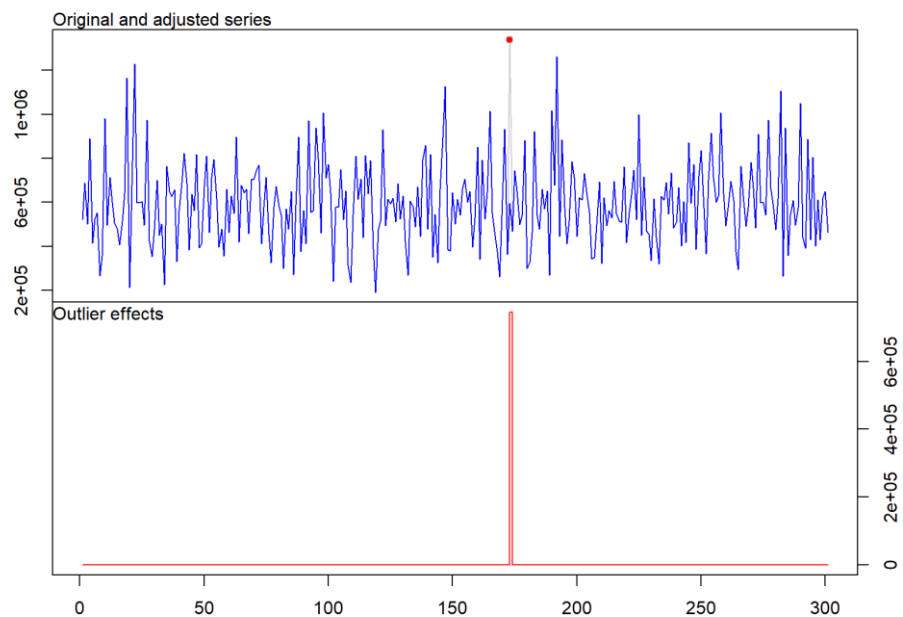
**Gráfico 82: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 508**  
Elaboración Propia

En la oficina 508 se aprecia, conforme al **Gráfico 82**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 77 y 253.



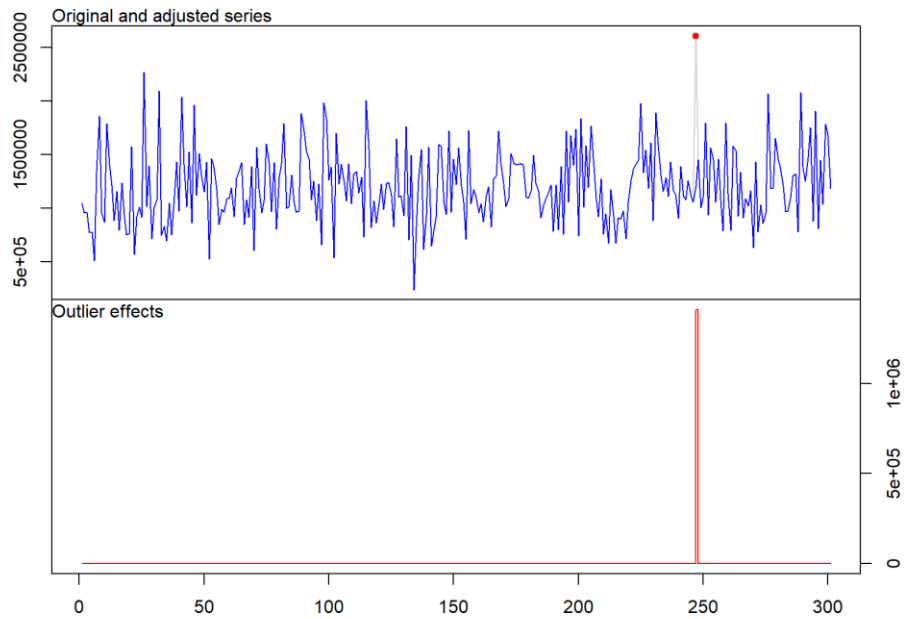
**Gráfico 83: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 616**  
Elaboración Propia

En la oficina 616 se aprecia, conforme al **Gráfico 83**, que existen tres valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 30, 127 y 294.



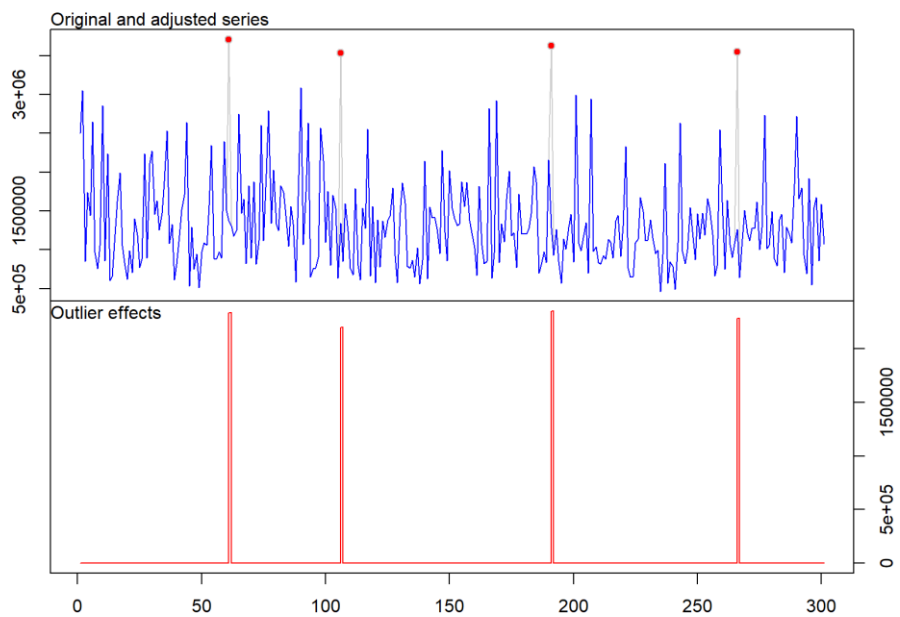
**Gráfico 84: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 659**  
Elaboración Propia

En la oficina 659 se aprecia, conforme al **Gráfico 84**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 173.



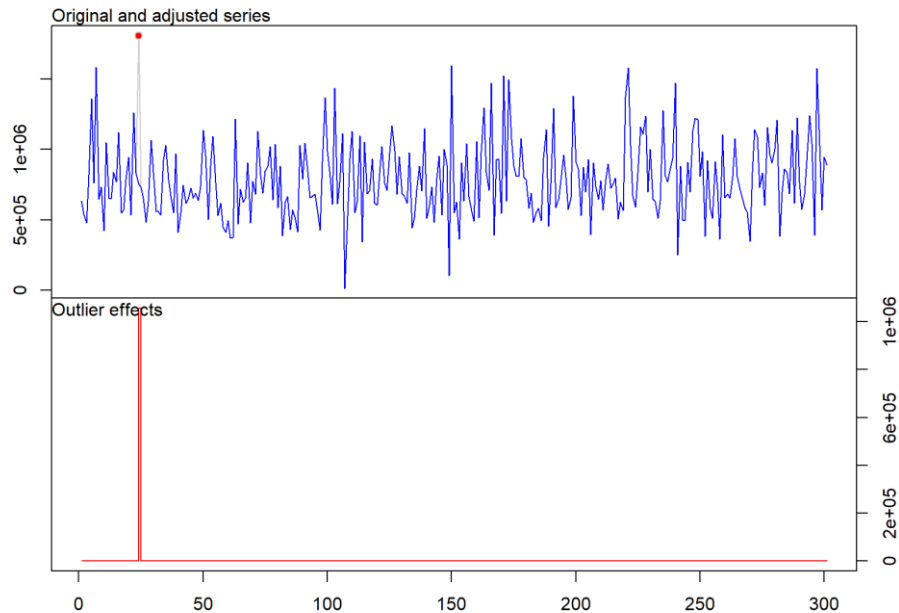
**Gráfico 85: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 712**  
Elaboración Propia

En la oficina 712 se aprecia, conforme al **Gráfico 85**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 247.



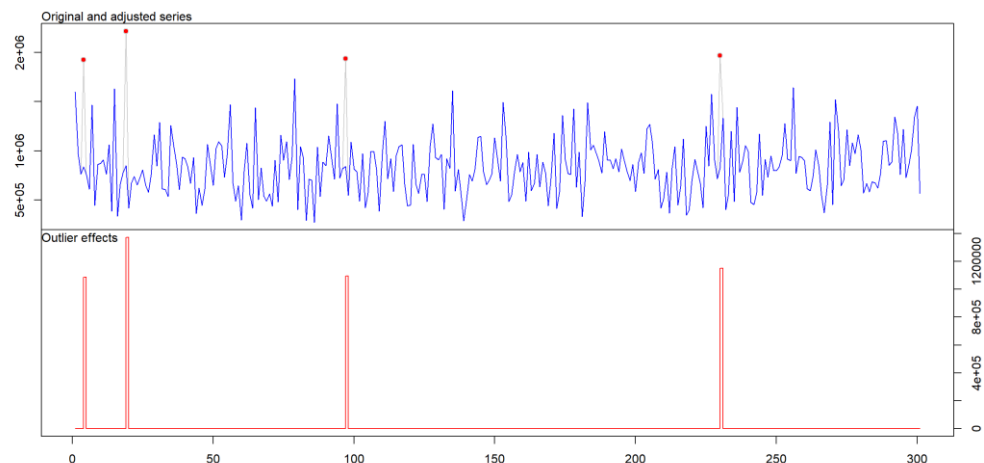
**Gráfico 86: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 752**  
Elaboración Propia

En la oficina 752 se aprecia, conforme al **Gráfico 86**, que existen cuatro valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 61, 106, 191 y 266.



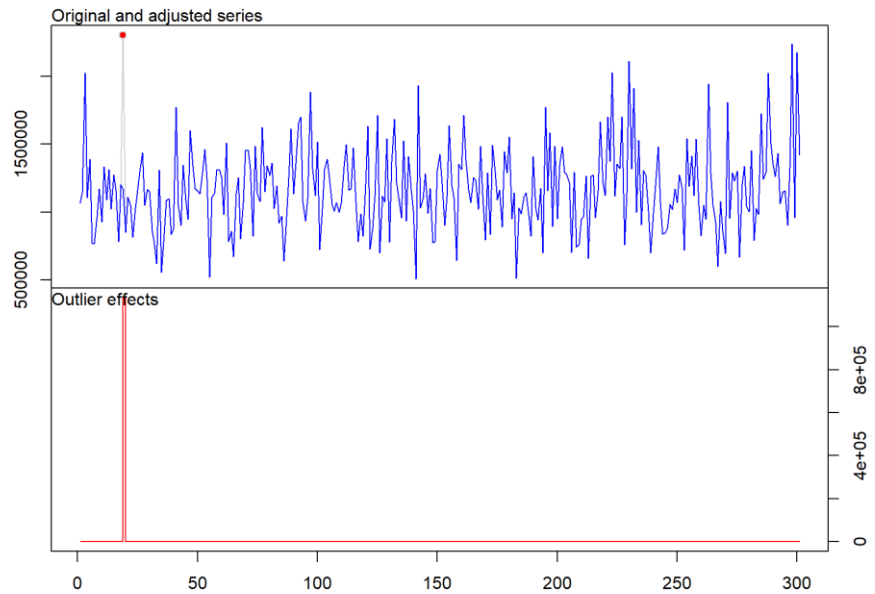
**Gráfico 87: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 849**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 849 se aprecia, conforme al **Gráfico 87**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 24.



**Gráfico 88: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 857**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 857 se aprecia, conforme al **Gráfico 88**, que existen cuatro valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 4, 19, 97 y 230.



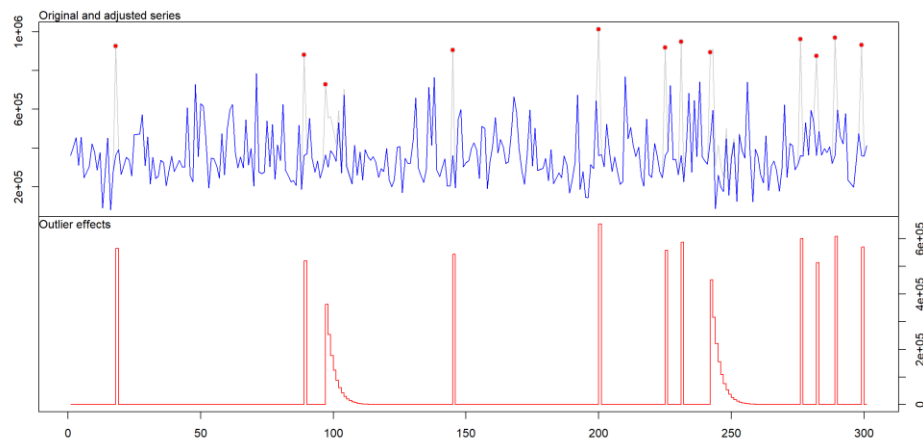
**Gráfico 89: Valores Atípicos AO Depósitos Ventanilla Oficina 970**  
Elaboración Propia

En la oficina 970 se aprecia, conforme al **Gráfico 89**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 19.

Finalmente, en las demás oficinas no se aprecia que hubiese valores atípicos de tipo aditivo respecto a los depósitos de efectivo en ventanilla.

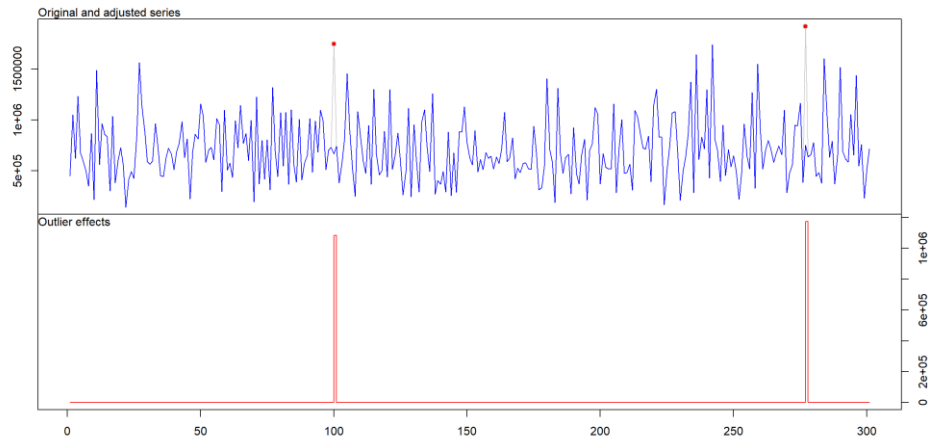
### 6.2.1.2. Retiros en Ventanilla

Respecto al análisis de outliers en la variable retiros en ventanilla, se cuenta con 42 oficinas que presentan al menos un valor atípico de tipo aditivo. Es así que, a continuación, se presentará el análisis individual por oficina respectivo.



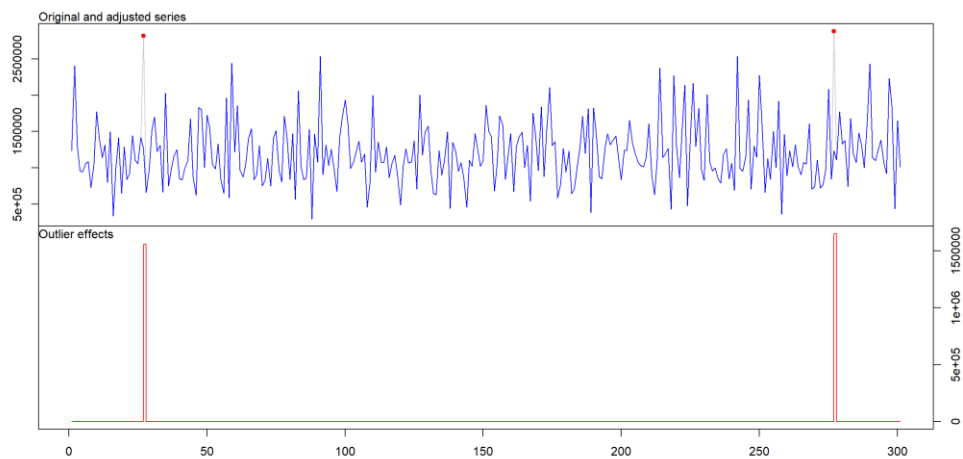
**Gráfico 90: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 113**  
Elaboración Propia

En la oficina 113 se aprecia, conforme al **Gráfico 90**, que existen diez valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 18, 89, 145, 200, 225, 231, 276, 282, 289 y 299.



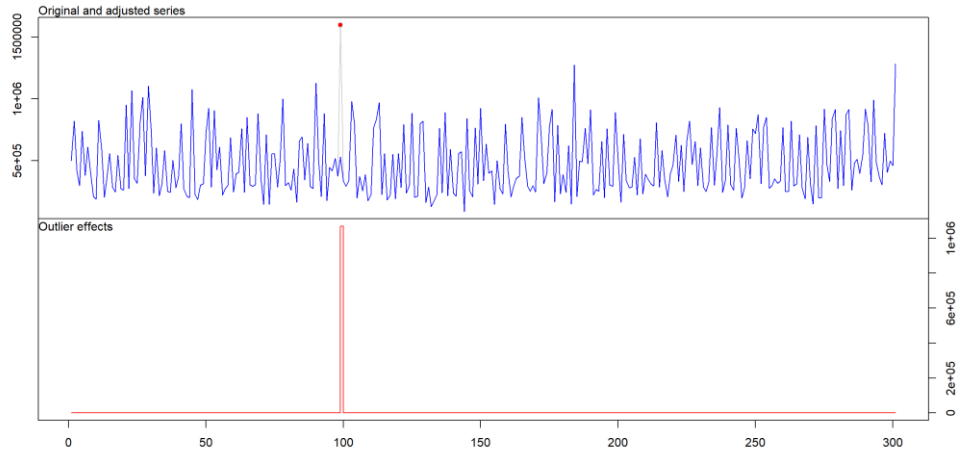
**Gráfico 91: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 115**  
Elaboración Propia

En la oficina 115 se aprecia, conforme al **Gráfico 91**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 100 y 277.



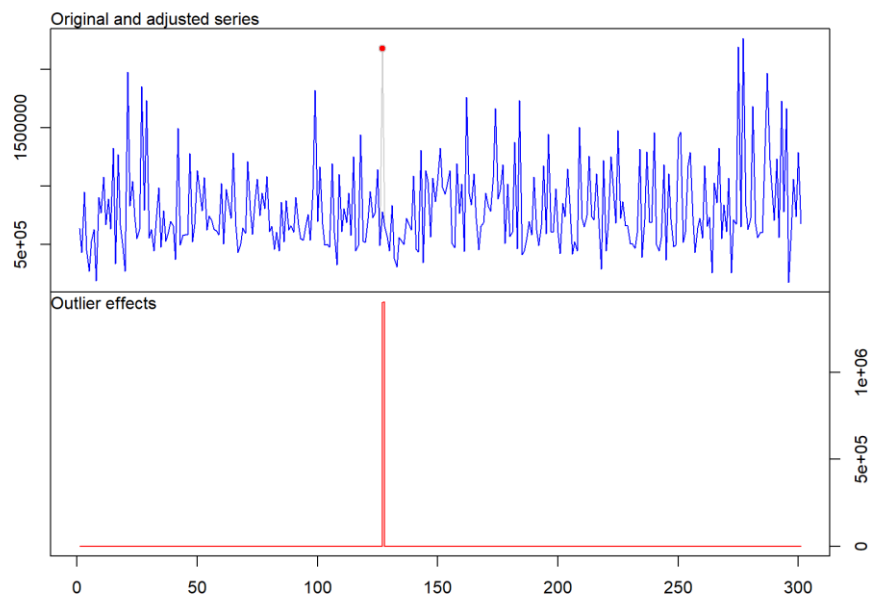
**Gráfico 92: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 117**  
Elaboración Propia

En la oficina 117 se aprecia, conforme al **Gráfico 92**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 27 y 277.



**Gráfico 93: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 125**  
Elaboración Propia

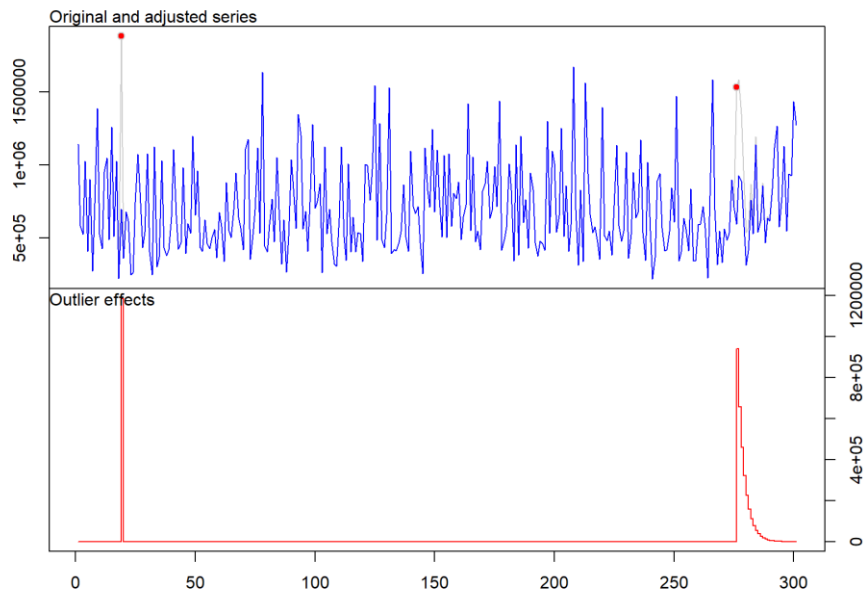
En la oficina 125 se aprecia, conforme al **Gráfico 93**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 99.



**Gráfico 94: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 127**  
Elaboración Propia

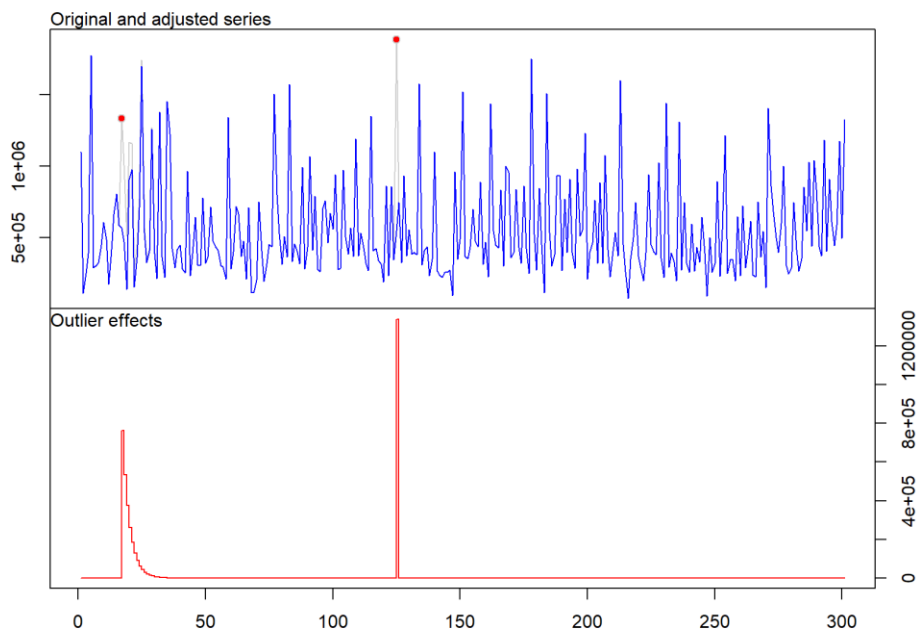
En la oficina 127 se aprecia, conforme al **Gráfico 94**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 127.





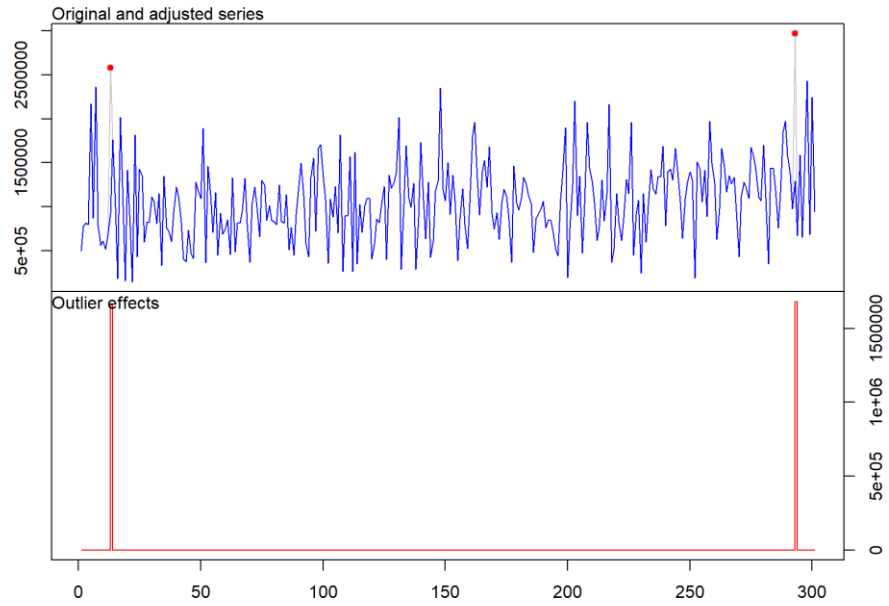
**Gráfico 95: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 128**  
Elaboración Propia

En la oficina 128 se aprecia, conforme al **Gráfico 95**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 19.



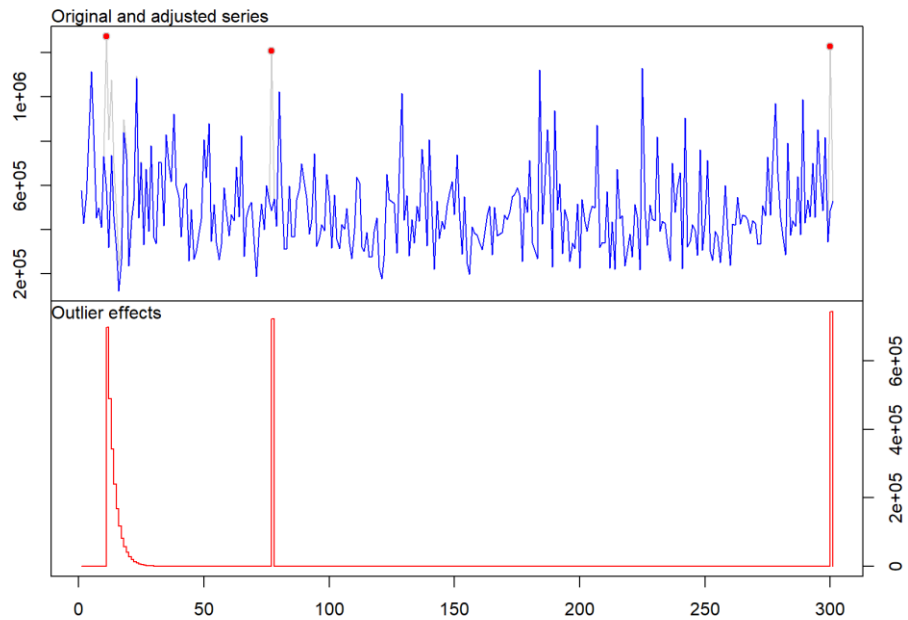
**Gráfico 96: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 129**  
Elaboración Propia

En la oficina 129 se aprecia, conforme al **Gráfico 96**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 125.



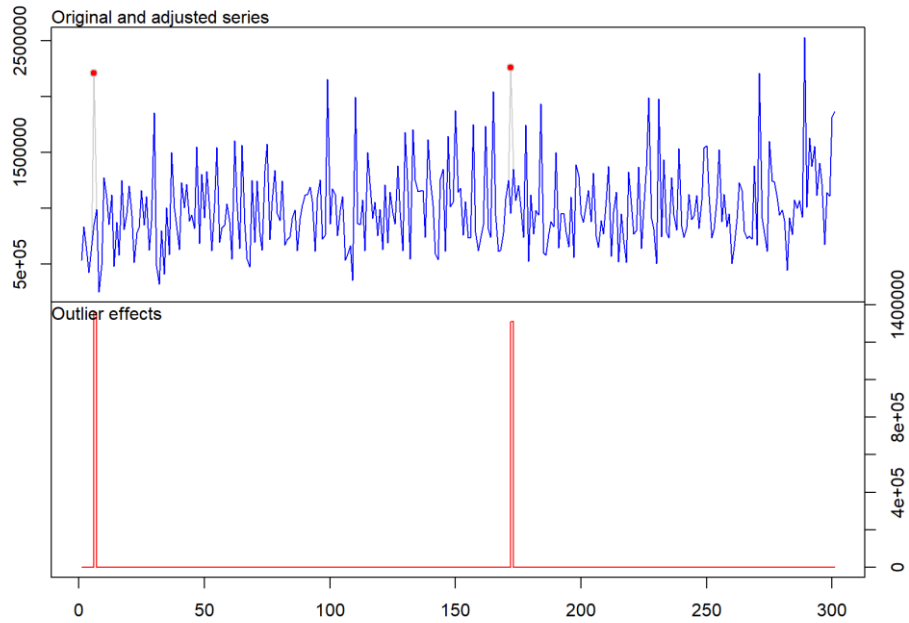
**Gráfico 97: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 130**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 130 se aprecia, conforme al **Gráfico 97**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 13 y 293.



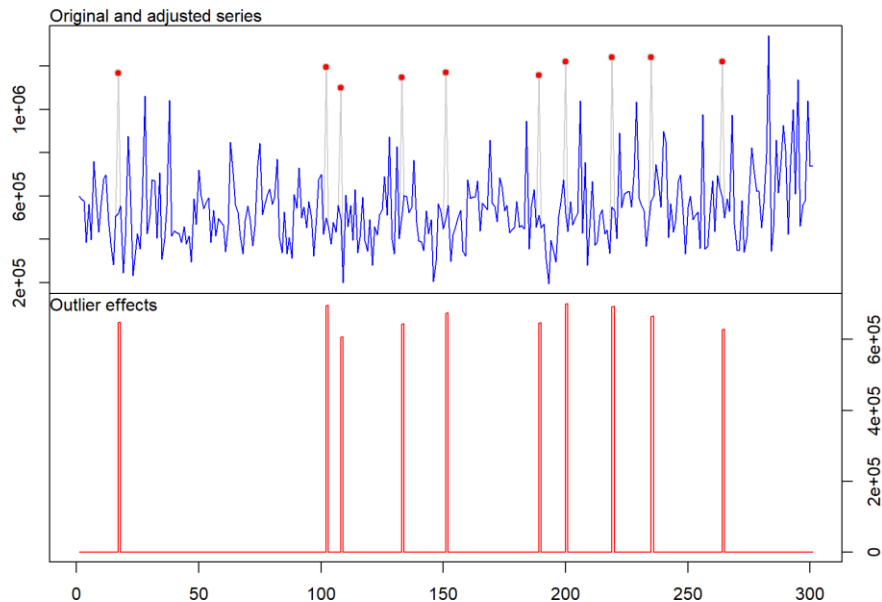
**Gráfico 98: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 137**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 137 se aprecia, conforme al **Gráfico 98**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 77 y 300.



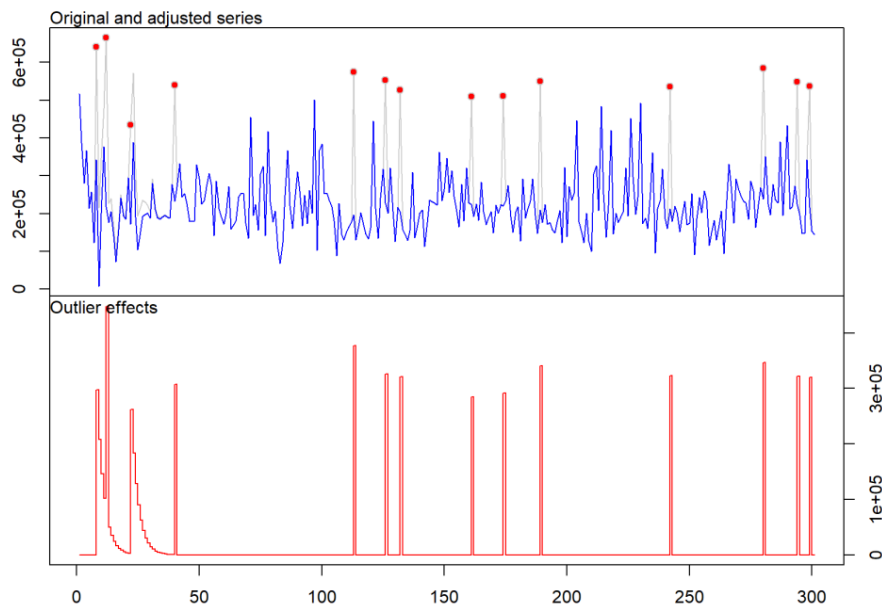
**Gráfico 99: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 140**  
Elaboración Propia

En la oficina 140 se aprecia, conforme al **Gráfico 99**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 6 y 172.



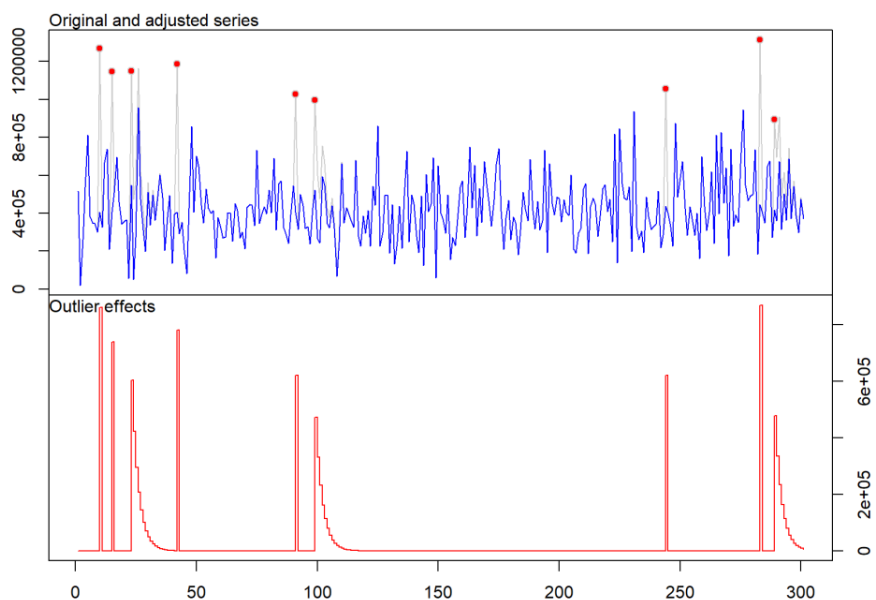
**Gráfico 100: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 146**  
Elaboración Propia

En la oficina 146 se aprecia, conforme al **Gráfico 100**, que existen diez valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 17, 102, 108, 133, 151, 189, 200, 219, 235 y 264.



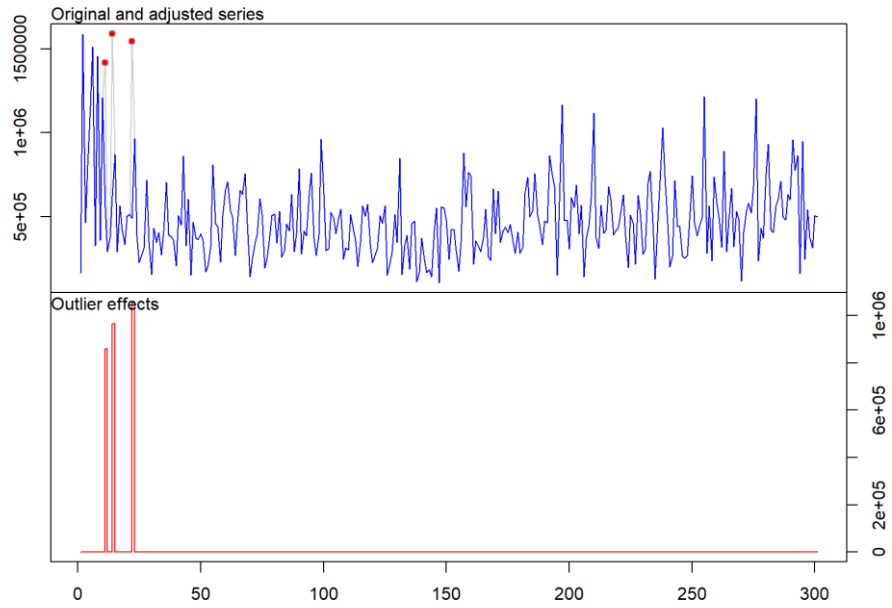
**Gráfico 101: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 149**  
Elaboración Propia

En la oficina 149 se aprecia, conforme al **Gráfico 101**, que existen doce valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 12, 40, 113, 126, 132, 161, 174, 189, 242, 280, 294 y 299.



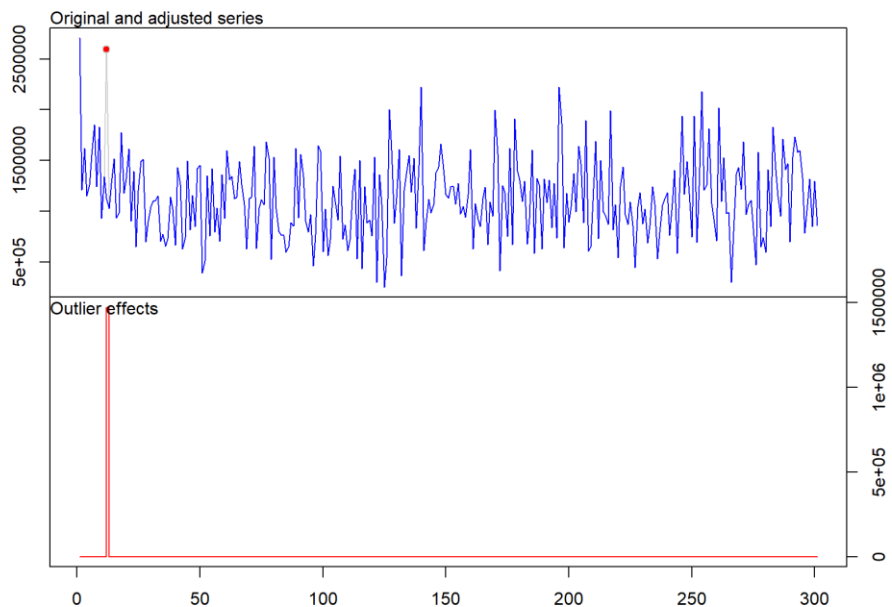
**Gráfico 102: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 156**  
Elaboración Propia

En la oficina 156 se aprecia, conforme al **Gráfico 102**, que existen seis valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 10, 15, 42, 91, 244 y 283.



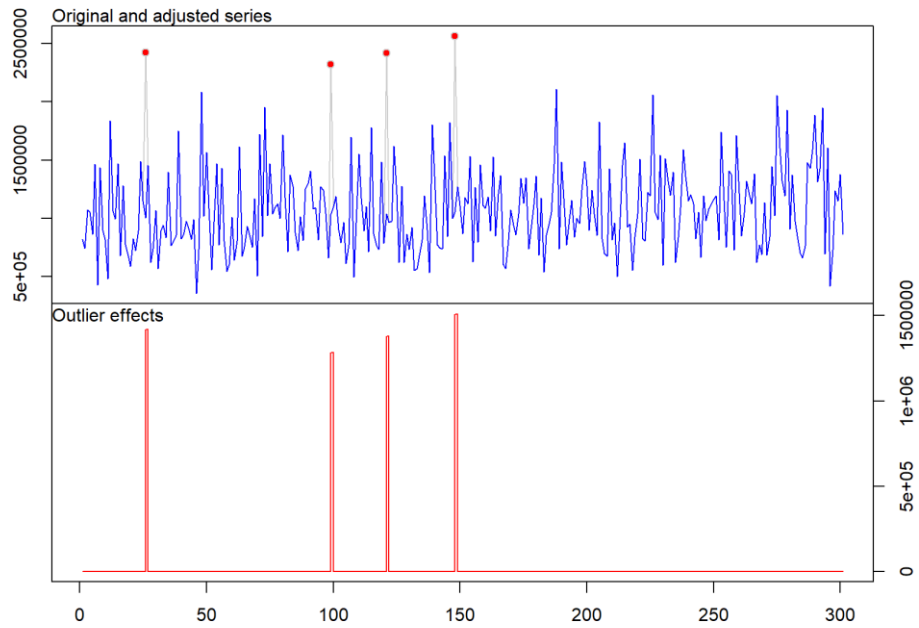
**Gráfico 103: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 163**  
Elaboración Propia

En la oficina 163 se aprecia, conforme al **Gráfico 103**, que existen tres valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 11, 14 y 22.



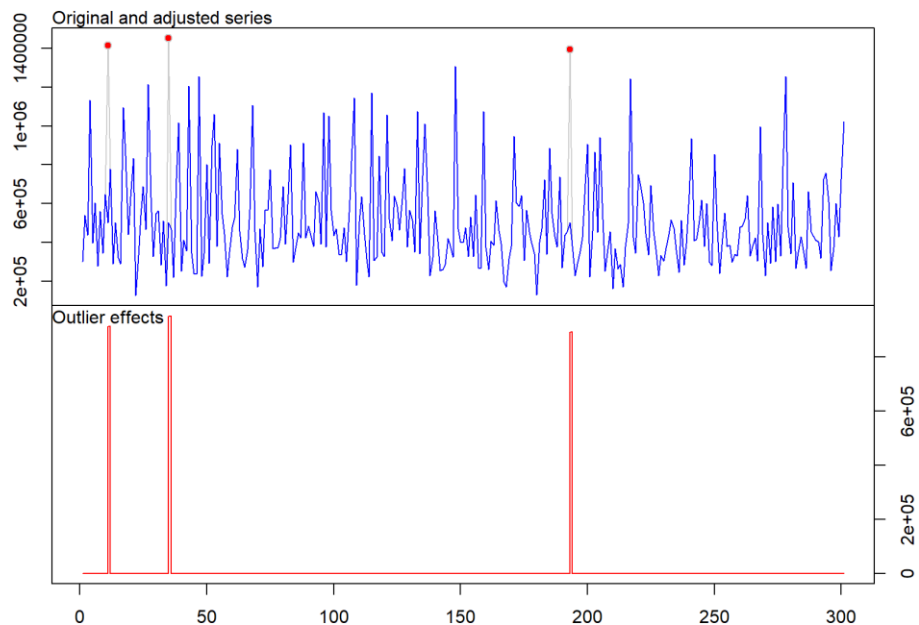
**Gráfico 104: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 174**  
Elaboración Propia

En la oficina 174 se aprecia, conforme al **Gráfico 104**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 12.



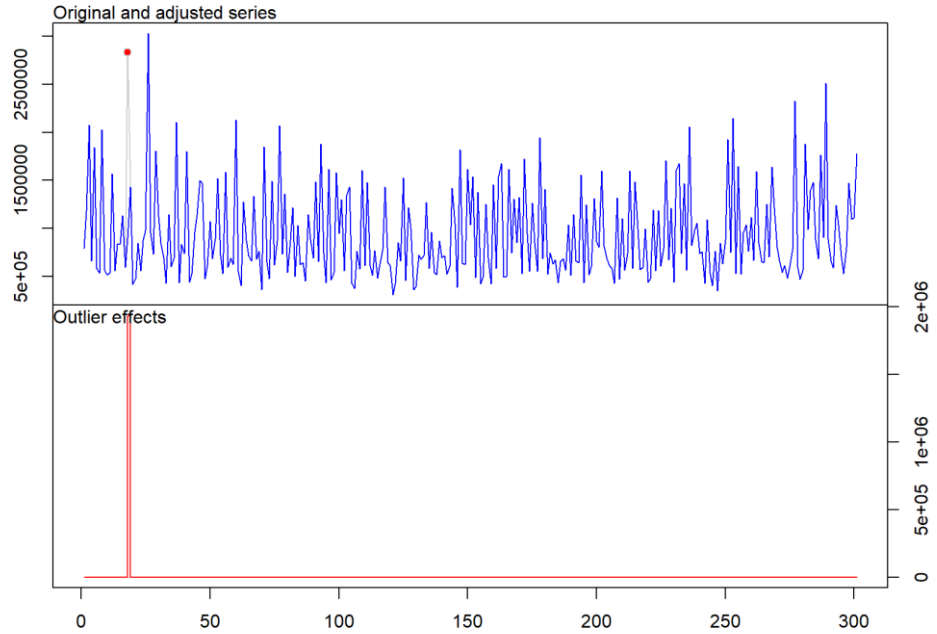
**Gráfico 105: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 183**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 183 se aprecia, conforme al **Gráfico 105**, que existen cuatro valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 26, 99, 121 y 148.



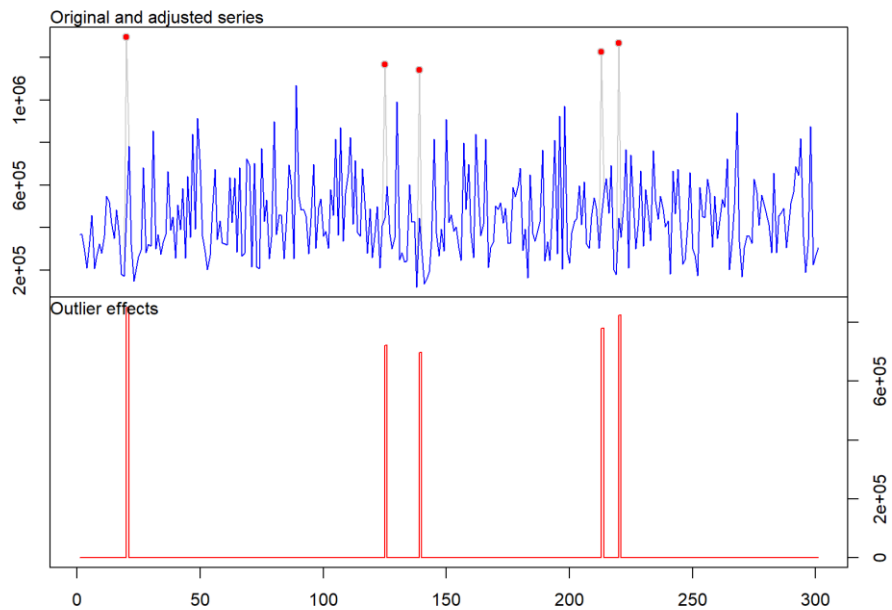
**Gráfico 106: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 197**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 197 se aprecia, conforme al **Gráfico 106**, que existen tres valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 11, 35 y 193.



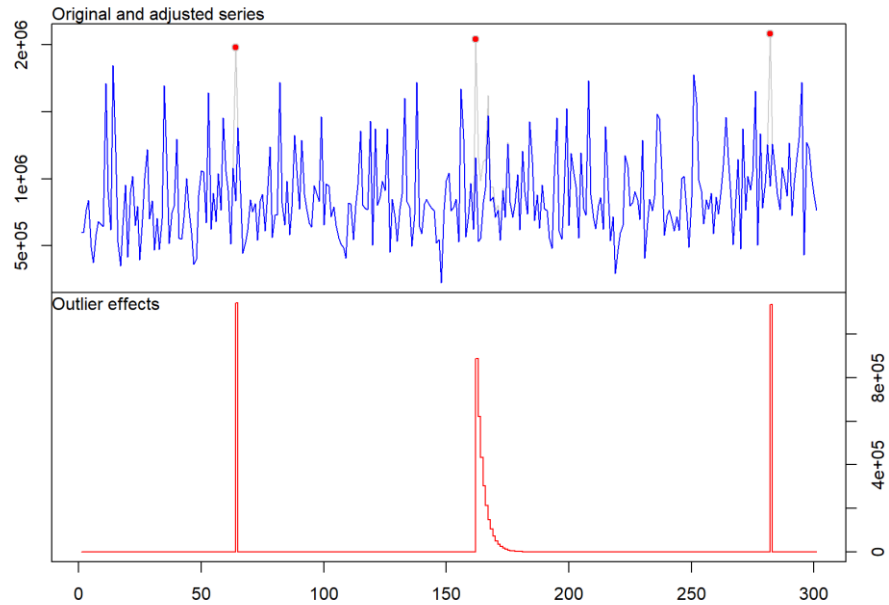
**Gráfico 107: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 234**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 234 se aprecia, conforme al **Gráfico 107**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 18.



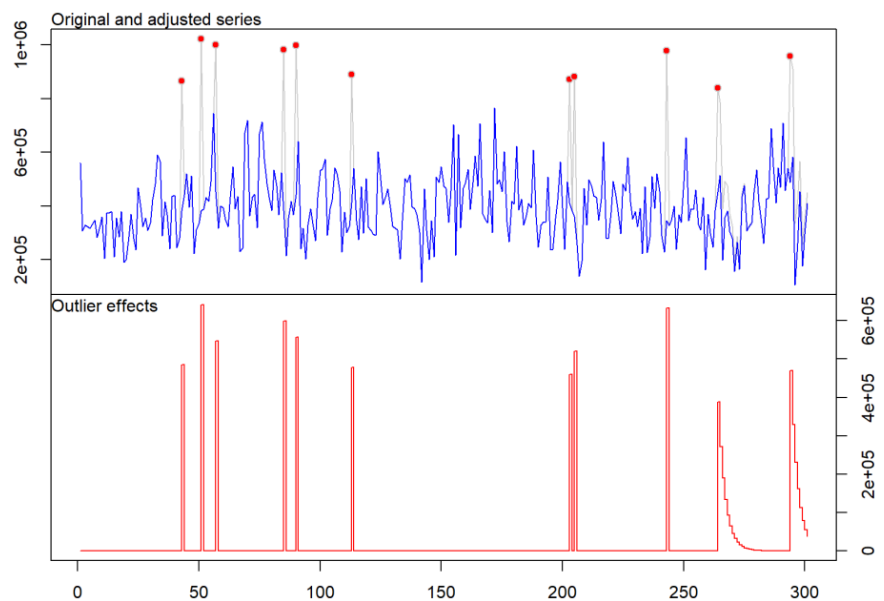
**Gráfico 108: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 242**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 242 se aprecia, conforme al **Gráfico 108**, que existen cinco valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 20, 125, 139, 213 y 220.



**Gráfico 109: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 253**  
Elaboración Propia

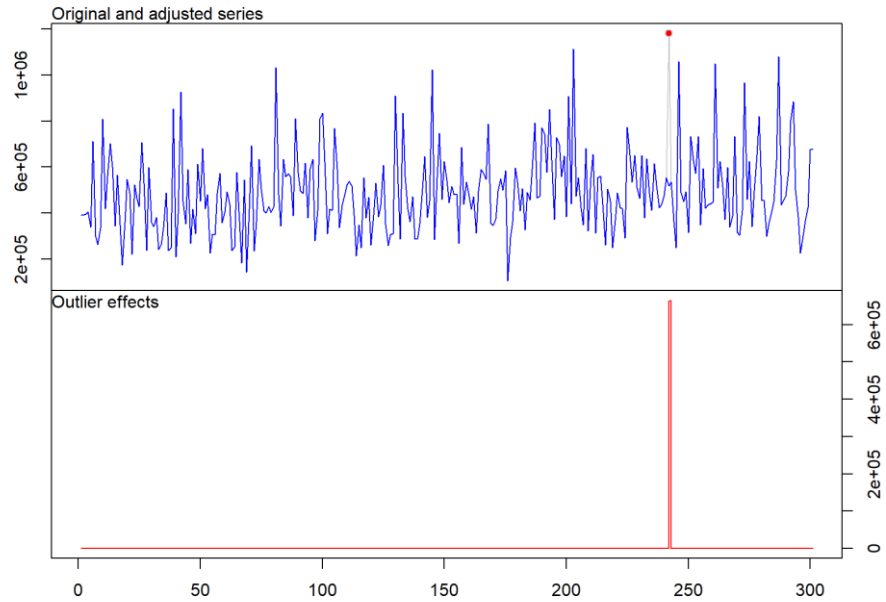
En la oficina 253 se aprecia, conforme al **Gráfico 109**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 64 y 282.



**Gráfico 110: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 256**  
Elaboración Propia

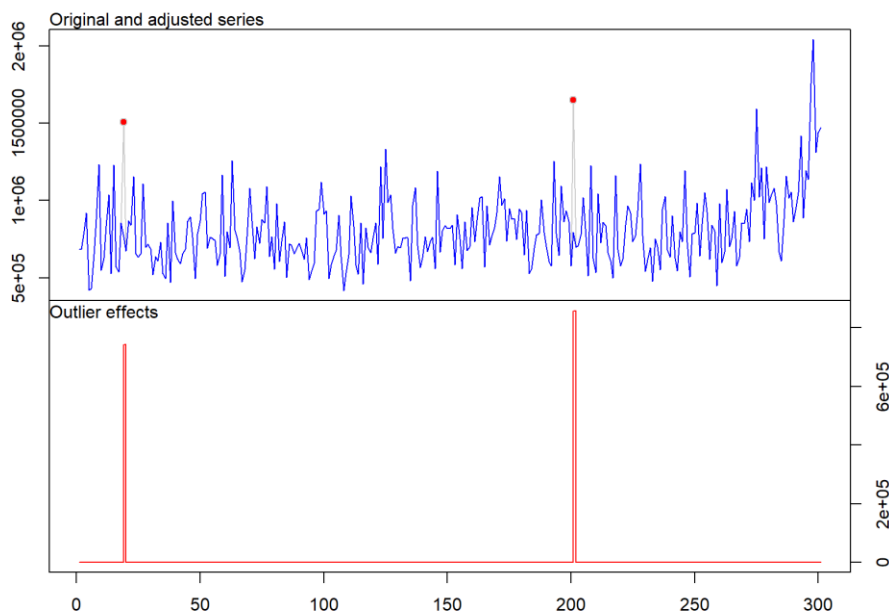


En la oficina 253 se aprecia, conforme al **Gráfico 109**, que existen nueve valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 43, 51, 57, 85, 90, 113, 203, 205 y 243.



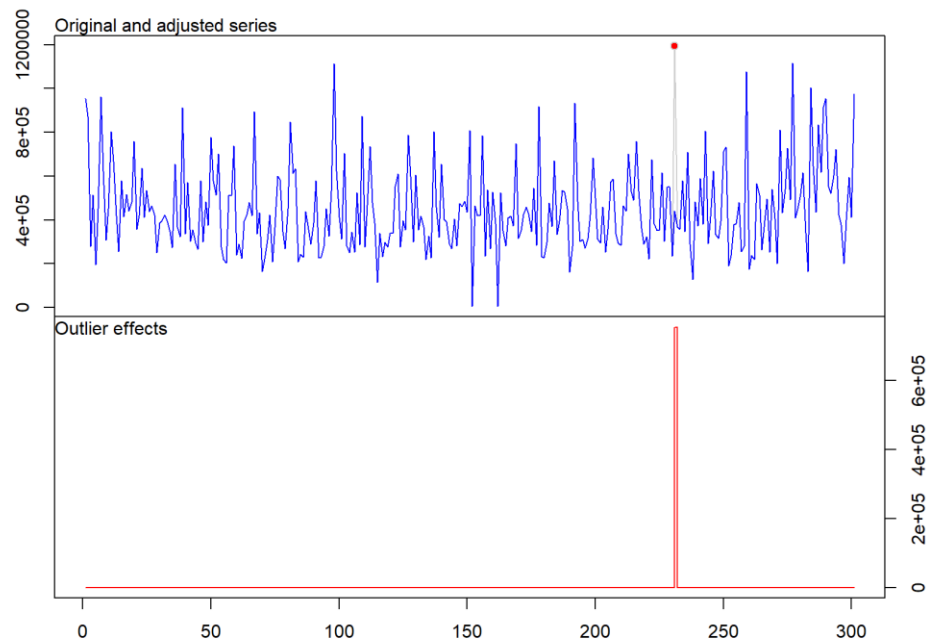
**Gráfico 111: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 257**  
Elaboración Propia

En la oficina 257 se aprecia, conforme al **Gráfico 111**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 242.



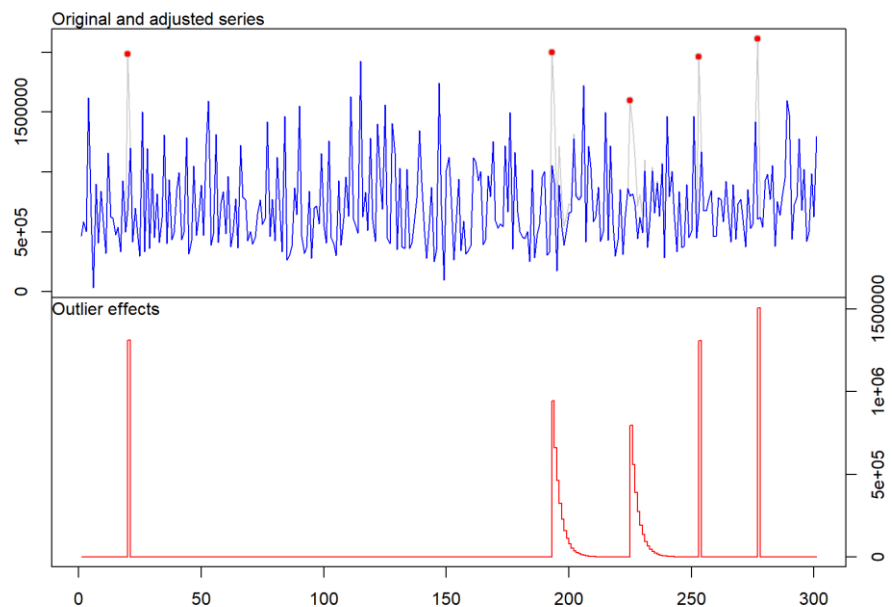
**Gráfico 112: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 259**  
Elaboración Propia

En la oficina 259 se aprecia, conforme al **Gráfico 112**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 19 y 201.



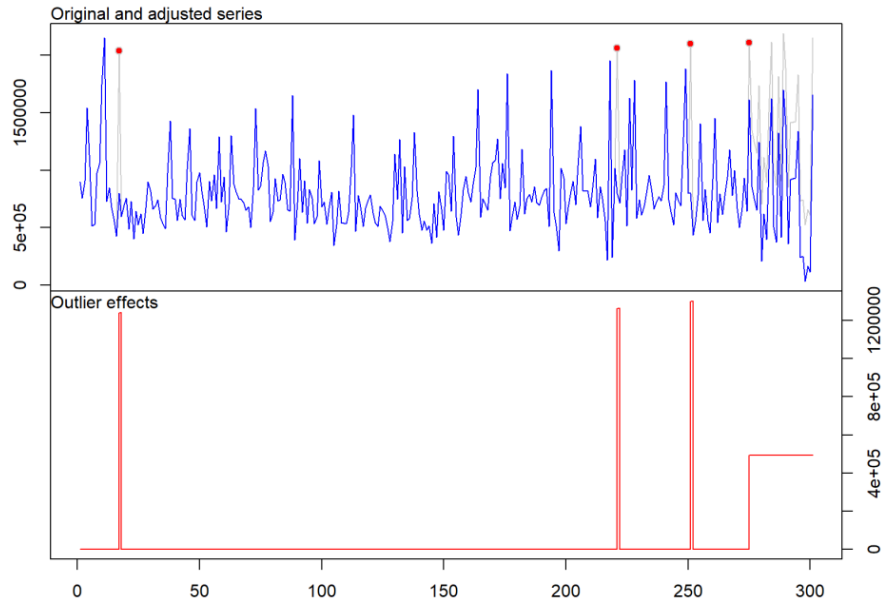
**Gráfico 113: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 282**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 282 se aprecia, conforme al **Gráfico 113**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 231.



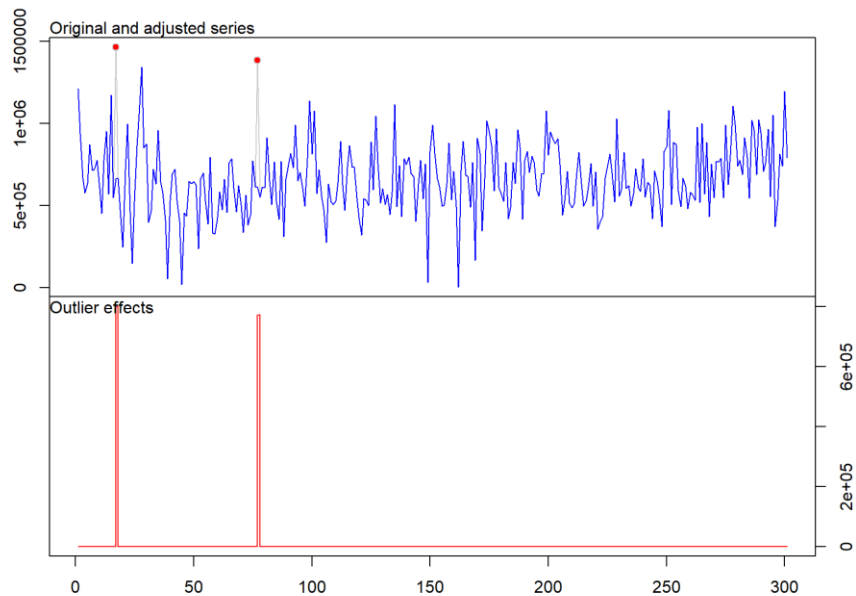
**Gráfico 114: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 312**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 312 se aprecia, conforme al **Gráfico 114**, que existen tres valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 20, 253 y 312.



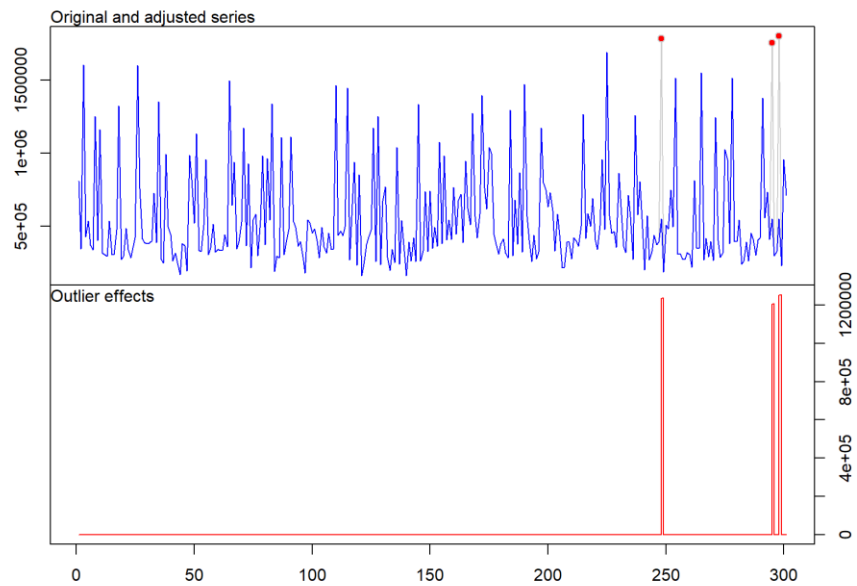
**Gráfico 115: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 316**  
Elaboración Propia

En la oficina 316 se aprecia, conforme al **Gráfico 115**, que existen tres valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 17, 221 y 251.



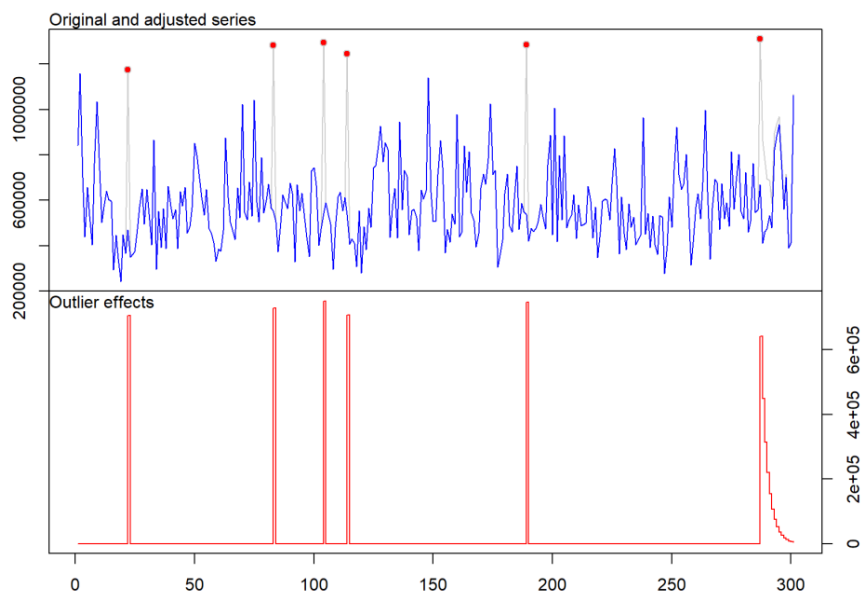
**Gráfico 116: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 317**  
Elaboración Propia

En la oficina 317 se aprecia, conforme al **Gráfico 116**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 17 y 77.



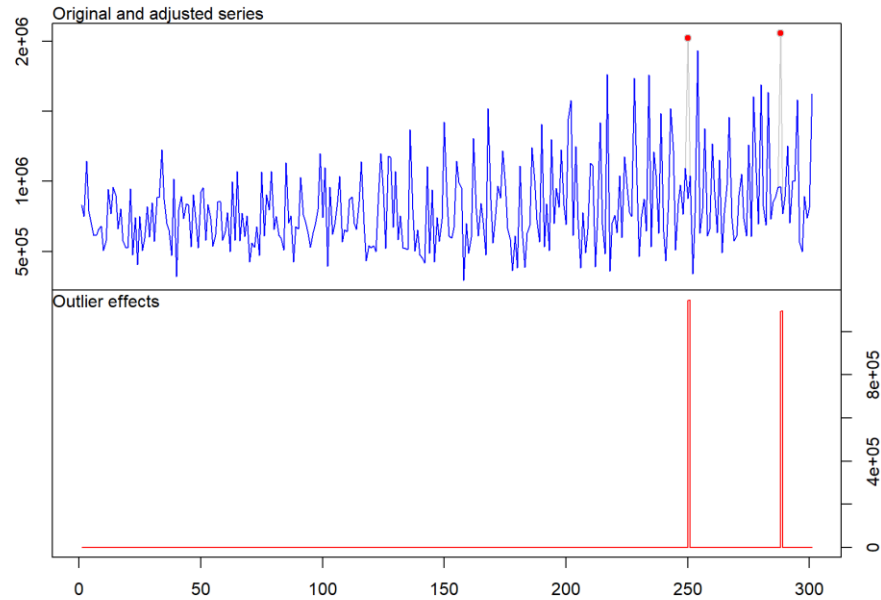
**Gráfico 117: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 322**  
Elaboración Propia

En la oficina 322 se aprecia, conforme al **Gráfico 117**, que existen tres valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 248, 295 y 298.



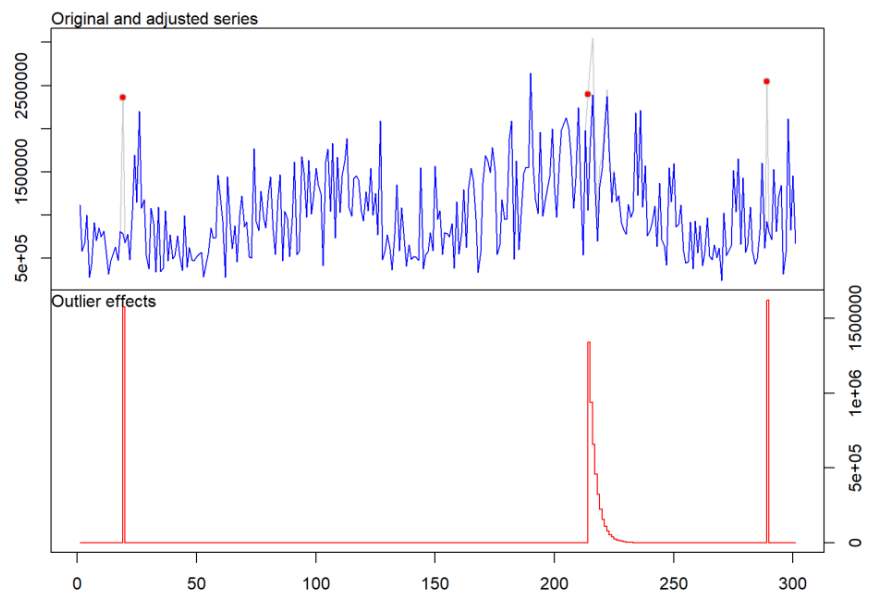
**Gráfico 118: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 339**  
Elaboración Propia

En la oficina 339 se aprecia, conforme al **Gráfico 118**, que existen cinco valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 22, 83, 104, 114 y 189.



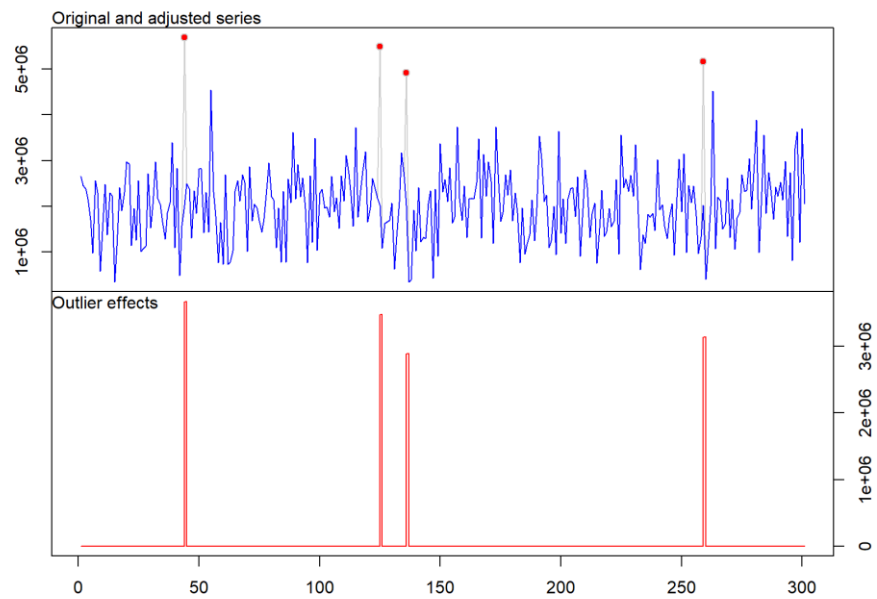
**Gráfico 119: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 341**  
Elaboración Propia

En la oficina 341 se aprecia, conforme al **Gráfico 119**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 250 y 288.



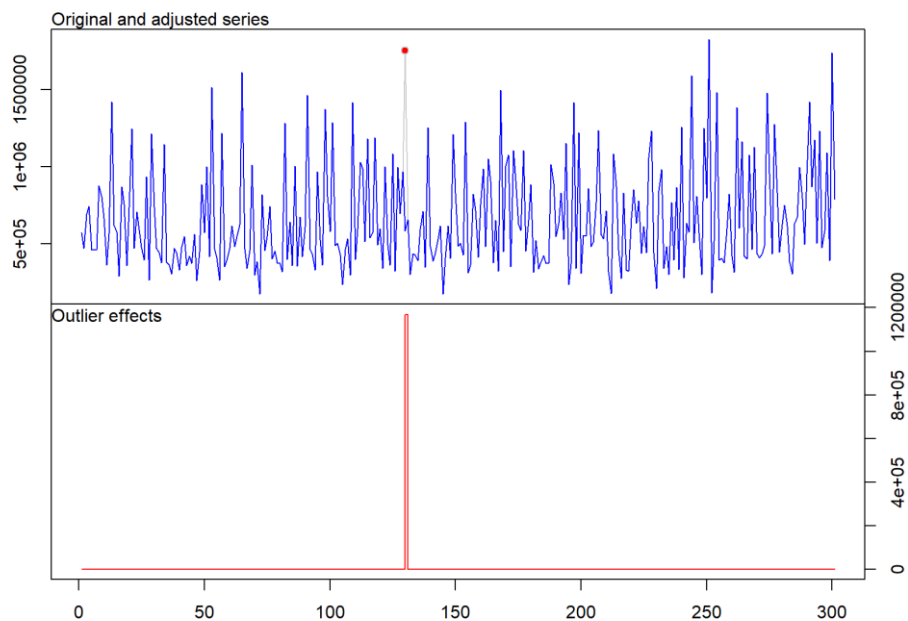
**Gráfico 120: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 342**  
Elaboración Propia

En la oficina 342 se aprecia, conforme al **Gráfico 120**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 19 y 289.



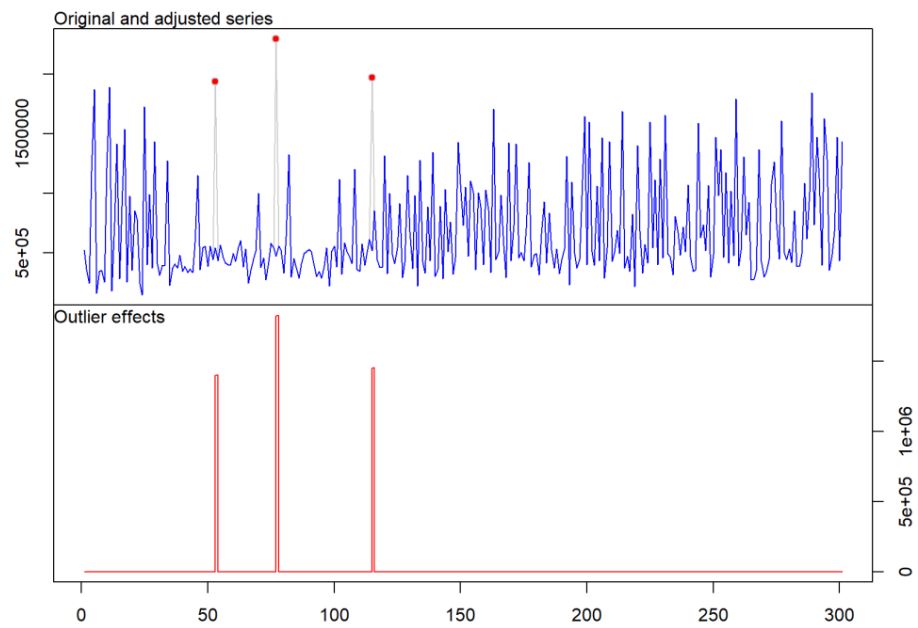
**Gráfico 121: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 360**  
Elaboración Propia

En la oficina 360 se aprecia, conforme al **Gráfico 121**, que existen cuatro valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 44, 125, 136 y 259.



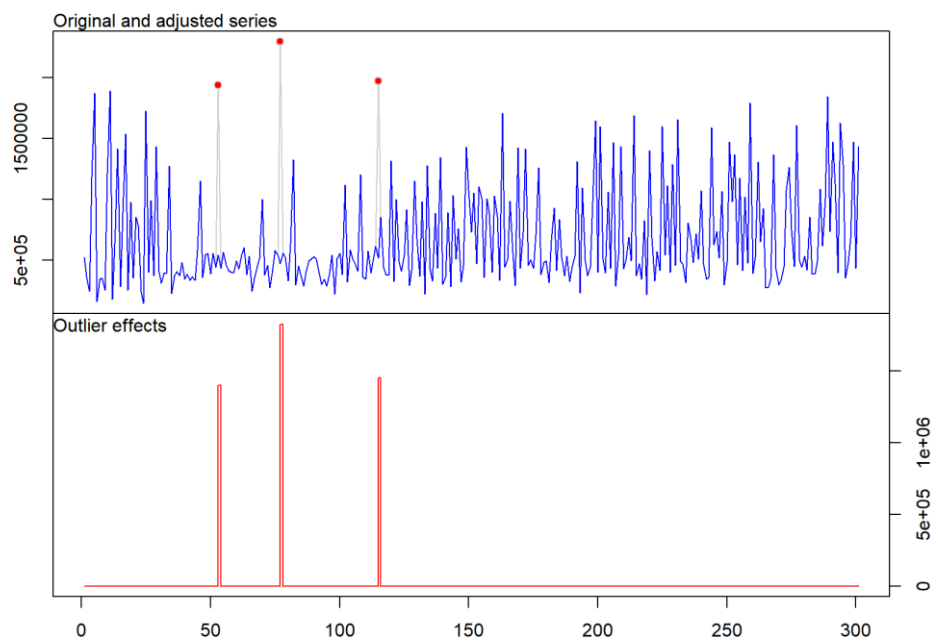
**Gráfico 122: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 396**  
Elaboración Propia

En la oficina 396 se aprecia, conforme al **Gráfico 122**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 130.



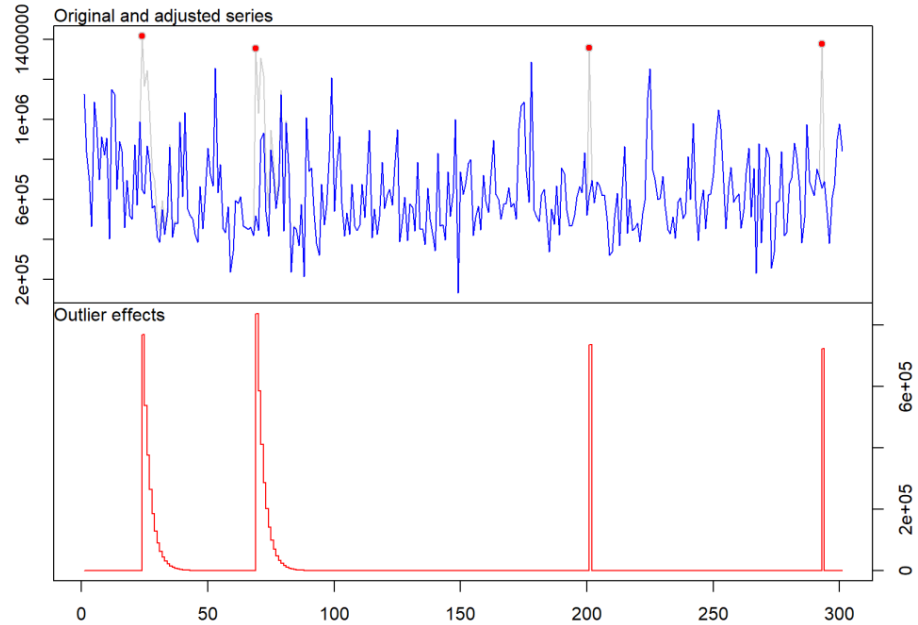
**Gráfico 123: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 396**  
Elaboración Propia

En la oficina 396 se aprecia, conforme al **Gráfico 122**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 130.



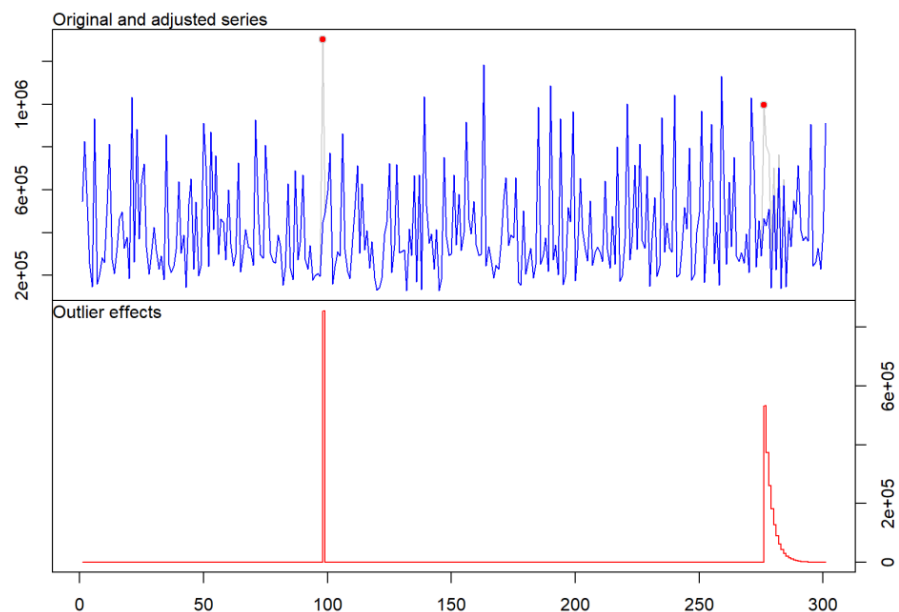
**Gráfico 124: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 484**  
Elaboración Propia

En la oficina 484 se aprecia, conforme al **Gráfico 124**, que existen tres valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 53, 77 y 115.



**Gráfico 125: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 508**  
Elaboración Propia

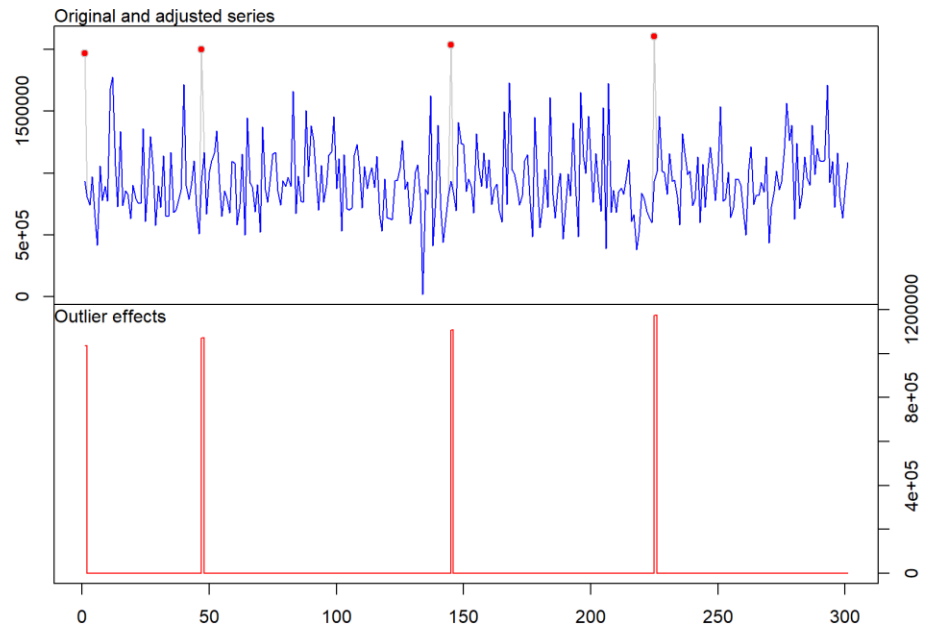
En la oficina 508 se aprecia, conforme al **Gráfico 125**, que existen dos valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 201 y 293.



**Gráfico 126: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 659**  
Elaboración Propia

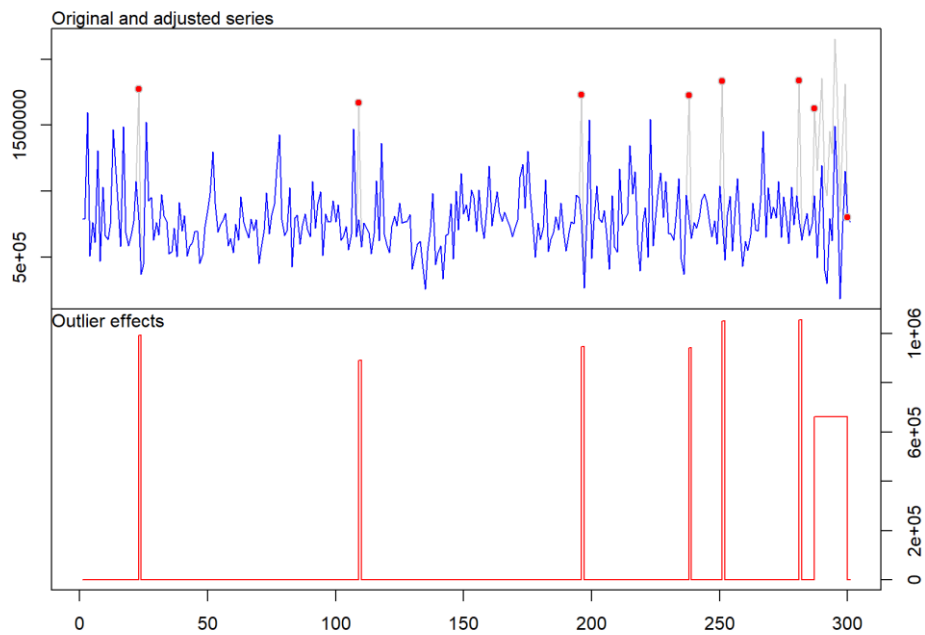


En la oficina 659 se aprecia, conforme al **Gráfico 126**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 98.



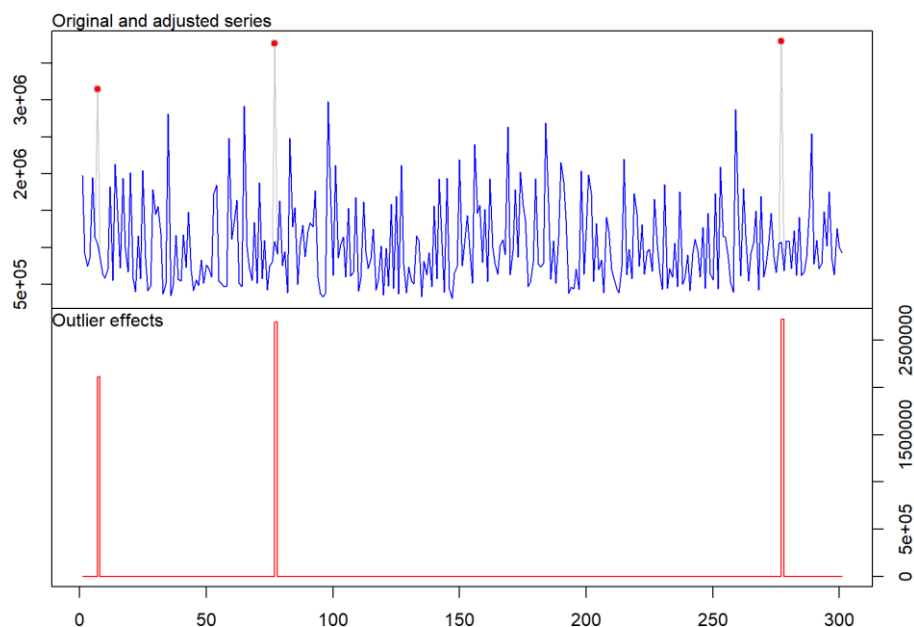
**Gráfico 127: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 712**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 712 se aprecia, conforme al **Gráfico 127**, que existen cuatro valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 1, 47, 145 y 225.



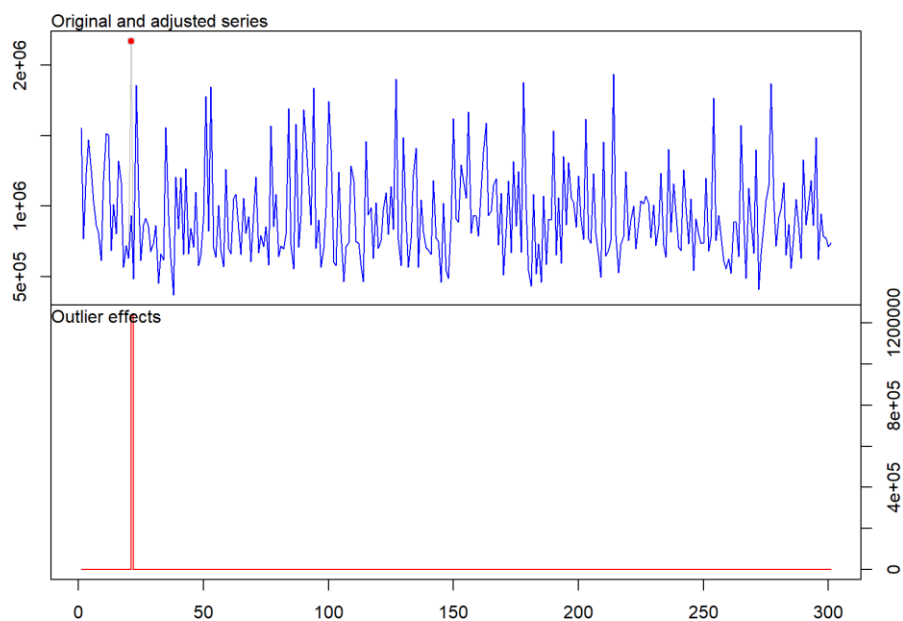
**Gráfico 128: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 750**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 750 se aprecia, conforme al **Gráfico 128**, que existen seis valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 23, 109, 196, 238, 251 y 281.



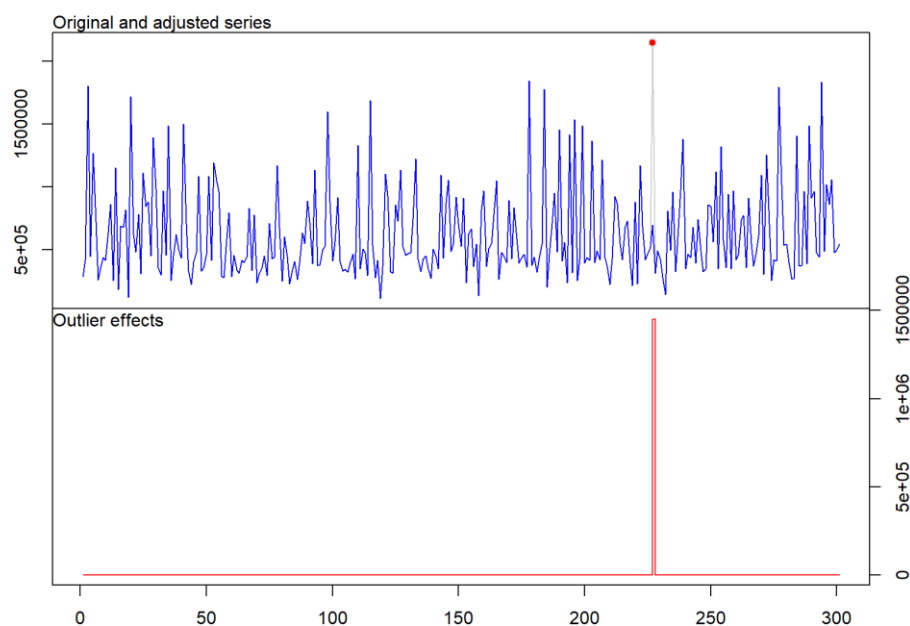
**Gráfico 129: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 752**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 752 se aprecia, conforme al **Gráfico 129**, que existen tres valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 7, 77 y 277.



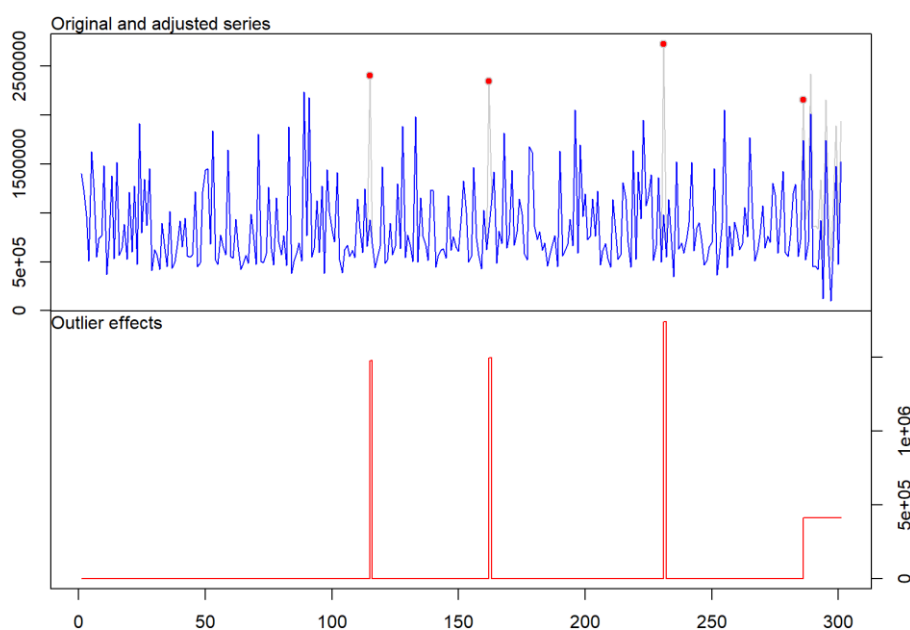
**Gráfico 130: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 832**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 832 se aprecia, conforme al **Gráfico 130**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 21.



**Gráfico 131: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 857**  
Elaboración Propia

En la oficina 857 se aprecia, conforme al **Gráfico 131**, que existe un valor atípico de tipo aditivo que se presenta en el periodo 227.



**Gráfico 132: Valores Atípicos AO Retiros Ventanilla Oficina 970**  
Elaboración Propia

En la oficina 970 se aprecia, conforme al **Gráfico 132**, que existen tres valores atípicos de tipo aditivo que se presentan en el periodo 115, 162 y 231.

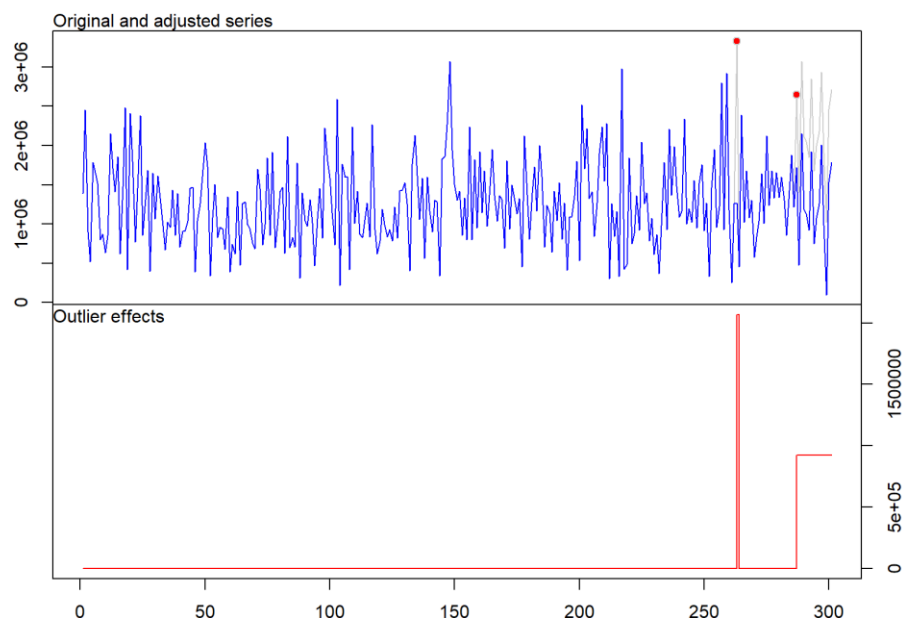
### 6.2.2. Outliers de Cambio de Nivel (LS)

Son valores que tienen un efecto permanente (cambio abrupto en el nivel medio) y afectan a una serie de datos desplazándolos a un nuevo nivel. Este tipo de outliers se puede modelar en términos de una función escalonada con la magnitud igual al parámetro omega.

En este caso, se puede utilizar una variable ficticia para tener en cuenta los valores atípicos de cambio de nivel en los datos. En lugar de omitir el valor atípico, una variable ficticia elimina su efecto. Es así, que, ante la presencia de un valor atípico, la variable ficticia toma el valor 1 para las observaciones antes de que ocurran los valores atípicos y 0 para otras observaciones.

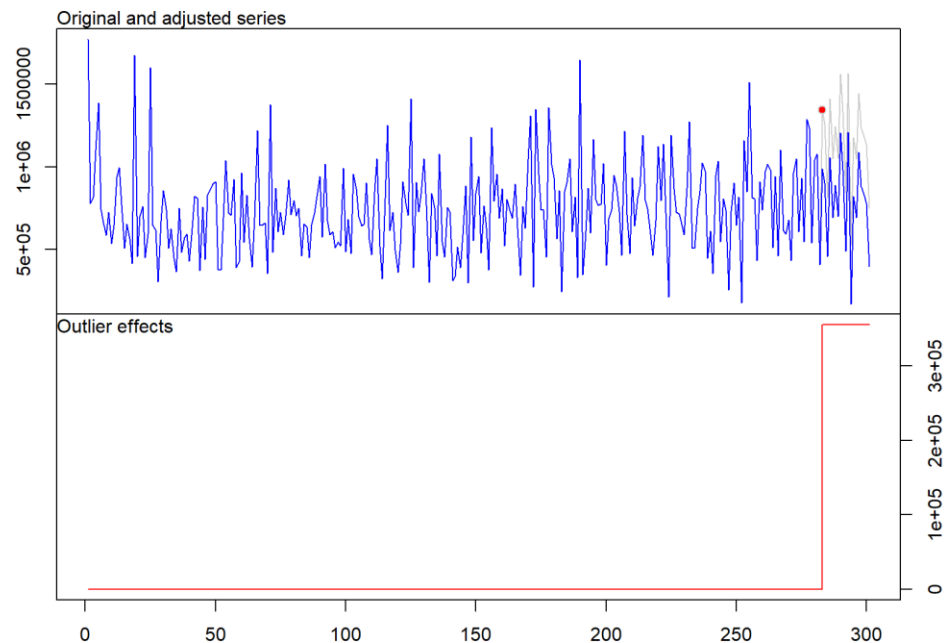
#### 6.2.2.1. Depósitos en Ventanilla

Respecto al análisis de outliers en la variable depósitos en ventanilla, se cuenta con 2 oficinas que presentan al menos un valor atípico de tipo cambio de nivel. Es así que, a continuación, se presentará el análisis individual por oficina respectivo.



**Gráfico 133: Valores Atípicos LS Depósitos Ventanilla Oficina 130**  
Elaboración Propia

En la oficina 130 se aprecia, conforme al **Gráfico 133**, que existe un valor atípico de tipo cambio de nivel que se presenta en el periodo 287.



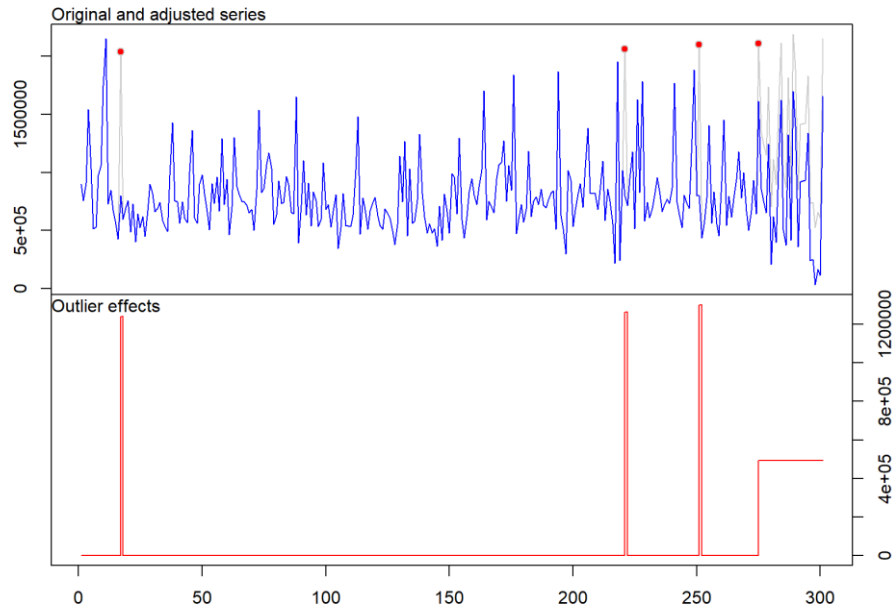
**Gráfico 134: Valores Atípicos LS Depósitos Ventanilla Oficina 242**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 242 se aprecia, conforme al **Gráfico 134**, que existe un valor atípico de tipo cambio de nivel que se presenta en el periodo 283.

Finalmente, en las demás oficinas no se aprecia que hubiese valores atípicos de tipo cambio de nivel respecto a los depósitos de efectivo en ventanilla.

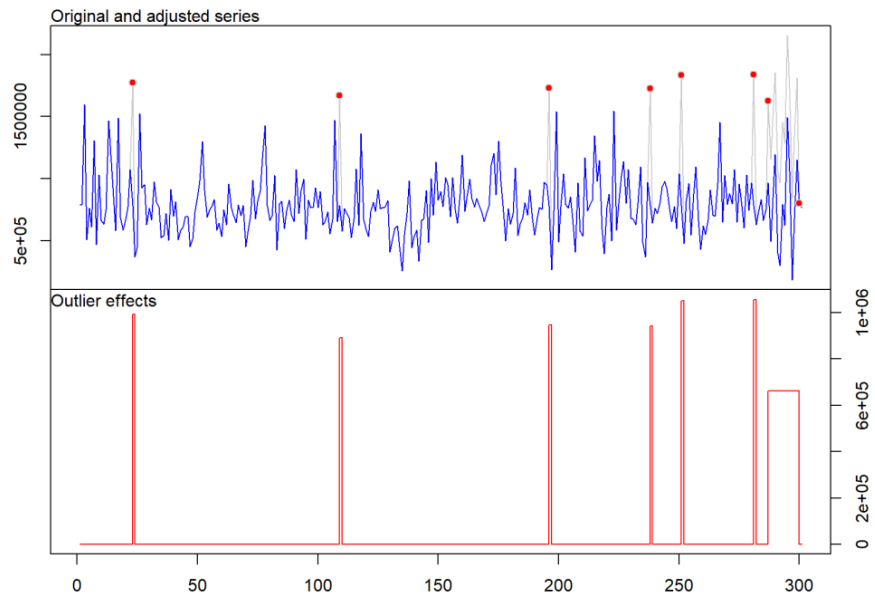
#### **6.2.2.2. Retiros en Ventanilla**

Respecto al análisis de outliers en la variable retiros en ventanilla, se cuenta con 3 oficinas que presentan al menos un valor atípico de tipo cambio de nivel. Es así que, a continuación, se presentará el análisis individual por oficina respectivo.



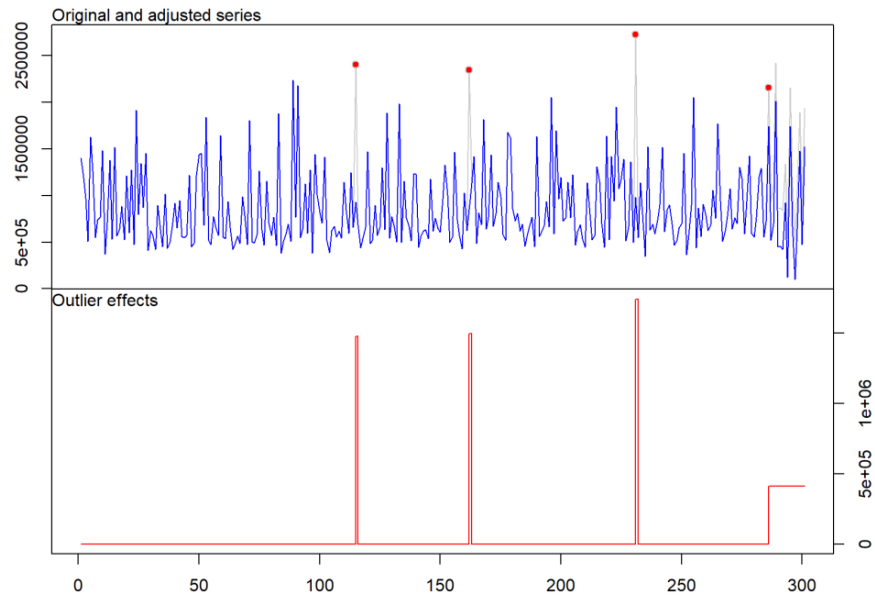
**Gráfico 135: Valores Atípicos LS Retiros Ventanilla Oficina 316**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 316 se aprecia, conforme al **Gráfico 135**, que existe un valor atípico de tipo cambio de nivel que se presenta en el periodo 275.



**Gráfico 136: Valores Atípicos LS Retiros Ventanilla Oficina 750**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 750 se aprecia, conforme al **Gráfico 136**, que existen dos valores atípicos de tipo cambio de nivel que se presentan en el periodo 287 y 300.



**Gráfico 137: Valores Atípicos LS Retiros Ventanilla Oficina 970**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 970 se aprecia, conforme al **Gráfico 137**, que existe un valor atípico de tipo cambio de nivel que se presenta en el periodo 286.

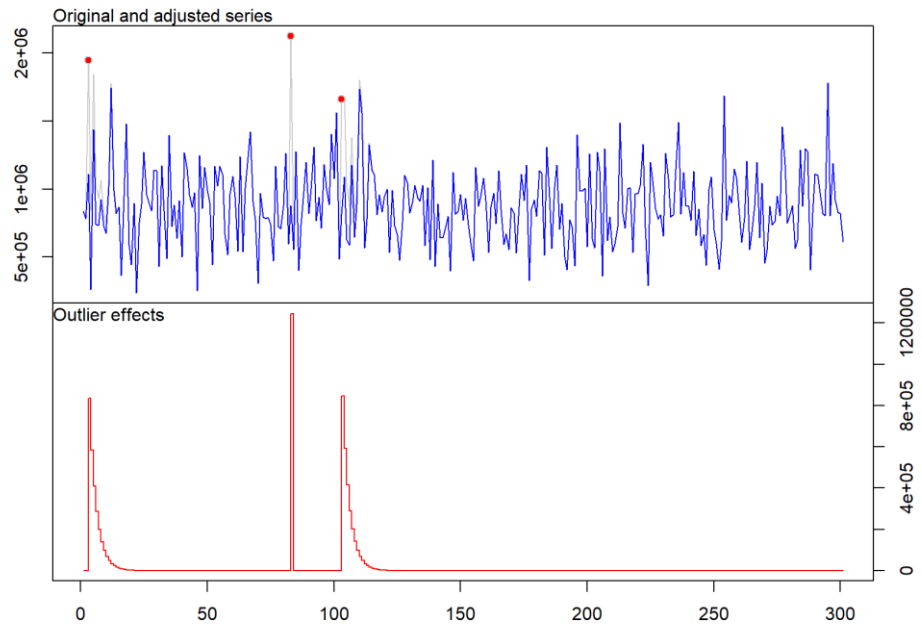
### 6.2.3. Outliers de Cambio Temporal (TC)

Este tipo de valores al ser aquellos que se producen para una única observación (shock).

En este caso, se produce un efecto inicial  $\omega$  en un periodo inicial, decayendo gradualmente este efecto en el tiempo, con un factor de amortiguación  $\delta$ .

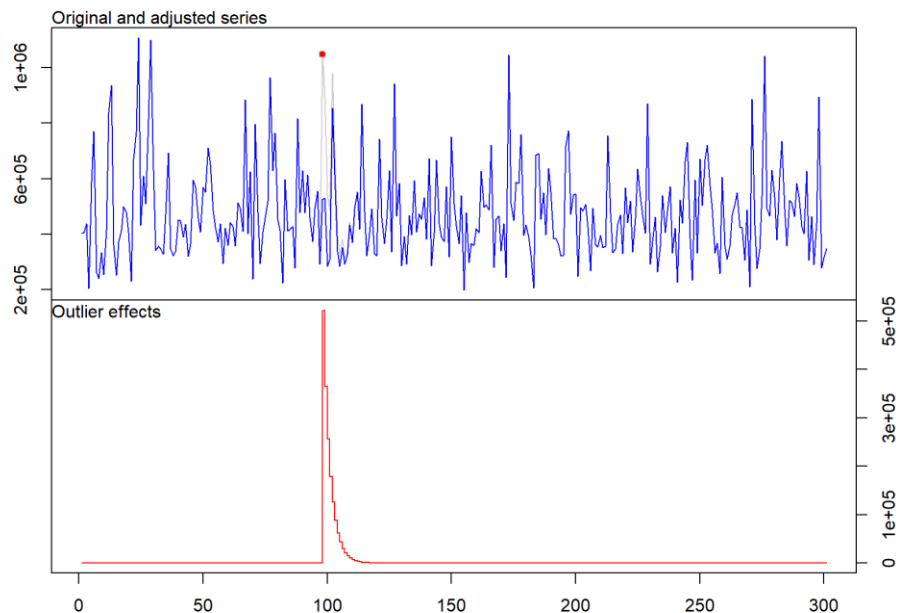
#### 6.2.3.1. Depósitos en Ventanilla

Respecto al análisis de outliers en la variable depósitos en ventanilla, se cuenta con 12 oficinas que presentan al menos un valor atípico de tipo cambio temporal. Es así que, a continuación, se presentará el análisis individual por oficina respectivo.



**Gráfico 138: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 115**  
Elaboración Propia

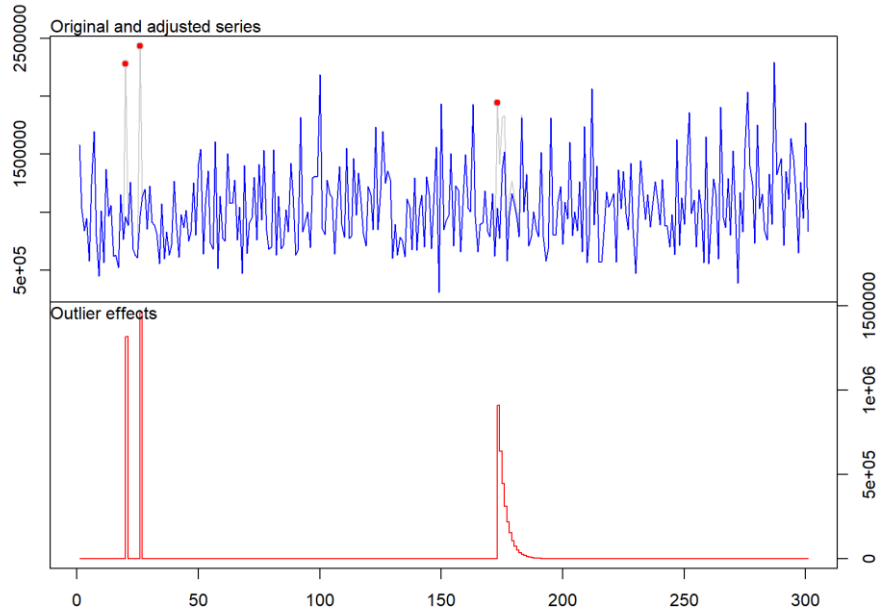
En la oficina 115 se aprecia, conforme al **Gráfico 138**, que existen dos valores atípicos de tipo cambio temporal que se presentan en el periodo 3 y 103.



**Gráfico 139: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 125**  
Elaboración Propia

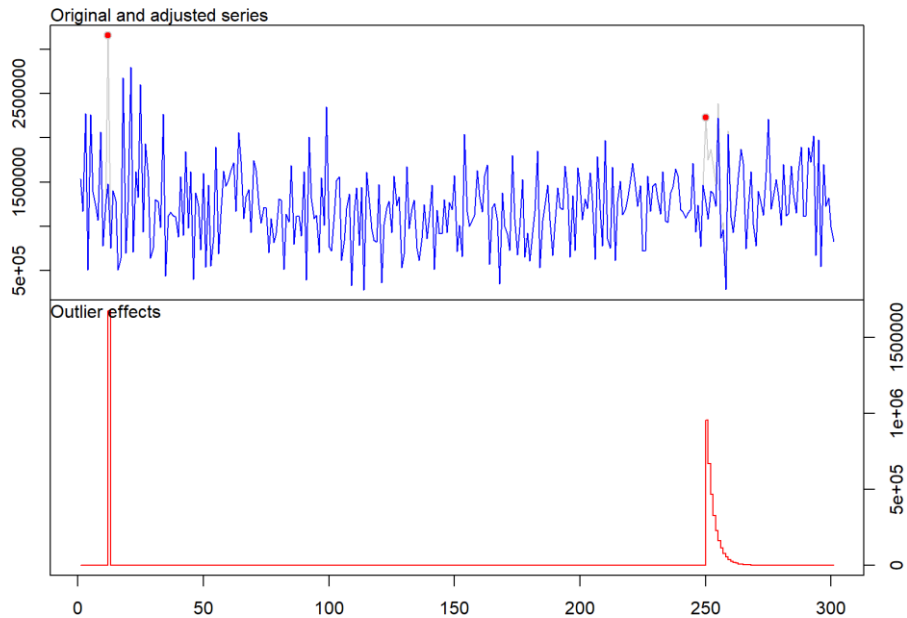
En la oficina 125 se aprecia, conforme al **Gráfico 139**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 98.





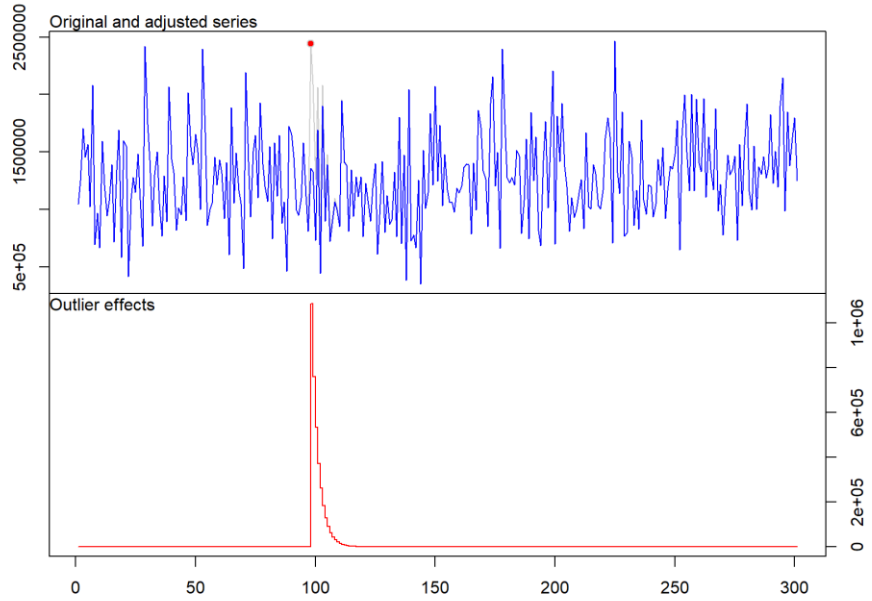
**Gráfico 140: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 127**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 127 se aprecia, conforme al **Gráfico 140**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 173.



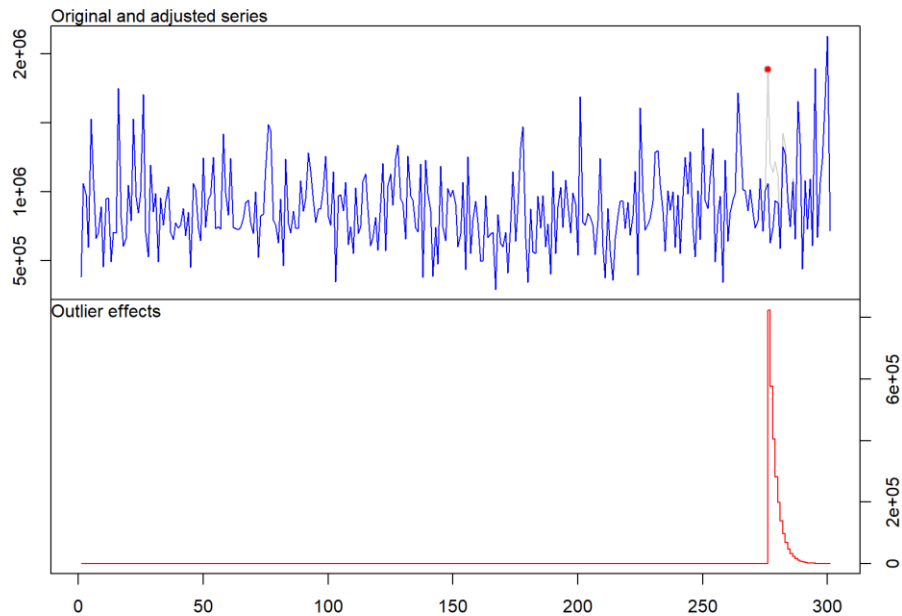
**Gráfico 141: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 163**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 163 se aprecia, conforme al **Gráfico 141**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 250.



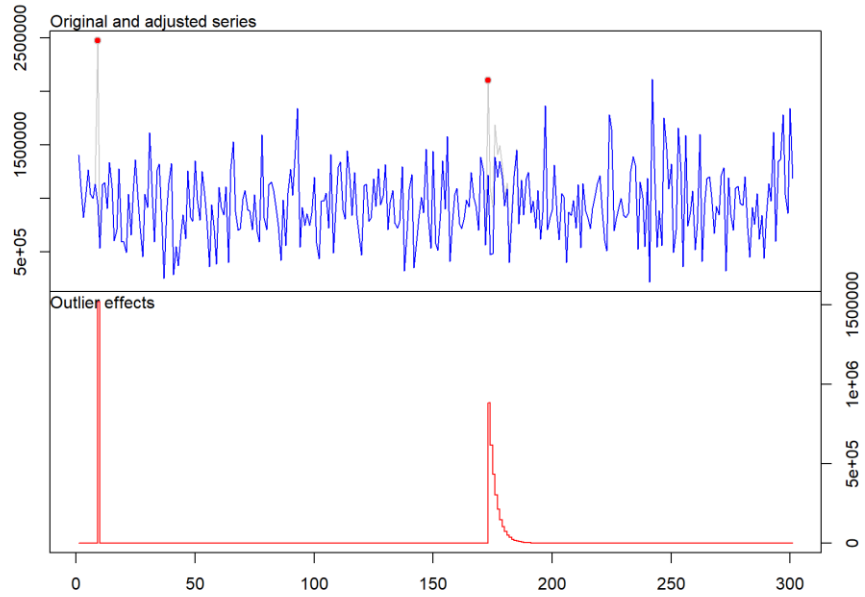
**Gráfico 142: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 186**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 186 se aprecia, conforme al **Gráfico 142**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 98.



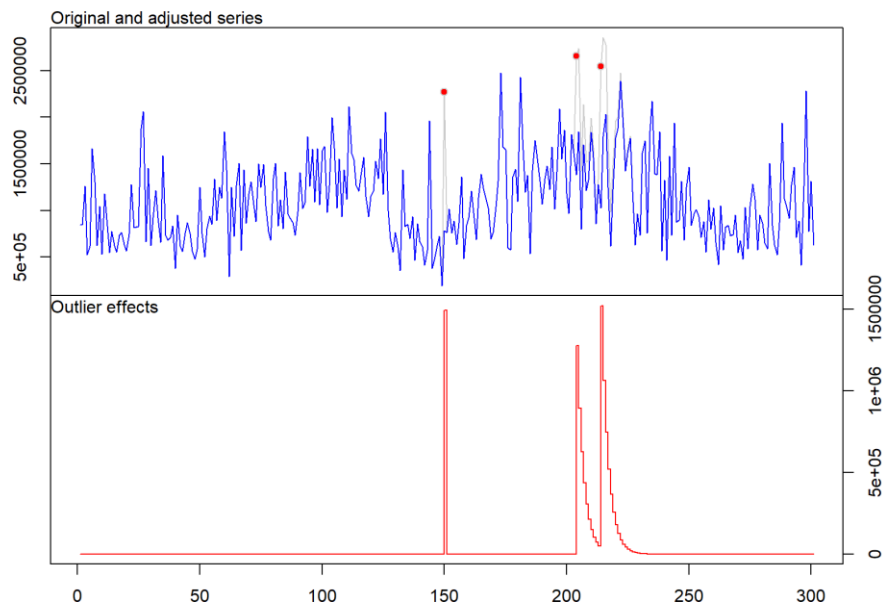
**Gráfico 143: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 197**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 197 se aprecia, conforme al **Gráfico 143**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 276.



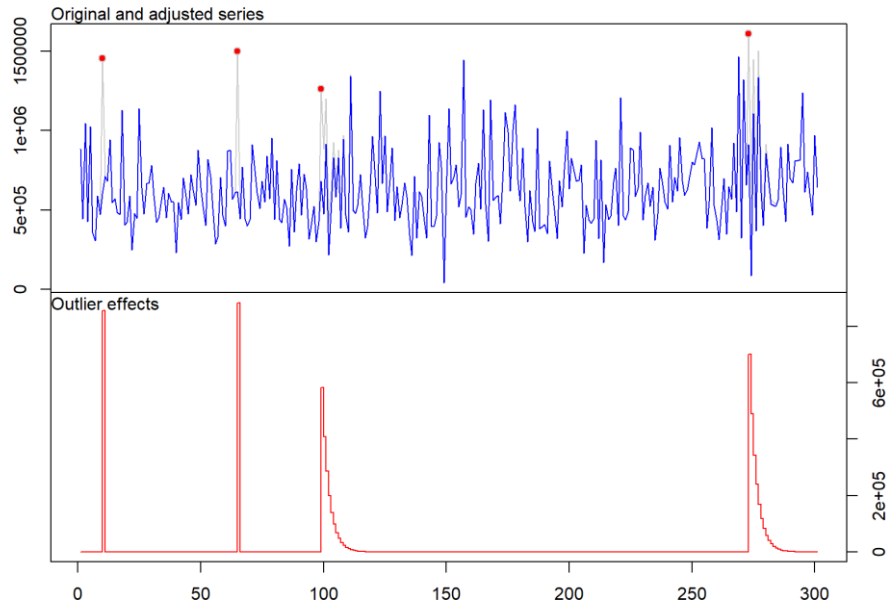
**Gráfico 144: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 322**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 322 se aprecia, conforme al **Gráfico 144**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 173.



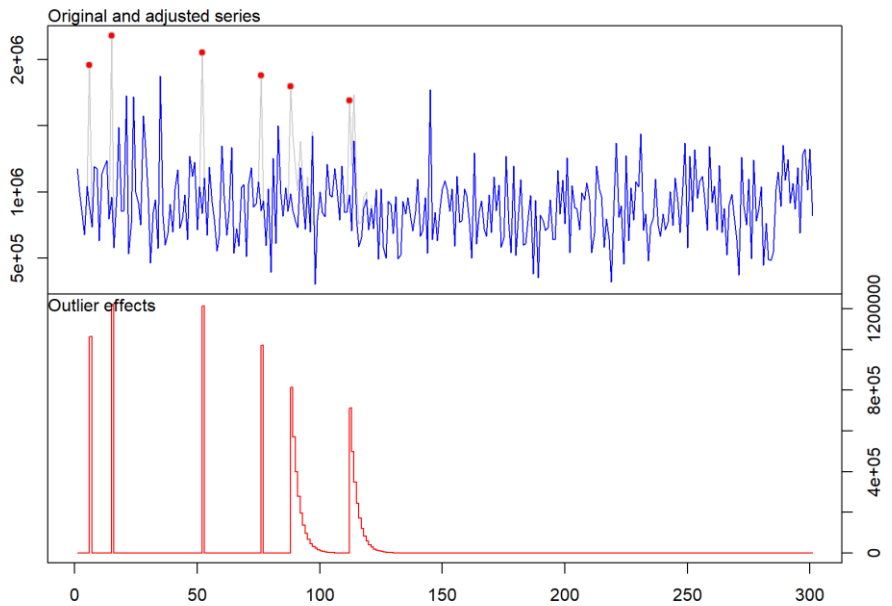
**Gráfico 145: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 342**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 342 se aprecia, conforme al **Gráfico 145**, que existen dos valores atípicos de tipo cambio temporal que se presentan en el periodo 204 y 214.



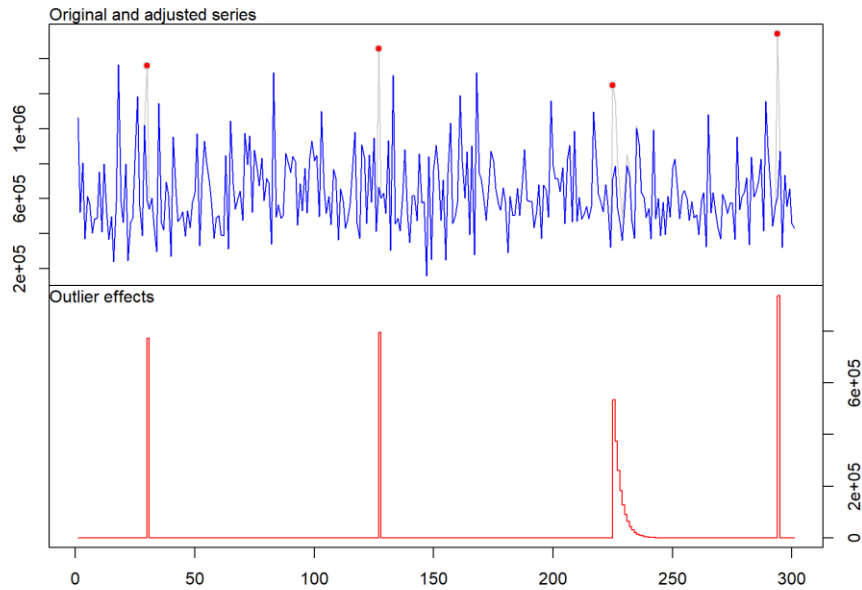
**Gráfico 146: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 480**  
Elaboración Propia

En la oficina 480 se aprecia, conforme al **Gráfico 146**, que existen dos valores atípicos de tipo cambio temporal que se presentan en el periodo 99 y 273.



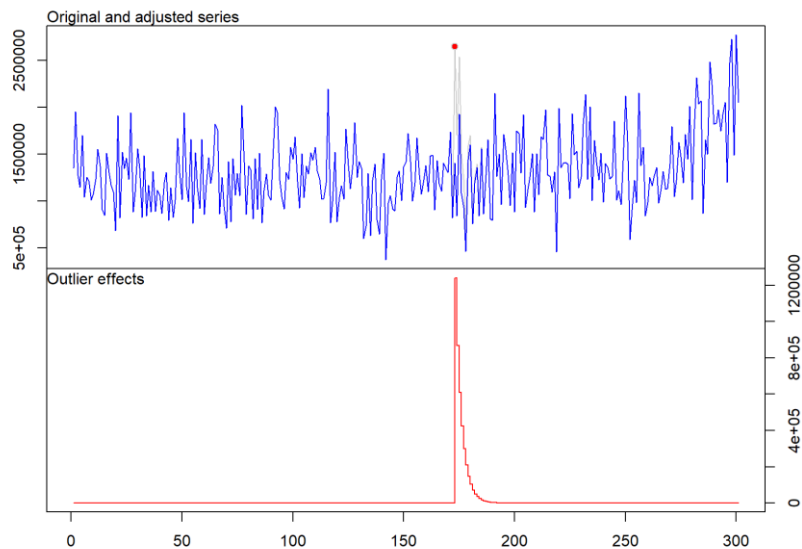
**Gráfico 147: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 484**  
Elaboración Propia

En la oficina 484 se aprecia, conforme al **Gráfico 147**, que existen dos valores atípicos de tipo cambio temporal que se presentan en el periodo 88 y 112.



**Gráfico 148: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 616**  
Elaboración Propia

En la oficina 616 se aprecia, conforme al **Gráfico 148**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 225.



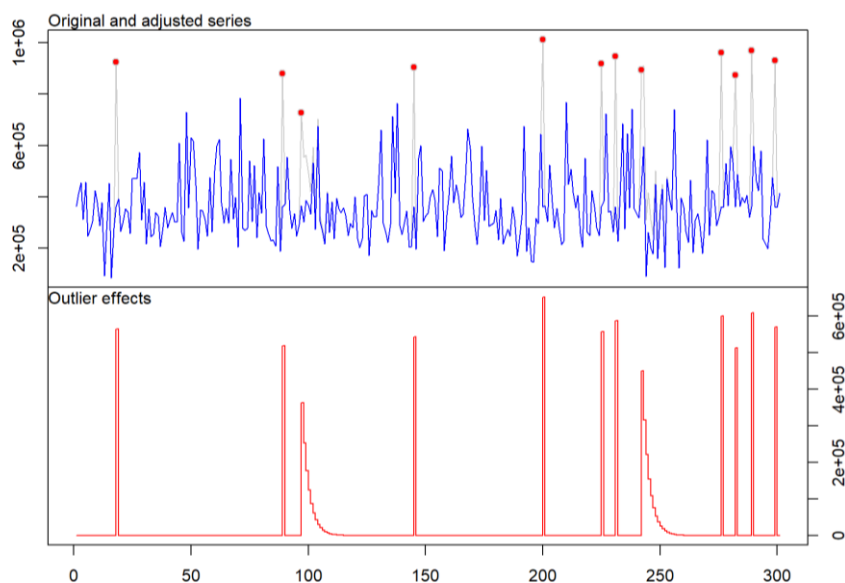
**Gráfico 149: Valores Atípicos TC Depósitos Ventanilla Oficina 750**  
Elaboración Propia

En la oficina 750 se aprecia, conforme al **Gráfico 149**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 173.

Finalmente, en las demás oficinas no se aprecia que hubiese valores atípicos de tipo cambio temporal respecto a los depósitos de efectivo en ventanilla.

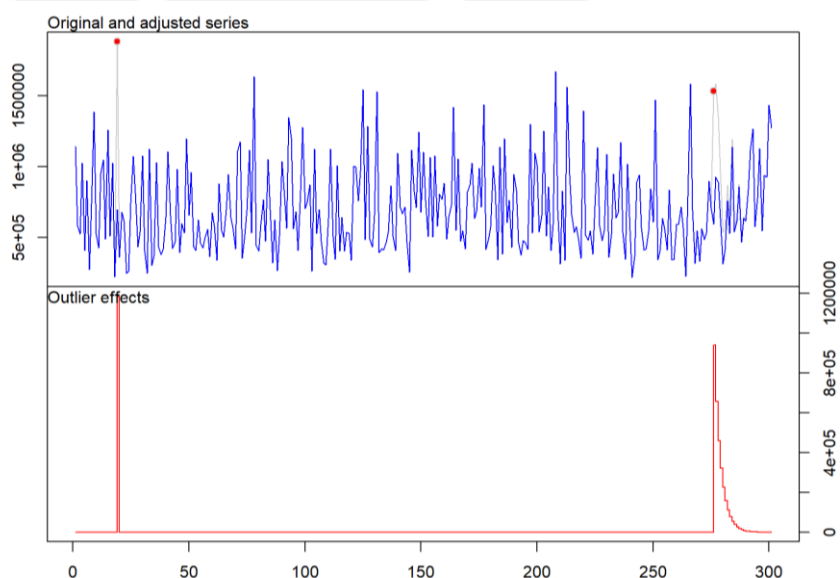
### 6.2.3.2. Retiros en Ventanilla

Respecto al análisis de outliers en la variable retiros en ventanilla, se cuenta con 15 oficinas que presentan al menos un valor atípico de tipo cambio temporal. Es así que, a continuación, se presentará el análisis individual por oficina respectivo.



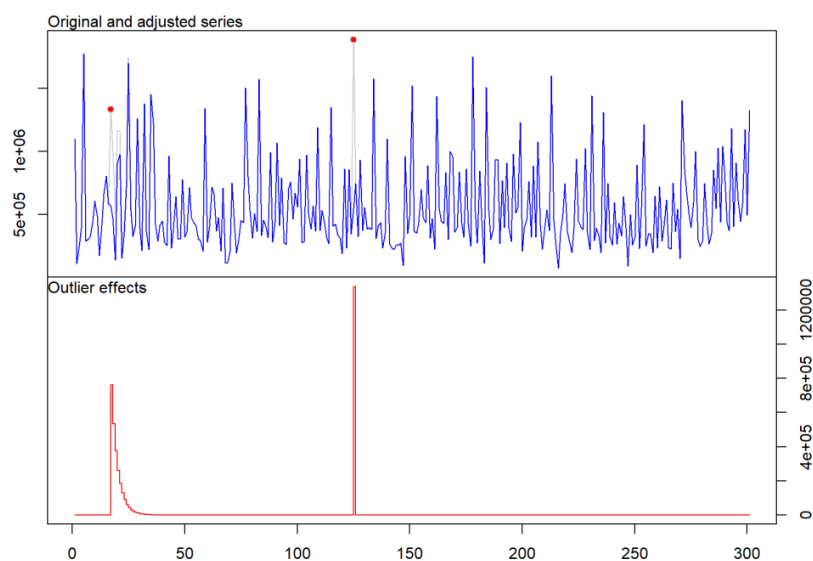
**Gráfico 150: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 113**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 113 se aprecia, conforme al **Gráfico 150**, que existen dos valores atípicos de tipo cambio temporal que se presentan en el periodo 97 y 242.



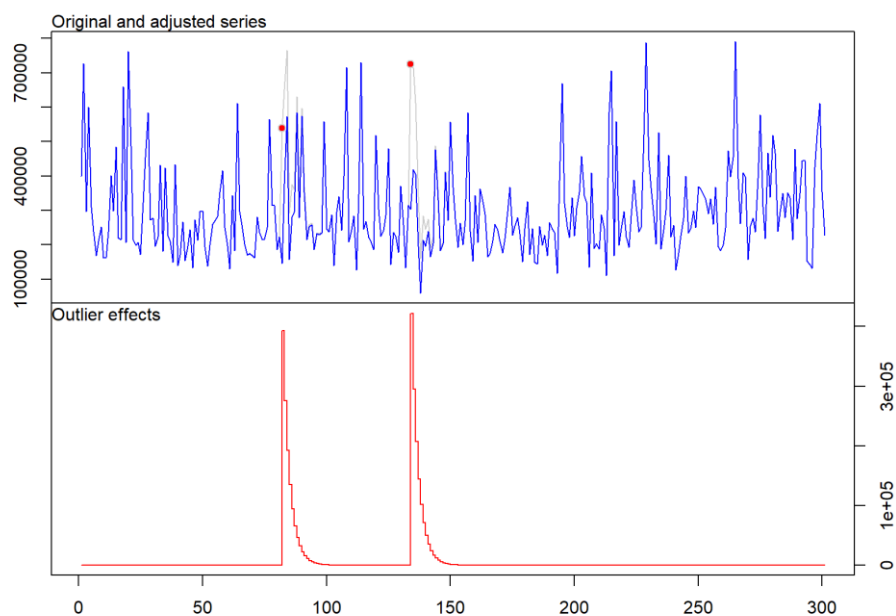
**Gráfico 151: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 128**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 128 se aprecia, conforme al **Gráfico 151**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 276.



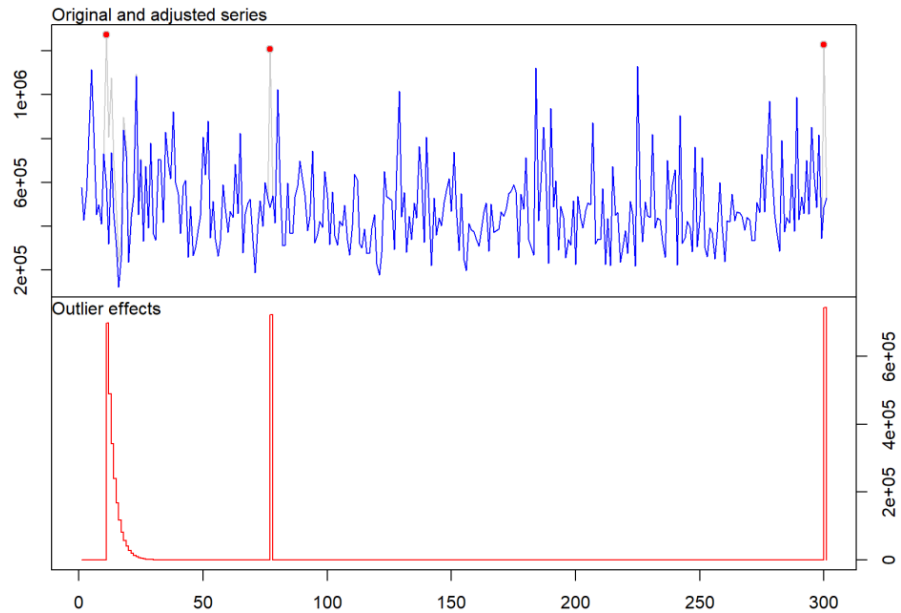
**Gráfico 152: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 129**  
Elaboración Propia

En la oficina 129 se aprecia, conforme al **Gráfico 152**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 17.



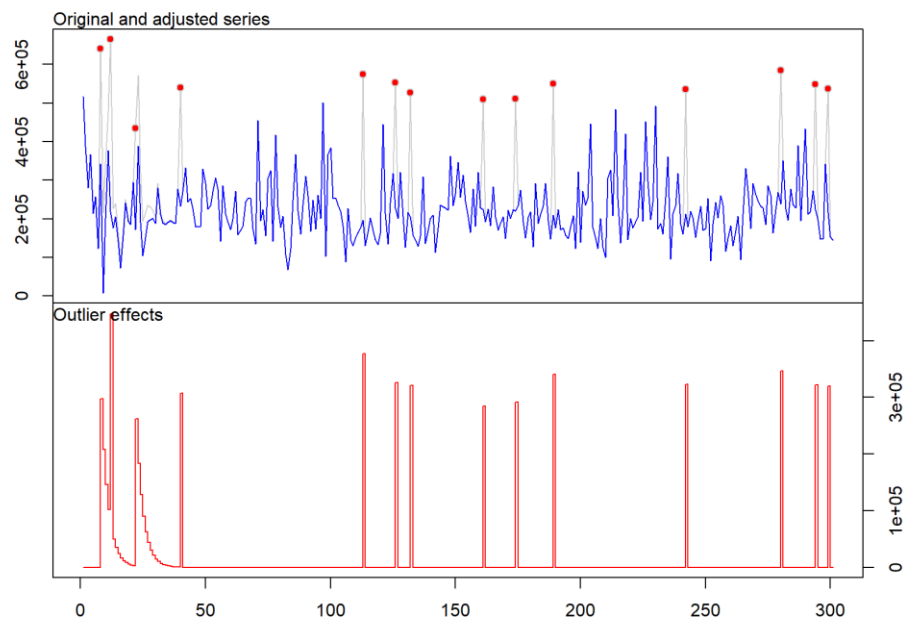
**Gráfico 153: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 133**  
Elaboración Propia

En la oficina 133 se aprecia, conforme al **Gráfico 153**, que existen dos valores atípicos de tipo cambio temporal que se presentan en el periodo 82 y 134.



**Gráfico 154: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 137**  
Elaboración Propia

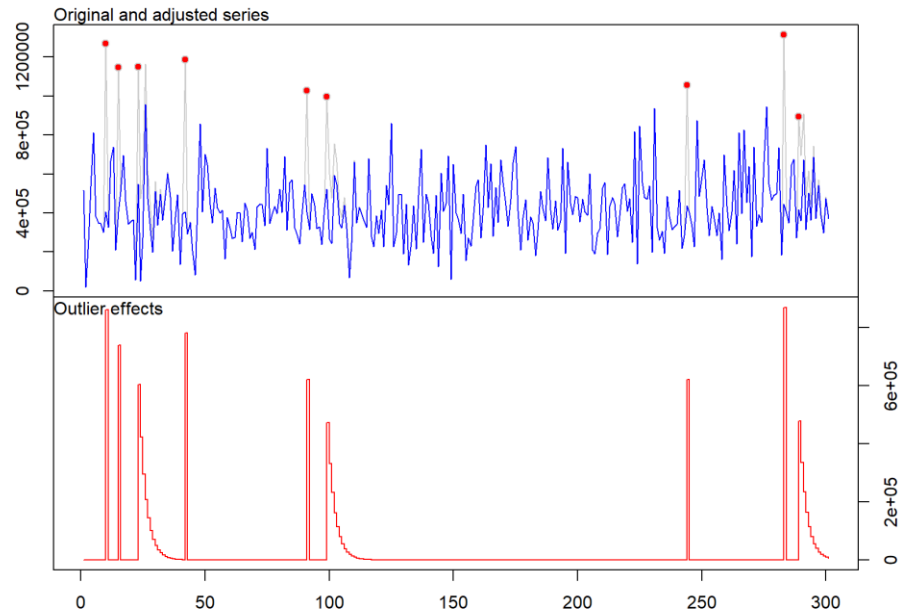
En la oficina 137 se aprecia, conforme al **Gráfico 154**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 11.



**Gráfico 155: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 149**  
Elaboración Propia

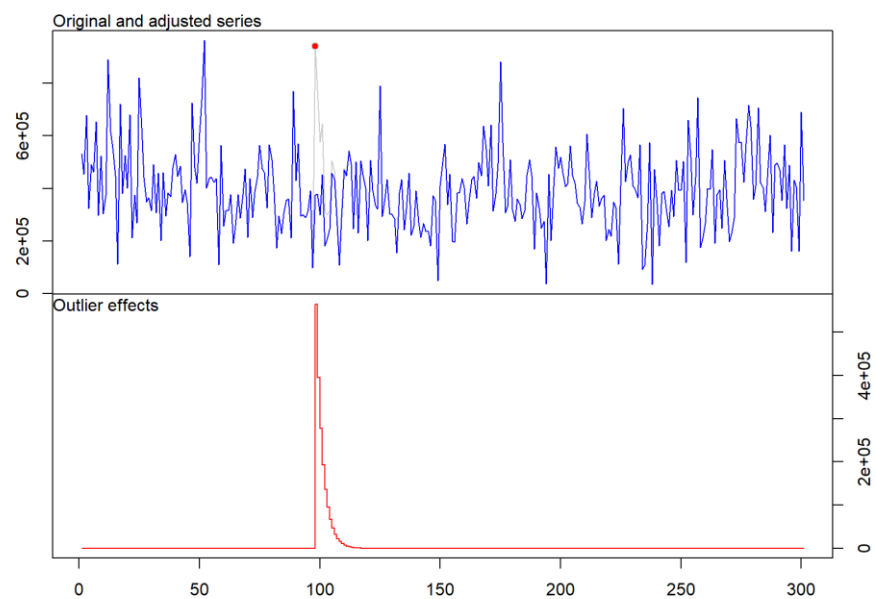


En la oficina 149 se aprecia, conforme al **Gráfico 155**, que existen dos valores atípicos de tipo cambio temporal que se presentan en el periodo 8 y 22.



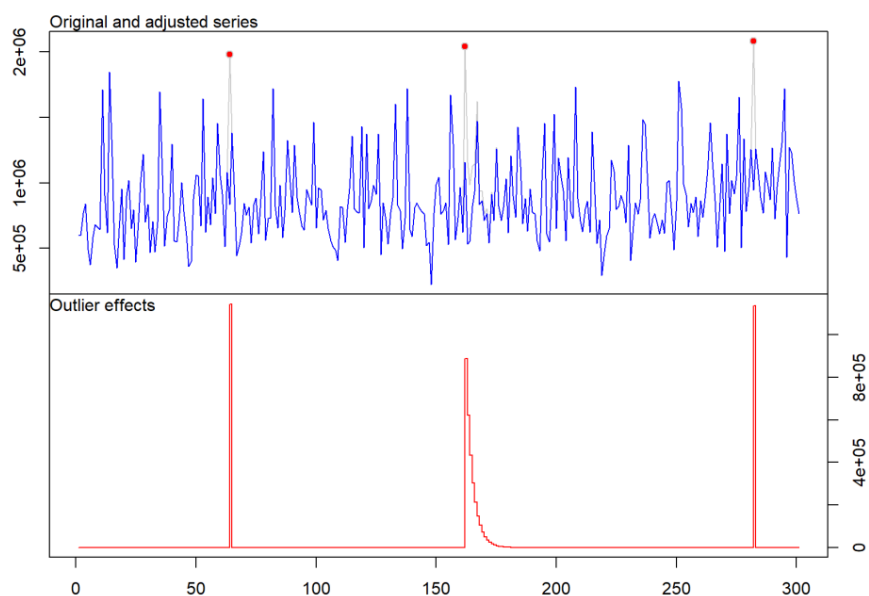
**Gráfico 156: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 156**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 156 se aprecia, conforme al **Gráfico 156**, que existen tres valores atípicos de tipo cambio temporal que se presentan en el periodo 23, 99 y 289.



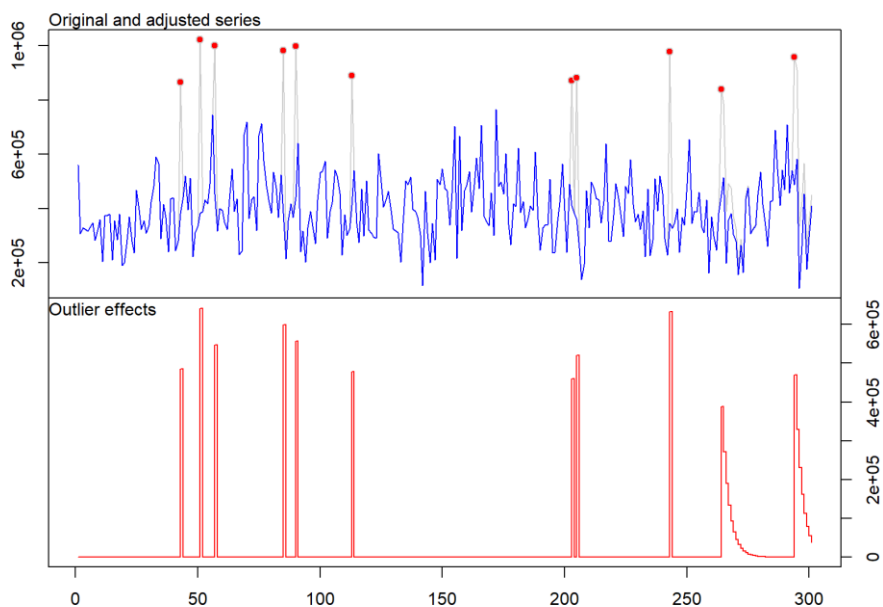
**Gráfico 157: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 187**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 187 se aprecia, conforme al **Gráfico 157**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 98.



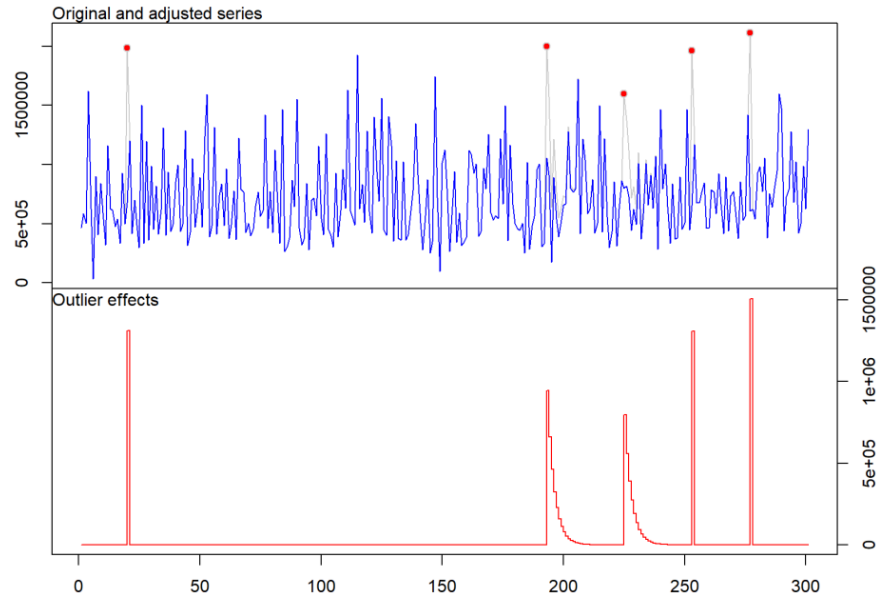
**Gráfico 158: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 253**  
Elaboración Propia

En la oficina 253 se aprecia, conforme al **Gráfico 158**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 162.



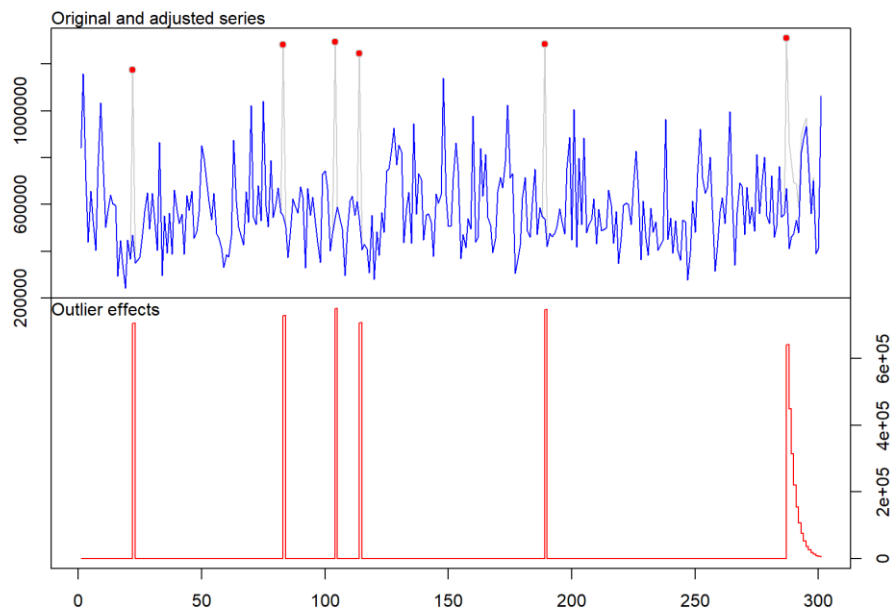
**Gráfico 159: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 256**  
Elaboración Propia

En la oficina 256 se aprecia, conforme al **Gráfico 159**, que existen dos valores atípicos de tipo cambio temporal que se presentan en el periodo 264 y 294.



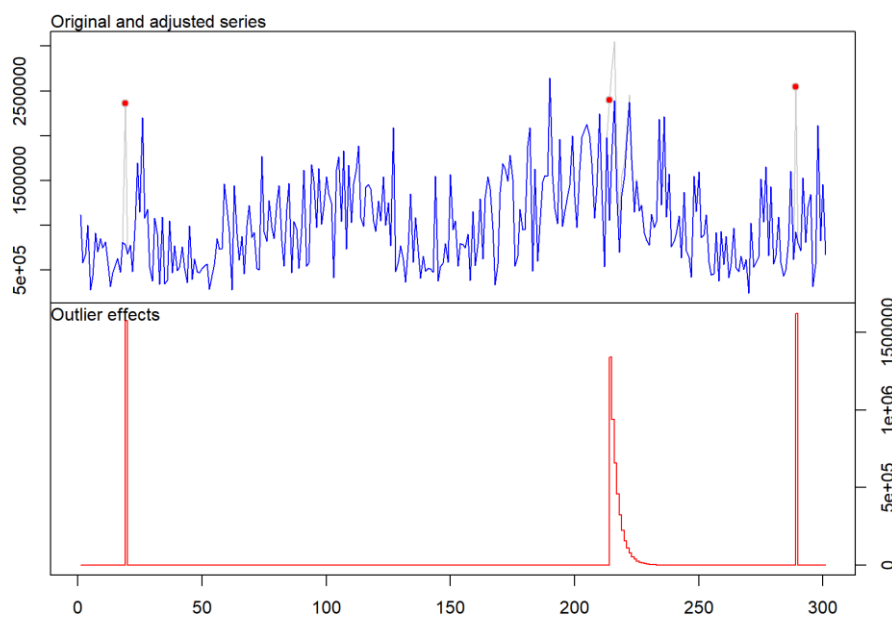
**Gráfico 160: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 312  
Elaboración Propia**

En la oficina 312 se aprecia, conforme al **Gráfico 160**, que existen dos valores atípicos de tipo cambio temporal que se presentan en el periodo 193 y 225.



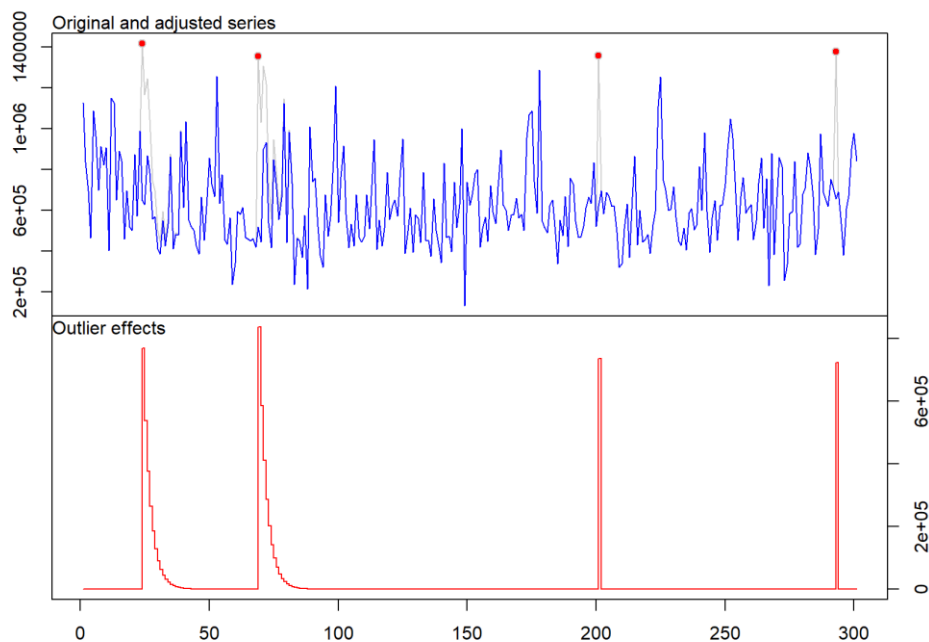
**Gráfico 161: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 339  
Elaboración Propia**

En la oficina 339 se aprecia, conforme al **Gráfico 161**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 287.



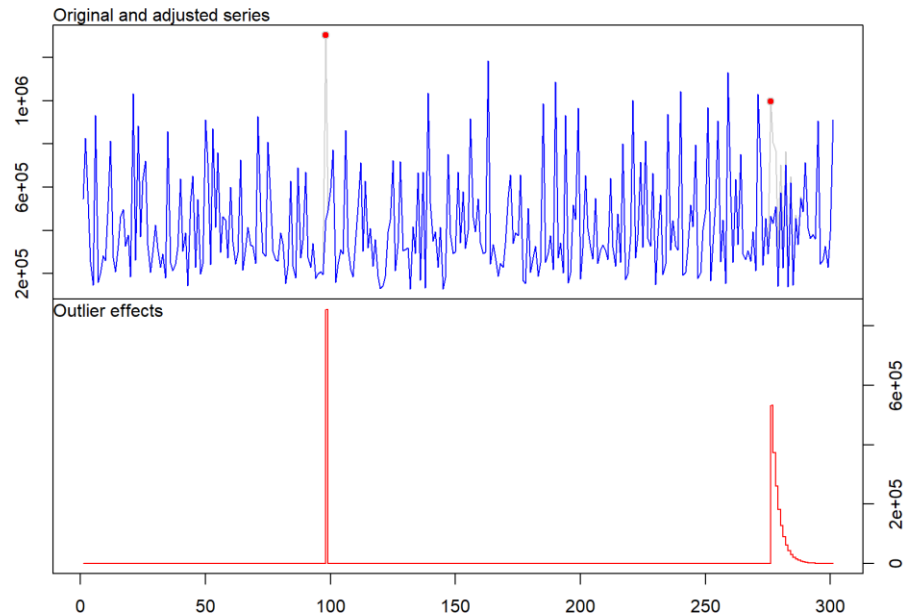
**Gráfico 162: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 342**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 342 se aprecia, conforme al **Gráfico 162**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 214.



**Gráfico 163: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 508**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 508 se aprecia, conforme al **Gráfico 163**, que existen dos valores atípicos de tipo cambio temporal que se presentan en el periodo 24 y 69.



**Gráfico 164: Valores Atípicos TC Retiros Ventanilla Oficina 659**  
**Elaboración Propia**

En la oficina 659 se aprecia, conforme al **Gráfico 164**, que existe un valor atípico de tipo cambio temporal que se presenta en el periodo 276.

Finalmente, en las demás oficinas no se aprecia que hubiese valores atípicos de tipo cambio temporal respecto a los retiros de efectivo en ventanilla.

## Capítulo 7. Clusterización de oficinas

En el presente capítulo se realizará la clusterización de las oficinas tanto por su comportamiento en depósitos y retiros en ventanilla utilizando los métodos de k-medias, k-medoides y jerárquico.

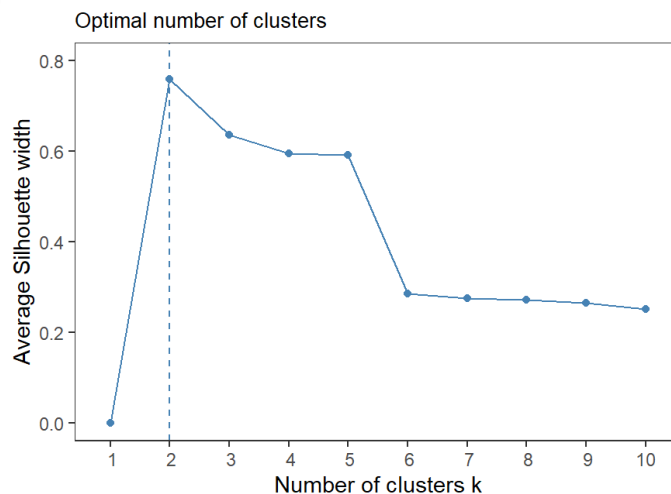
### 7.1. Depósito Ventanilla

En este apartado se analizarán los conglomerados por el método de k-medoides, k-medias y jerárquico a partir del agrupamiento de oficinas con comportamiento temporal más similar en los atributos de depósito de ventanilla.

#### 7.1.1. Jerárquico

En particular, se analizarán los conglomerados por el método jerárquico a partir del agrupamiento de oficinas con comportamiento temporal más similar de depósito de efectivo en ventanilla considerando como distancia la deformación dinámica en el tiempo (DTW), en vez de la distancia euclidiana.

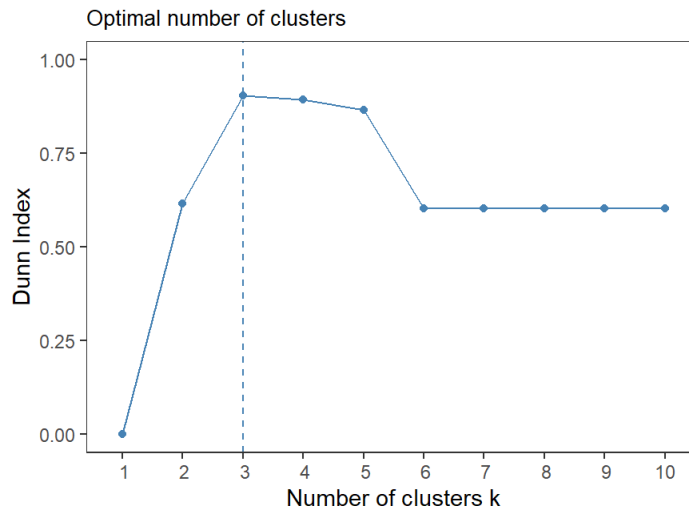
En ese sentido, se analizarán dos índices de validez de conglomerados, que son el coeficiente de silueta y el índice Dunn, a fin de determinar la calidad de una solución de agrupamiento definiendo una relación entre la cohesión dentro del conglomerado (homogeneidad) y la separación entre conglomerados (heterogeneidad). Cabe mencionar, que el índice de Dunn es un indicador de tipo “el peor de los casos”, que mide la razón entre la separación mínima interclusters respecto a la separación máxima intracluster.



**Gráfico 165: Coeficiente de silueta en Jerárquico por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

Es así, que los valores más elevados del coeficiente de silueta promedio se dan con  $K=2$  (0.759),  $K=3$  (0.636),  $K=4$  (0.595) y  $K=5$  (0.592), acorde a lo mostrado en el **Gráfico 165**.

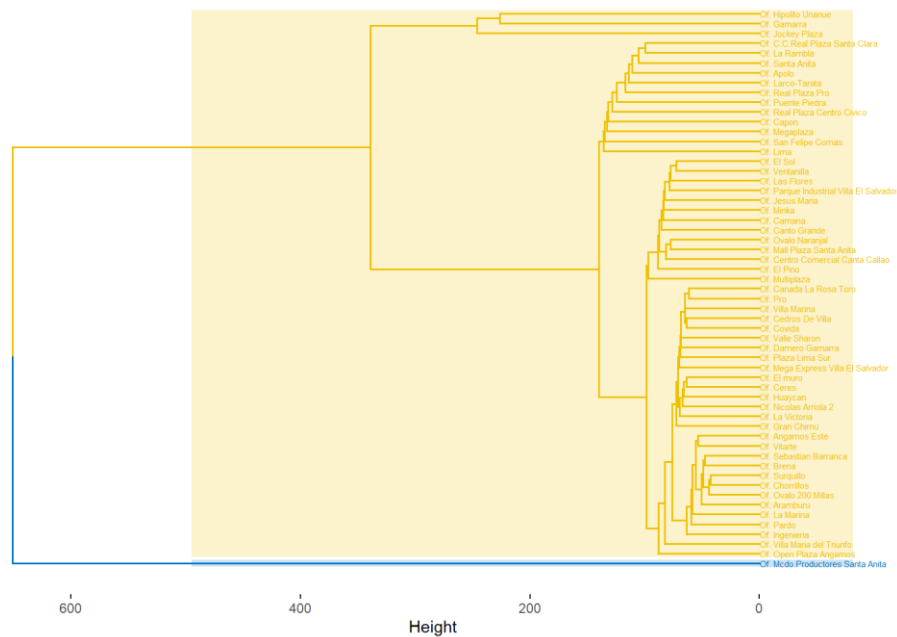
Por otro lado, los valores más elevados del índice de Dunn se dan con  $K=3$  (0.905),  $K=4$  (0.893) y  $K=5$  (0.866), acorde a lo mostrado en el **Gráfico 166**.



**Gráfico 166: Índice de Dunn en Jerárquico por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

A continuación, se realizará un análisis por cada una de las combinaciones de conglomerados óptimos que se puede conformar.

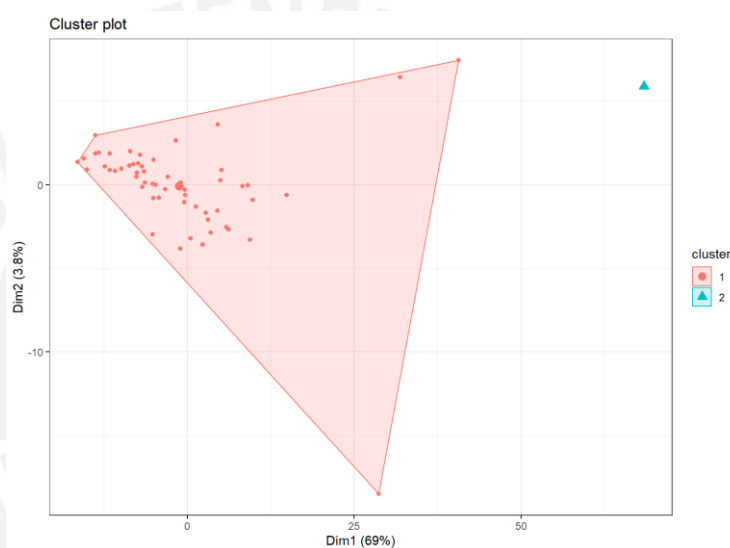
Cluster Dendrogram



**Gráfico 167: Dendrograma (K=2) por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

En primer lugar, en el dendrograma con  $K=2$ , mostrado en el **Gráfico 167**, se aprecia a la oficina Mercado Productores Santa Anita como único elemento del primer clúster respecto al otro conglomerado con 56 oficinas. Para este caso se presenta un valor de silueta de 0.759, el cual indica que los clústeres estarían bien agrupados.

No obstante, analizando el índice de Dunn se obtiene un valor de 0.616 que no es el más alto, como sí lo es el coeficiente de silueta para el mismo número de conglomerados, lo cual probablemente se explica en que uno de los conglomerados tenga calidad baja. Por lo cual esta opción no resultaría la más óptima.



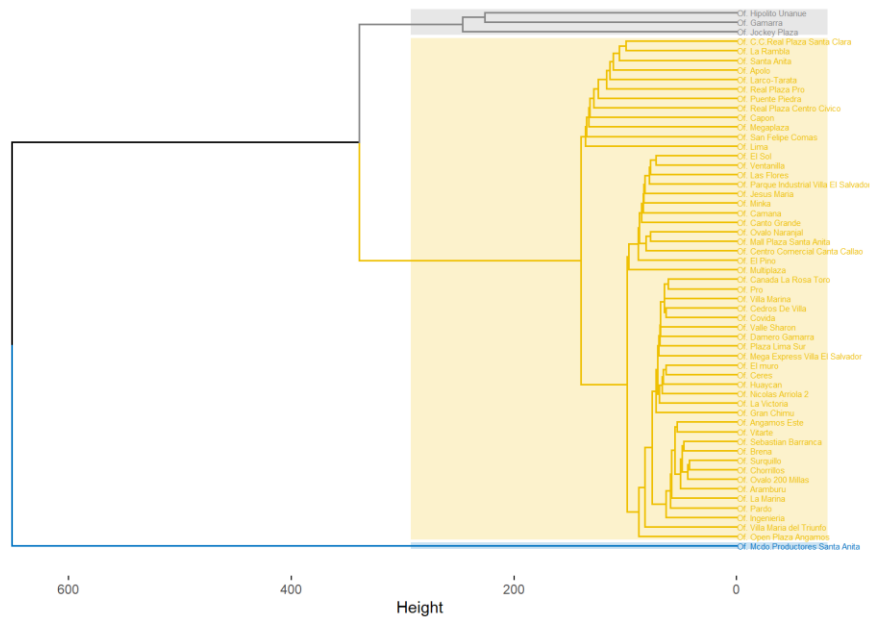
**Gráfico 168: Clúster plot Jerárquico ( $K=2$ ) de principales componentes por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

Además, acorde al **Gráfico 168**, realizando un ploteo de las 2 componentes principales que representan el 72.8% de la varianza total, se puede apreciar que, en el primer clúster, hay 3 oficinas que se encuentran más alejadas del resto. Por lo que, no necesariamente esta sería la conglomeración óptima ya que los dos clústeres formados, si bien se muestran heterogéneos entre sí, no son homogéneos internamente.

En segundo lugar, analizando el dendrograma con  $K=3$ , mostrado en el **Gráfico 169**, se aprecia a la oficina Mercado Productores Santa Anita como único elemento del primer clúster, respecto al segundo conglomerado con 3 oficinas y el tercero con 53. Para este caso se presenta un valor de silueta de 0.636 (el segundo más alto), el cual indica que los clústeres estarían bien agrupados.

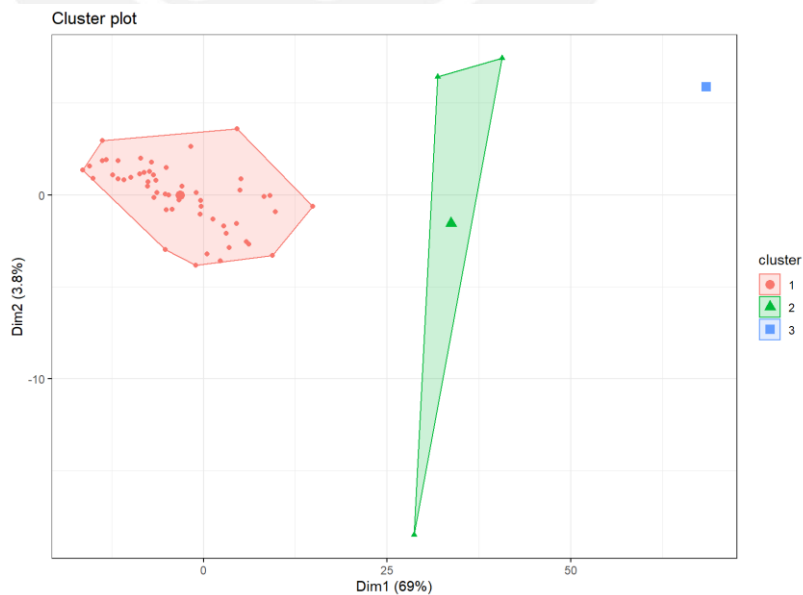


Cluster Dendrogram



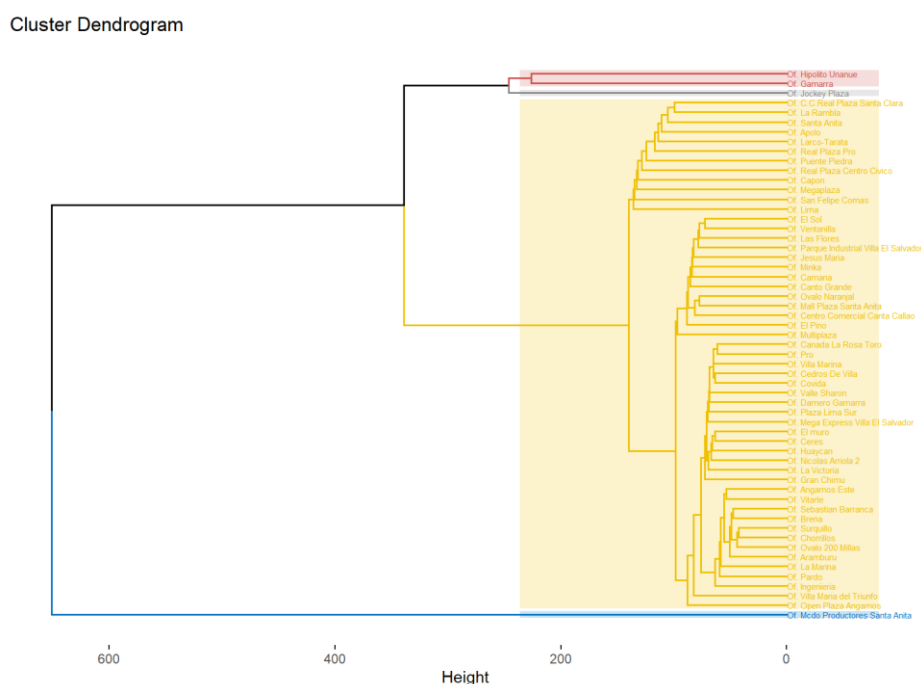
**Gráfico 169: Dendrograma (K=3) por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

Asimismo, analizando el índice de Dunn se obtiene un valor de 0.905 (el más alto de todos) lo cual sería un indicador que todos los conglomerados tienen una calidad alta. Más aún, acorde al **Gráfico 170**, donde, realizando un ploteo de las 2 componentes principales que representan el 72.8% de la varianza total, se puede apreciar que los tres clústeres formados se muestran homogéneos internamente y heterogéneos entre sí. Por lo cual esta opción resultaría, hasta el momento, la más óptima.



**Gráfico 170: Clúster plot Jerárquico (K=3) de principales componentes por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

En tercer lugar, analizando el dendrograma con  $K=4$ , mostrado en el **Gráfico 171**, se aprecia a la oficina Mercado Productores Santa Anita como único elemento del primer clúster, a la Oficina Jockey Plaza como único elemento del segundo clúster, mientras que el tercer conglomerado cuenta con 2 oficinas (Hipólito Unanue y Gamarra) y el cuarto con 53. Para este caso se presenta un valor de silueta de 0.595 (el tercero más alto), el cual indica que los clústeres estarían agrupados aceptablemente, pero no tanto como con  $K=3$ .

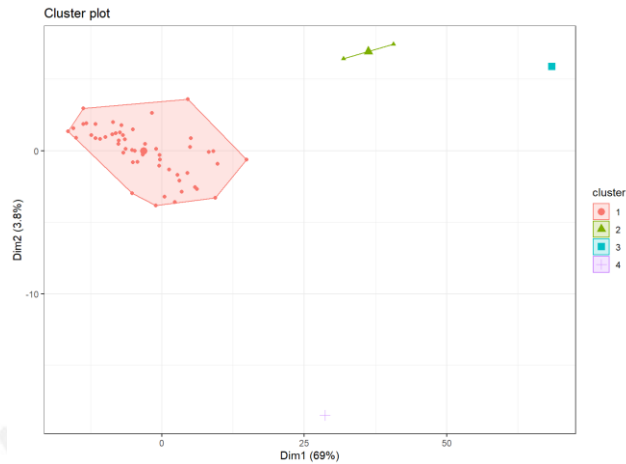


**Gráfico 171: Dendrograma ( $K=4$ ) por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

Por otro lado, analizando el índice de Dunn se obtiene un valor de 0.893 (el segundo más alto de todos) lo cual sería un indicador que todos los conglomerados tienen una calidad alta. Más aún, acorde al **Gráfico 172**, donde se puede apreciar que los cuatro clústeres formados se muestran homogéneos internamente y heterogéneos entre sí. Sin embargo, el análisis del coeficiente de silueta no resulta tan contundente como con  $K=3$ .

En cuarto lugar, analizando el dendrograma con  $K=5$ , mostrado en el **Gráfico 173**, se aprecia a la oficina Mercado Productores Santa Anita como único elemento del primer clúster, a la Oficina Jockey Plaza como único elemento del segundo clúster, a la Oficina Hipólito Unanue como único elemento del tercer clúster, a la Oficina Gamarra como único elemento del cuarto clúster, mientras que el quinto conglomerado cuenta con 53. Para

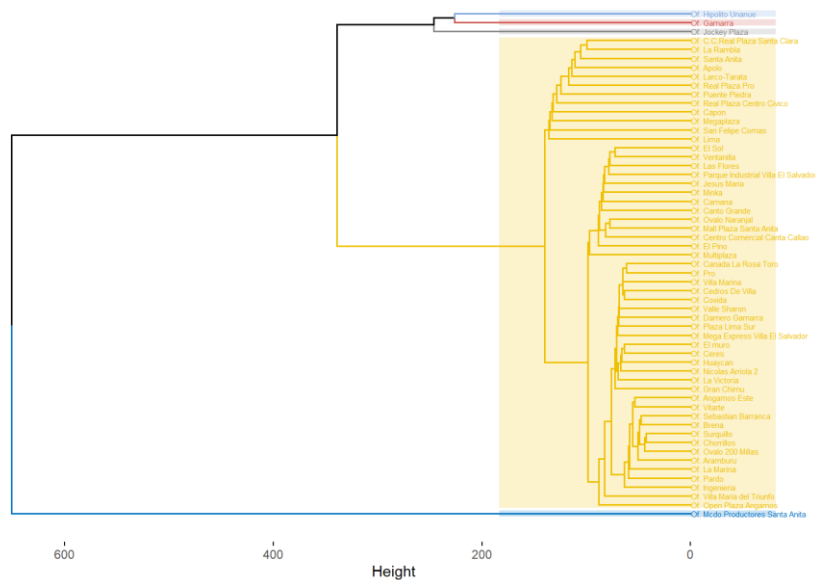
este caso se presenta un valor de silueta de 0.592 (el cuarto más alto), el cual indica que los clústeres estarían agrupados aceptablemente, pero no tanto como con  $K=3$ .



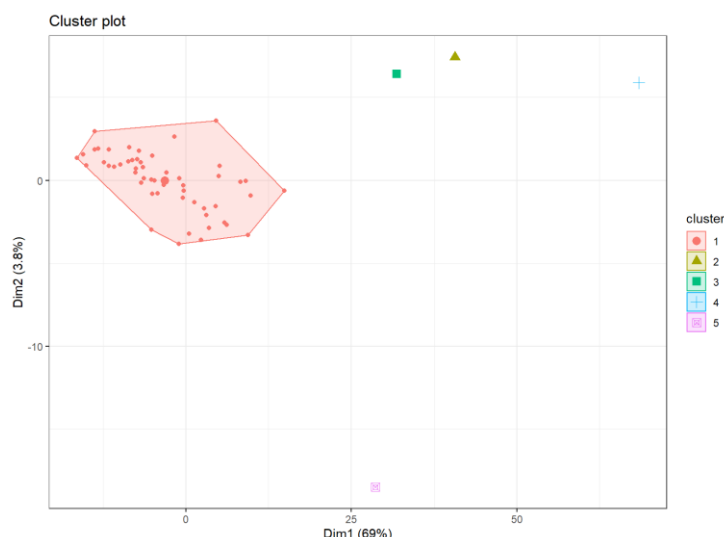
**Gráfico 172: Clúster plot Jerárquico (K=4) de principales componentes por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

Es más, analizando el índice de Dunn se obtiene un valor de 0.866 (el tercero más alto de todos) lo cual sería un indicador que todos los conglomerados tienen una calidad alta. Sin embargo, acorde al **Gráfico 174**, se puede apreciar que los clústeres 2 y 3 se encuentran muy próximos el uno al otro, así como también lo muestra el dendrograma en el **Gráfico 171**. Por lo cual, si bien hay homogeneidad interna, no existiría heterogeneidad entre sí.

Cluster Dendrogram

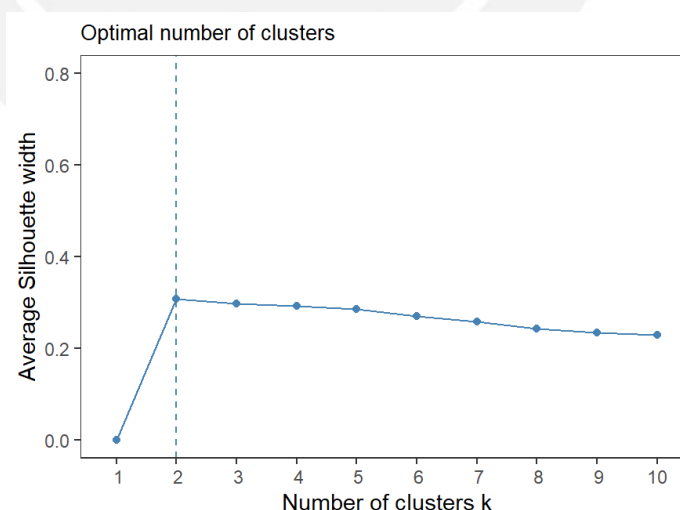


**Gráfico 173: Dendrograma (K=5) por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia



**Gráfico 174: Clúster plot Jerárquico (K=5) de principales componentes por depósito en ventanilla**  
**Elaboración Propia**

En consecuencia, para el presente método jerárquico, la alternativa de tener 3 conglomerados (K=3) resulta la más óptima. No obstante, ante la posibilidad de que el clúster 1 (de 53 oficinas), mostrado en el **Gráfico 170**, pudiese no haberse representado adecuadamente, debido al sesgo por el distanciamiento de las demás oficinas aparentemente atípicas, tales como Mercado Productores Santa Anita, Oficina Jockey Plaza, Oficina Hipólito Unanue y la Oficina Gamarra, se realizó un ploteo del coeficiente de silueta sin considerarlas.



**Gráfico 175: Coeficiente de silueta en Jerárquico por depósito en ventanilla sin oficinas atípicas**  
**Elaboración Propia**

Es así que, conforme al **Gráfico 175**, se aprecia que, a partir de K=2, todos los coeficientes de silueta son similares y tienen un valor inferior a 0.307

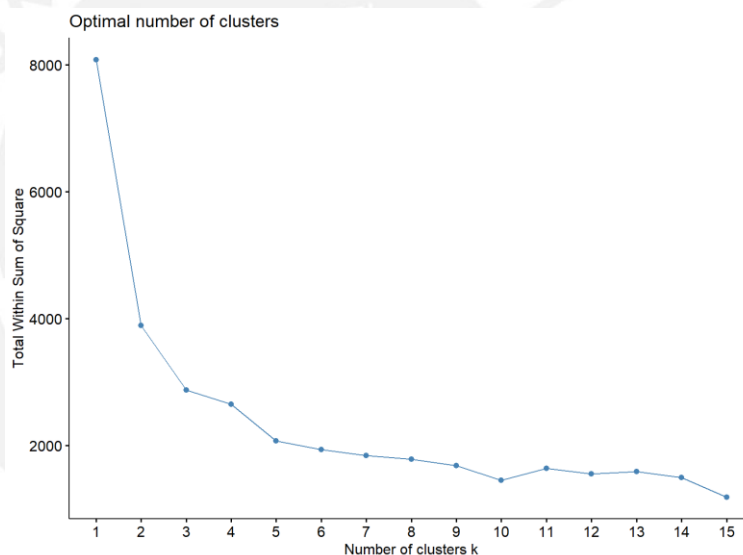
(menor al originalmente obtenido de 0.636). Por lo tanto, se comprueba que las 53 oficinas inicialmente consideradas en un solo clúster estarían bien agrupadas.

Finalmente, esto reafirma que, para el presente método jerárquico, la alternativa de tener 3 conglomerados (K=3) es la más óptima.

### 7.1.2. K-Medias

En particular, se buscará agrupar las oficinas conforme a comportamientos similares, para lo cual se considerará la distancia euclidiana, dado que el uso de esta métrica minimiza la distancia media entre los puntos y los centroides.

Para elegir el número óptimo de clústeres, se ha visto por conveniente emplear dos métodos, el del codo y el del valor del coeficiente de silueta.

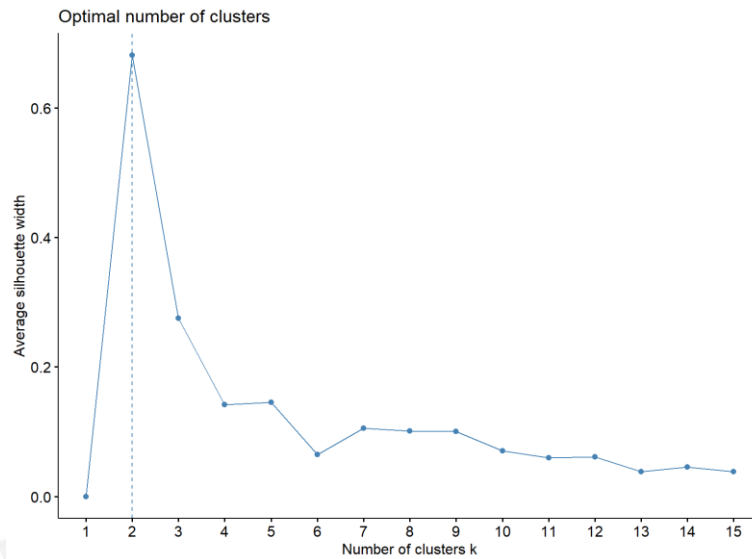


**Gráfico 176: Método del codo en K-Medias por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

Cabe mencionar que, el método del codo se basa en identificar gráficamente el valor a partir del cual la reducción en la suma total de varianzas dentro del clúster deja de ser sustancial. En ese sentido, se aprecia, conforme al **Gráfico 176**, que el número óptimo de clústeres podría estar entre 2 y 5 ya que a partir de K=6 apenas se consigue mejoría.

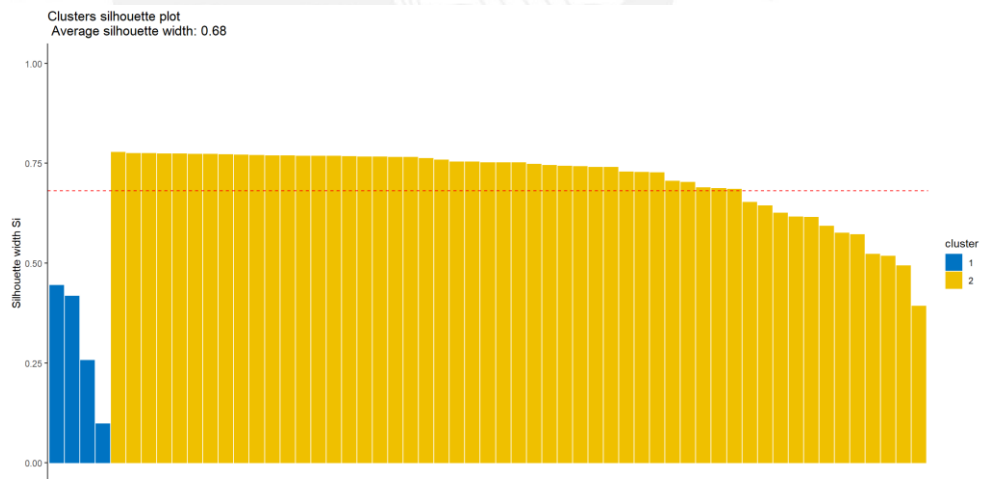
Por otro lado, el método del coeficiente de silueta permitirá determinar cuál de dichos valores resulta más óptimo. Es así que los valores más elevados del coeficiente de silueta promedio se dan con K=2 (0.680) y K=3 (0.265) acorde a lo mostrado en el **Gráfico 177**. En consecuencia, complementando

el análisis de silueta con el método del codo, se concluye que el número óptimo de clústeres estaría con  $K=2$  o  $K=3$ .



**Gráfico 177: Coeficiente de silueta en K-Medias por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

A continuación, se realizará un análisis por cada una de las combinaciones de conglomerados óptimos que se puede conformar.

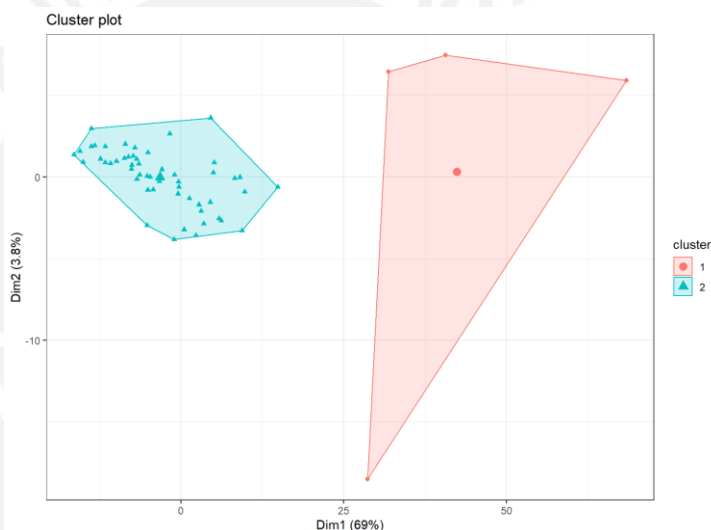


**Gráfico 178: Coeficiente de silueta en K-Medias por depósito en ventanilla para  $K=2$**   
Elaboración Propia

En primer lugar, para  $K=2$ , se observa a la oficina Mercado Productores Santa Anita, Gamarra, Hipólito Unanue y Jockey Plaza como elementos del primer clúster, respecto al segundo conglomerado con 53 elementos. Y, conforme al **Gráfico 178**, se aprecia que ninguno de los clústeres tiene observaciones con valores de silueta negativos, lo que indica que esas

observaciones estarían bien clasificadas. Más aún cuando el valor de silueta promedio para ambos clústeres es de 0.680 (el más alto). Asimismo, se puede analizar las componentes principales, que se dan a partir de la transpuesta del dataframe de la serie de tiempo, de manera que en las filas se encuentren las oficinas y en las columnas se encuentren las fechas, ya que estas representan a las características que se va analizar para encontrar la similitud de comportamiento de los depósitos en ventanilla.

Por consiguiente, realizando un ploteo del gráfico de las 2 componentes principales que representan el 72.8% de la varianza total, acorde al **Gráfico 179**, se puede apreciar que los dos clústeres formados son homogéneos internamente y heterogéneos entre sí, lo que reafirmaría el análisis de silueta previamente realizado.

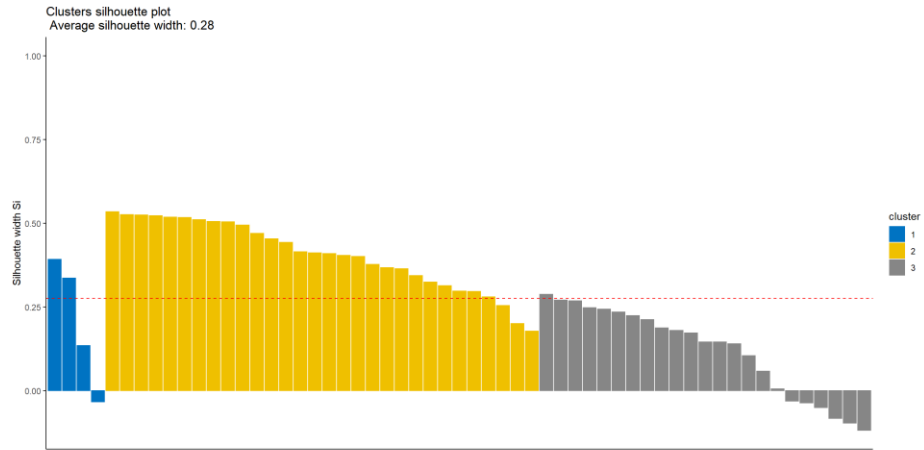


**Gráfico 179: K-Medias Clúster plot (K=2) de principales componentes por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

En segundo lugar, para K=3, se observa a la oficina Mercado Productores Santa Anita, Gamarra, Hipólito Unanue y Jockey Plaza como elementos del primer clúster, respecto al segundo conglomerado con 30 y el tercero con 23 elementos. Y, conforme al **Gráfico 180**, se aprecia que los clústeres 1 (azul) y 3 (plomo) tienen observaciones con valores de silueta próximos a 0 e incluso negativos, lo que indica que esas observaciones podrían estar mal clasificadas. Más aún cuando presentan un valor de silueta promedio para ambos clústeres de 0.28 (bajo).

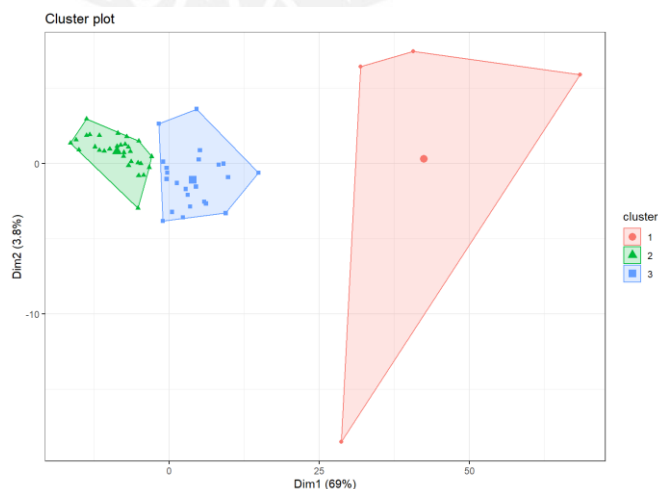
Por consiguiente, realizando un ploteo del gráfico de las 2 componentes principales que representan el 72.8% de la varianza total, acorde al **Gráfico**

181, se puede apreciar que los clústeres 2 (verde) y 3 (azul) no son heterogéneos entre sí, ya que hay puntos muy próximos a la frontera de ambos, lo que reafirmaría el análisis de silueta previamente realizado. Por lo cual, si bien hay homogeneidad interna, no existe heterogeneidad entre sí.



**Gráfico 180: Coeficiente de silueta en K-Medias por depósito en ventanilla para K=3  
Elaboración Propia**

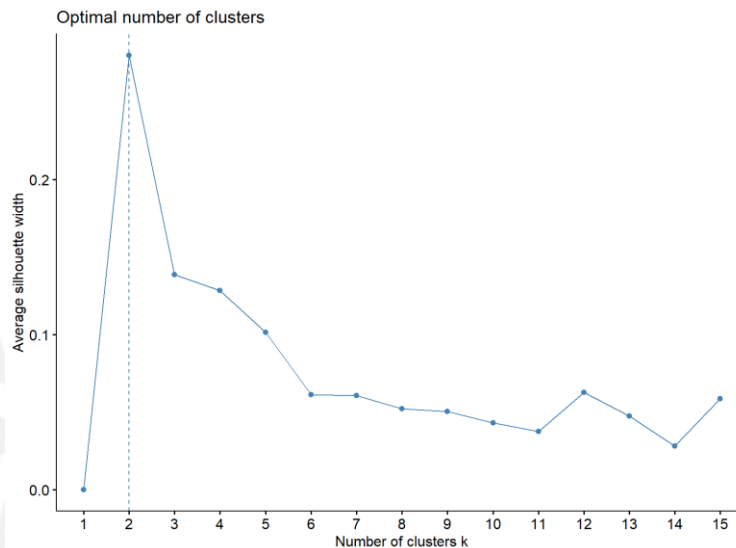
En consecuencia, para el presente método de K-medias, la alternativa de tener 2 conglomerados (K=2) resulta la más óptima. No obstante, y similar a lo realizado en el análisis jerárquico, ante la posibilidad de que se estuviese generando un sesgo en la agrupación del gran clúster conformado por 53 oficinas, por encontrarse más apartado de las 4 oficinas aparentemente atípicas, se realizó un ploteo del coeficiente de silueta sin considerar a la Oficina Mercado Productores Santa Anita, Hipólito Unanue, Gamarra ni Jockey Plaza.



**Gráfico 181: K-Medias Clúster plot (K=3) de principales componentes por depósito en ventanilla  
Elaboración Propia**

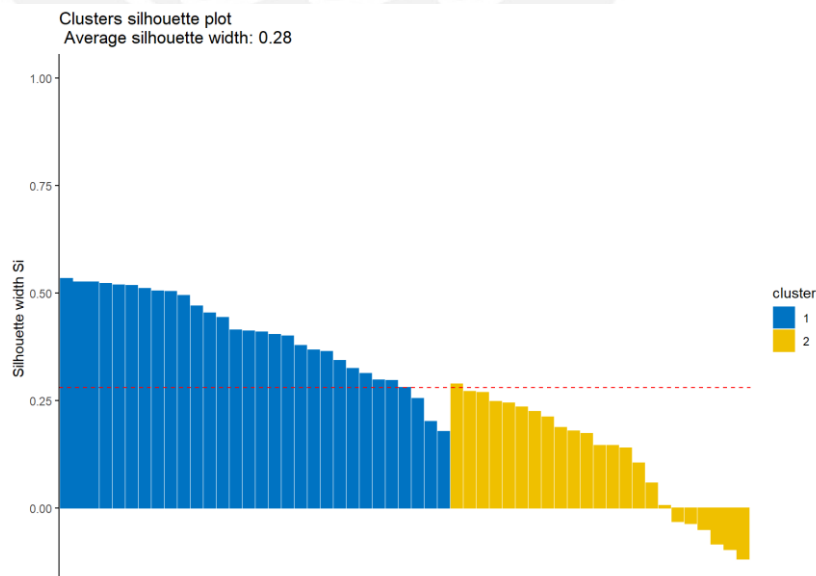


Es así que, conforme al **Gráfico 182**, se aprecia que para  $K=2$  el coeficiente de silueta tiene un valor de 0.280 (bajo). De igual manera, acorde al **Gráfico 183**, el clúster 2 tiene observaciones con valores de silueta negativos, lo que indica que esas observaciones estarían mal clasificadas. Por lo tanto, se comprueba que las 53 oficinas inicialmente consideradas en un solo clúster estarían bien agrupadas.



**Gráfico 182: Coeficiente de silueta en K-medias por depósito en ventanilla sin oficinas atípicas**  
Elaboración Propia

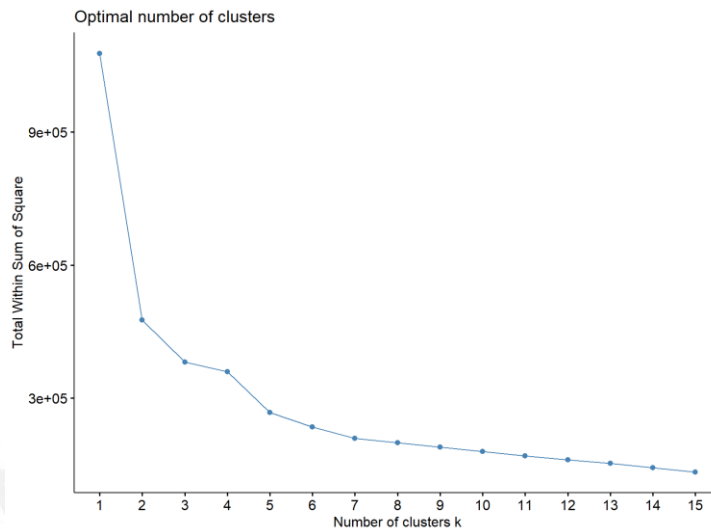
Finalmente, esto reafirma que, para el presente método de K-medias, la alternativa de tener 2 conglomerados ( $K=2$ ) resulta la más óptima.



**Gráfico 183: Coeficiente de silueta en K-Medias por depósito en ventanilla para  $K=2$  sin oficinas atípicas**  
Elaboración Propia

### 7.1.3. K-Medoides

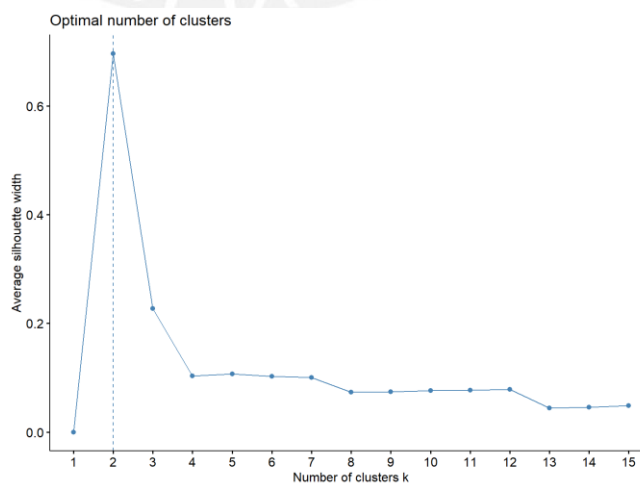
En particular, se buscará agrupar las oficinas conforme a comportamientos similares en el tiempo, para lo cual se considerará el algoritmo de la deformación dinámica en el tiempo (DTW), en vez de la distancia euclidiana.



**Gráfico 184: Método del codo en K-Medoides por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

Para elegir el número óptimo de clústeres, se ha visto por conveniente emplear dos métodos, el del codo y el del valor del coeficiente de silueta.

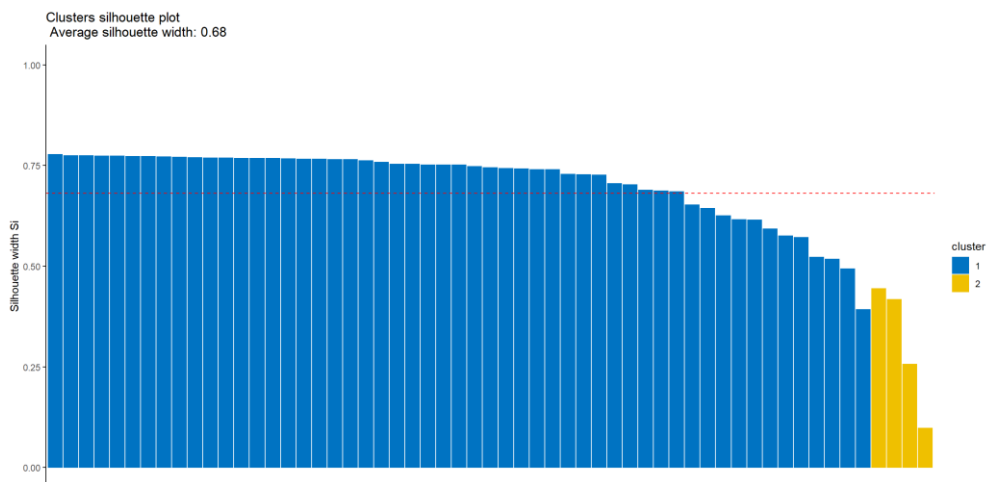
Cabe mencionar que, el método del codo se basa en identificar gráficamente el valor a partir del cual la reducción en la suma total de varianzas dentro del clúster deja de ser sustancial. En ese sentido, se aprecia, conforme al **Gráfico 184**, que el número óptimo de clústeres podría estar entre 2 y 5 ya que a partir de  $K=6$  apenas se consigue mejoría.



**Gráfico 185: Coeficiente de silueta en K-Medoides por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

Por otro lado, el método del coeficiente de silueta permitirá determinar cuál de dichos valores resulta más óptimo. Es así que los valores más elevados del coeficiente de silueta promedio se dan con  $K=2$  (0.681) y  $K=3$  (0.26) acorde a lo mostrado en el **Gráfico 185**. En consecuencia, complementando el análisis de silueta con el método del codo, se concluye que el número óptimo de clústeres estaría con  $K=2$  o  $K=3$ .

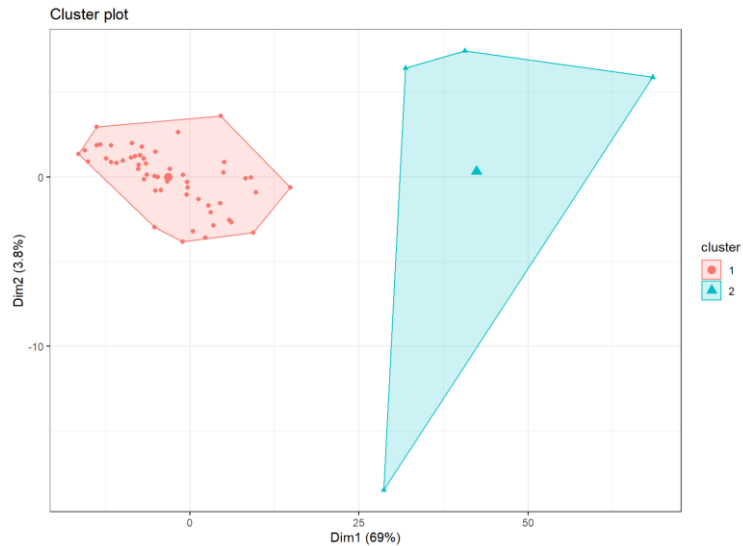
A continuación, se realizará un análisis por cada una de las combinaciones de conglomerados óptimos que se puede conformar.



**Gráfico 186: Coeficiente de silueta en K-Medoides por depósito en ventanilla para  $K=2$**   
**Elaboración Propia**

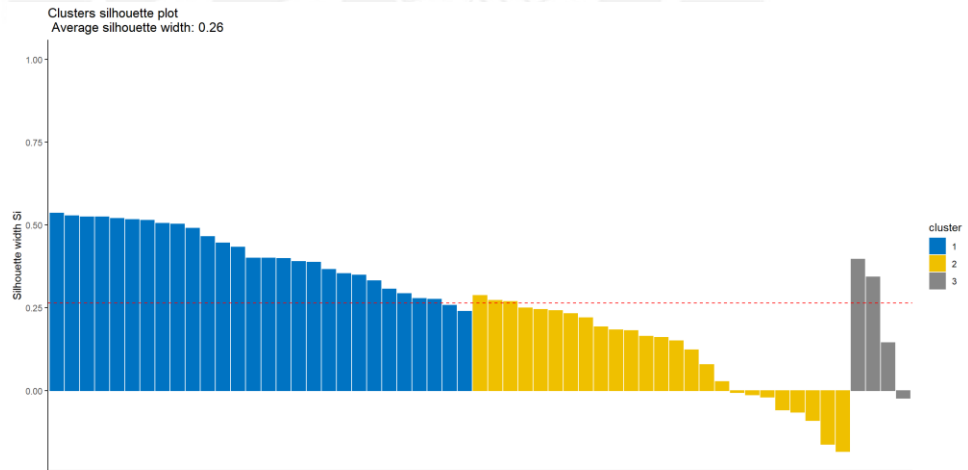
En primer lugar, para  $K=2$ , se observa a la oficina Mercado Productores Santa Anita, Gamarra, Hipólito Unanue y Jockey Plaza como elementos del primer clúster, respecto al segundo conglomerado con 53 elementos. Y, conforme al **Gráfico 186**, se aprecia que ninguno de los clústeres tiene observaciones con valores de silueta negativos, lo que indica que esas observaciones estarían bien clasificadas. Más aún cuando el valor de silueta promedio para ambos clústeres es de 0.681 (el más alto).

Asimismo, se puede analizar las componentes principales, que se dan a partir de la transpuesta del *dataframe* de la serie de tiempo, de manera que en las filas se encuentren las oficinas y en las columnas se encuentren las fechas, ya que estas representan a las características que se va analizar para encontrar la similitud de comportamiento de los depósitos en ventanilla.



**Gráfico 187: K-Medoides Clúster plot (K=2) de principales componentes por depósito en ventanilla**  
**Elaboración Propia**

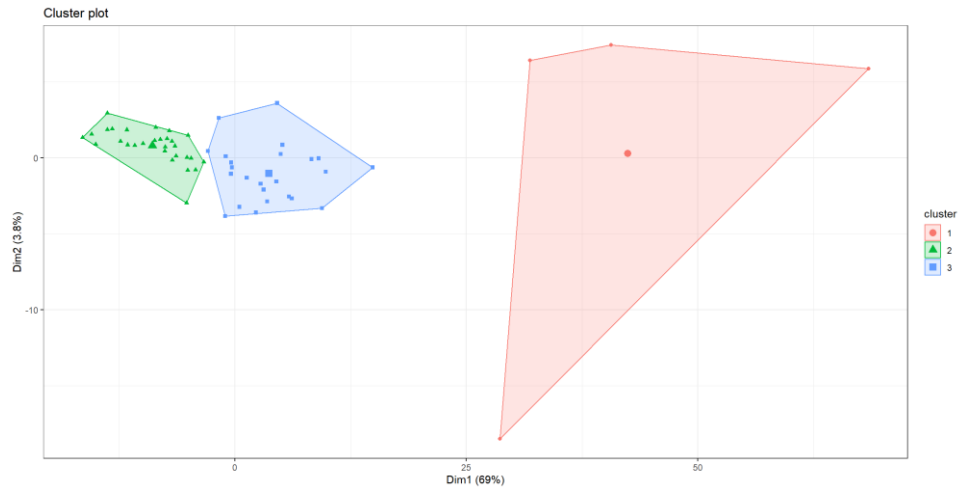
Por consiguiente, realizando un ploteo del gráfico de las 2 componentes principales que representan el 72.8% de la varianza total, acorde al **Gráfico 187**, se puede apreciar que los dos clústeres formados son homogéneos internamente y heterogéneos entre sí, lo que reafirmaría el análisis de silueta previamente realizado.



**Gráfico 188: Coeficiente de silueta en K-Medoides por depósito en ventanilla para K=2**  
**Elaboración Propia**

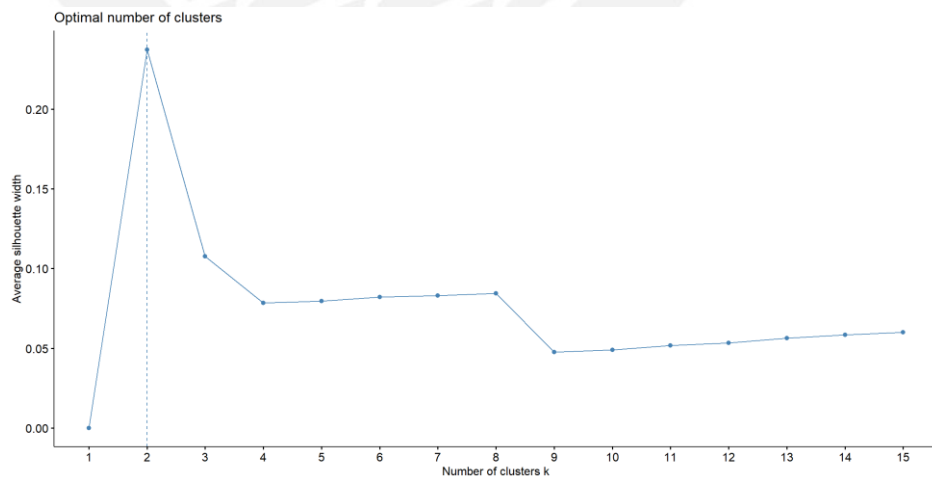
En segundo lugar, para K=3, se observa a la oficina Mercado Productores Santa Anita, Gamarra, Hipólito Unanue y Jockey Plaza como elementos del primer clúster, respecto al segundo conglomerado con 28 y el tercero con 25 elementos. Y, conforme al **Gráfico 188**, se aprecia que los clústeres número 2 (amarillo) y 3 (plomo) tienen observaciones con valores de silueta

próximos a 0 e incluso negativos, lo que indica que esas observaciones podrían estar mal clasificadas. Más aún cuando presentan un valor de silueta promedio para ambos clústeres de 0.265 (bajo).



**Gráfico 189: K-Medoides Clúster plot (K=3) de principales componentes por depósito en ventanilla**  
Elaboración Propia

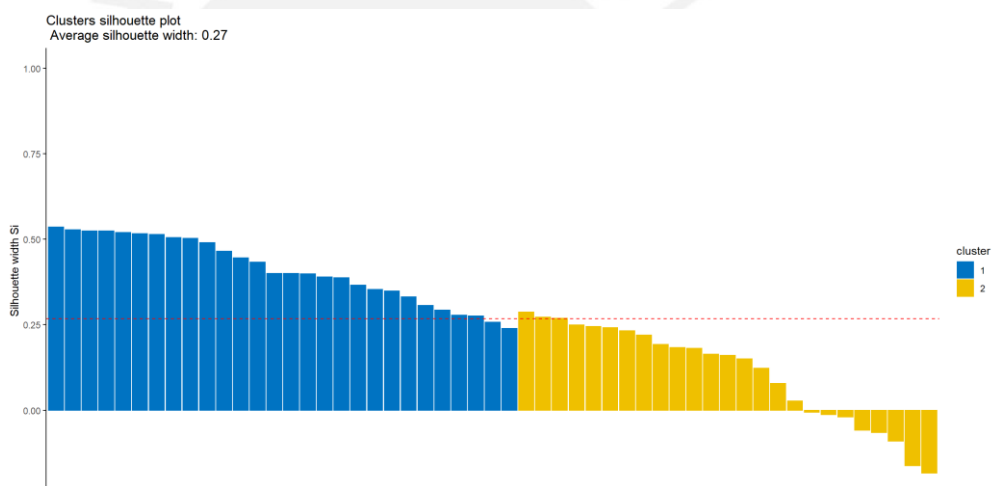
Por consiguiente, realizando un ploteo del gráfico de las 2 componentes principales que representan el 72.8% de la varianza total, acorde al **Gráfico 189**, se puede apreciar que los clústeres 2 (verde) y 3 (azul) no son heterogéneos entre sí, ya que hay puntos muy próximos a la frontera de ambos, lo que reafirmaría el análisis de silueta previamente realizado. Por lo cual, si bien hay homogeneidad interna, no existe heterogeneidad entre sí.



**Gráfico 190: Coeficiente de silueta en K-medoides por depósito en ventanilla sin oficinas atípicas**  
Elaboración Propia

En consecuencia, para el presente método de K-medoides, la alternativa de tener 2 conglomerados ( $K=2$ ) resulta la más óptima. No obstante, ante la posibilidad de que se estuviese generando un sesgo en la agrupación del gran clúster conformado por 53 oficinas, por encontrarse más apartado de las 4 oficinas aparentemente atípicas, se realizó un ploteo del coeficiente de silueta sin considerar a la Oficina Mercado Productores Santa Anita, Hipólito Unanue, Gamarra ni Jockey Plaza.

Es así que, conforme al **Gráfico 190**, se aprecia que para  $K=2$  el coeficiente de silueta tiene un valor de 0.27 (bajo). De igual manera, acorde al **Gráfico 191**, el clúster 2 tiene observaciones con valores de silueta negativos, lo que indica que esas observaciones podrían estar mal clasificadas. Por lo tanto, se comprueba que las 53 oficinas inicialmente consideradas en un solo clúster estarían bien agrupadas.



**Gráfico 191: Coeficiente de silueta en K-Medoides por depósito en ventanilla para  $K=2$  sin oficinas atípicas**  
Elaboración Propia

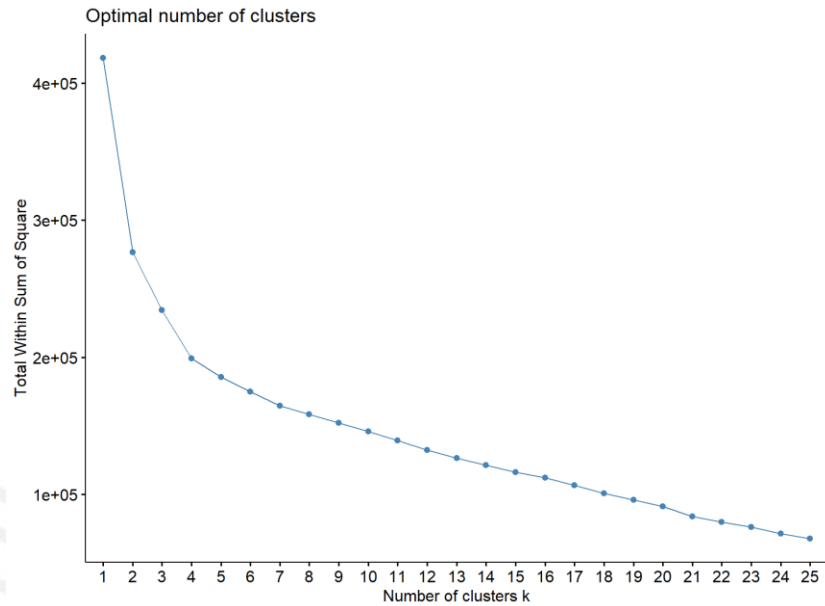
Finalmente, esto reafirma que, para el presente método k-medoides, la alternativa de tener 2 conglomerados ( $K=2$ ) resulta la más óptima.

## 7.2. Retiro Ventanilla

En este apartado se analizarán los conglomerados por el método de k-medoides, k-medias y jerárquico a partir del agrupamiento de oficinas con comportamiento temporal más similar en los atributos de retiro de ventanilla.

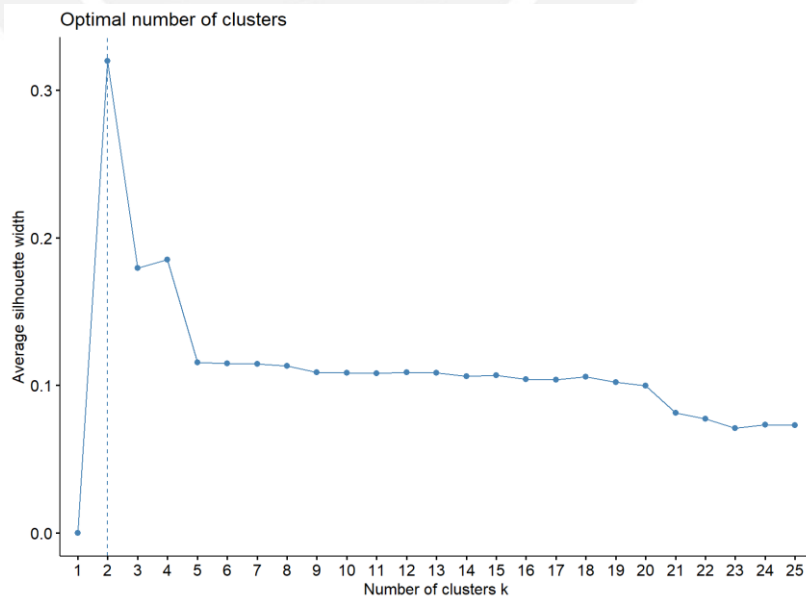
### 7.2.1. K-Medoides

En particular, se buscará agrupar las oficinas conforme a comportamientos similares en el tiempo, para lo cual se considerará el algoritmo de la deformación dinámica en el tiempo (DTW), en vez de la distancia euclidiana.



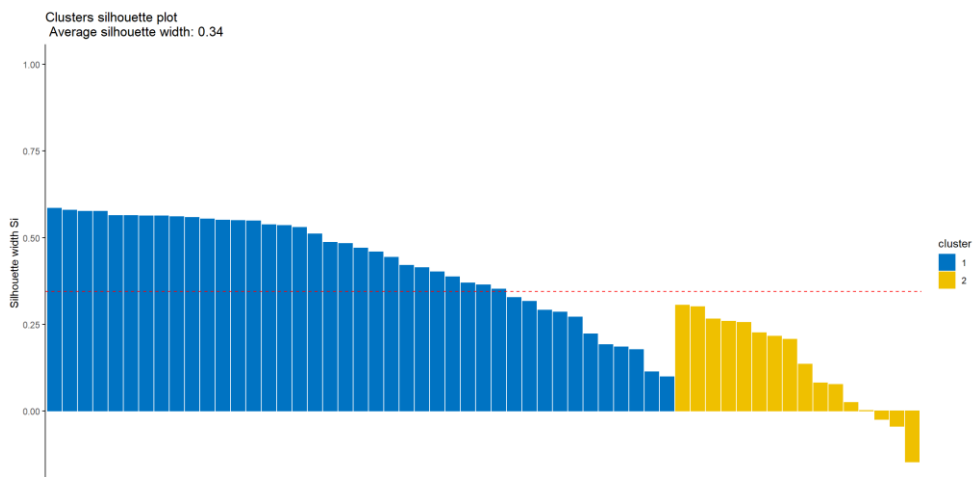
**Gráfico 192: Método del codo en K-Medoides por retiro en ventanilla**  
Elaboración Propia

Para elegir el número óptimo de clústeres, se ha visto por conveniente emplear dos métodos, el del codo y el del valor del coeficiente de silueta.



**Gráfico 193: Coeficiente de silueta en K-Medoides por retiro en ventanilla**  
Elaboración Propia

Cabe mencionar que, el método del codo se basa en identificar gráficamente el valor a partir del cual la reducción en la suma total de varianza dentro del clúster deja de ser sustancial. En ese sentido, se aprecia conforme al **Gráfico 192** que el número óptimo de clústeres tiene un rango amplio pudiendo llegar incluso hasta  $K=20$ , valor con el cual se abarca el 75% de la varianza. Por este motivo el presente análisis no resulta concluyente.



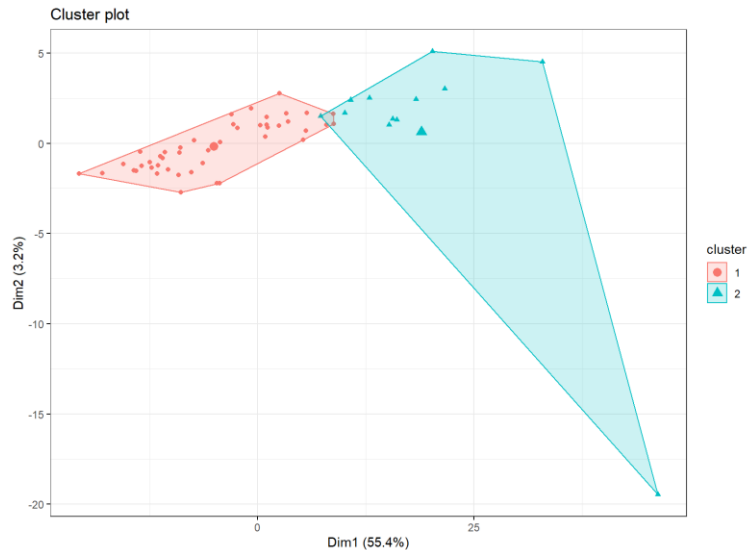
**Gráfico 194: Coeficiente de silueta en K-Medoides por retiro en ventanilla para  $K=2$**   
**Elaboración Propia**

Por otro lado, el método del coeficiente de silueta resulta más concluyente ya que muestra claramente el óptimo valor del coeficiente de silueta promedio con  $K=2$  (0.337), acorde a lo mostrado en el **Gráfico 193**. En consecuencia, se podría concluir que el número óptimo de clústeres estaría con  $K=2$ .

Sin embargo, conforme al **Gráfico 194**, se aprecia que el clúster número 2 (amarillo) tiene observaciones con valores de silueta próximos a 0 e incluso negativos, lo que indica que esas observaciones podrían estar mal clasificadas. Más aún cuando presentan un valor de silueta promedio para ambos clústeres de 0.337 (bajo).

Por consiguiente, realizando un ploteo del gráfico de las 2 componentes principales que representan el 58.6% de la varianza total, acorde al **Gráfico 195**, se puede apreciar que los clústeres 2 (verde) y 3 (azul) se superponen entre sí, lo cual reforzaría el hecho que la conformación de conglomerados no sería la más adecuada.

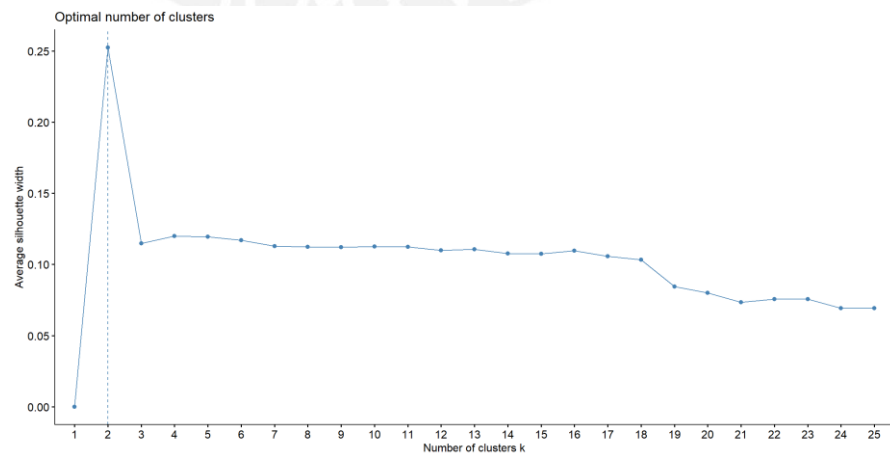




**Gráfico 195: K-Medoides Clúster plot de principales componentes por retiro en ventanilla**  
**Elaboración Propia**

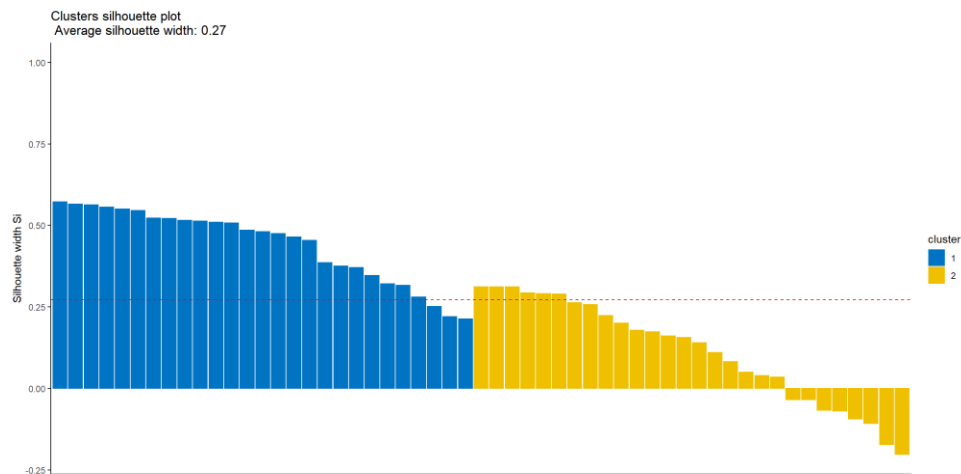
Por último, ante la posibilidad de que la presencia de 2 oficinas aparentemente atípicas estuviese afectando la agrupación propuesta, se realizó un ploteo del coeficiente de silueta sin considerar a la Oficina Mercado Productores Santa Anita ni Jockey Plaza.

Es así que, conforme al **Gráfico 196**, se aprecia que para  $K=2$  el coeficiente de silueta tiene un valor de 0.27 (más bajo que el originalmente obtenido sin atípicos). De igual manera, acorde al **Gráfico 197**, el clúster 2 tiene observaciones con valores de silueta negativos (aun incluso más que considerando a las oficinas presuntamente atípicas), lo que indica que esas observaciones estarían mal clasificadas.



**Gráfico 196: Coeficiente de silueta en K-medoides por retiro en ventanilla sin oficinas atípicas**  
**Elaboración Propia**

En consecuencia, se comprueba que la existencia de la Oficina Mercado Productores Santa Anita y Oficina Jockey Plaza no actúa en detrimento de la conformación de los clústeres inicialmente propuestos.



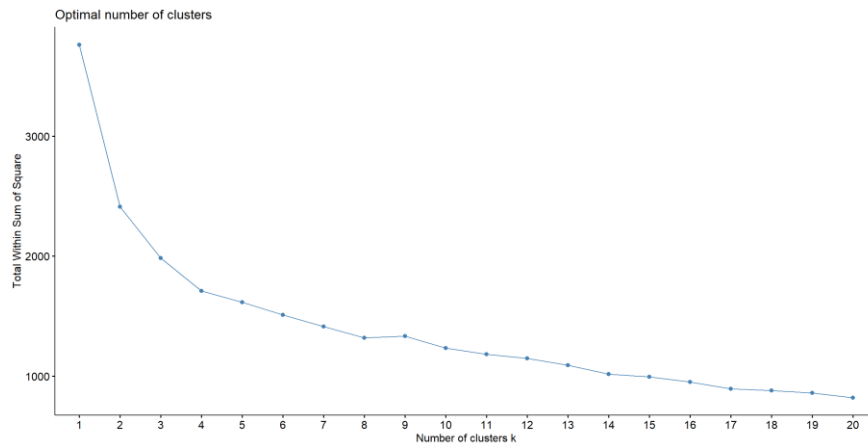
**Gráfico 197: Coeficiente de silueta en K-Medoides por retiro en ventanilla para K=2 sin oficinas atípicas  
Elaboración Propia**

Finalmente, si bien no existe afectación por la consideración de las oficinas antes mencionadas en el análisis, el presente método de k-medoides, no estaría brindando la conformación de conglomerados más adecuada. Esto se da ya que el mejor valor de silueta promedio presentado, que es con K=2, (0.337) es bajo y, además, el clúster 2 propuesto tiene observaciones con valores de silueta próximos a 0 e incluso negativos.

### 7.2.2. K-Medias

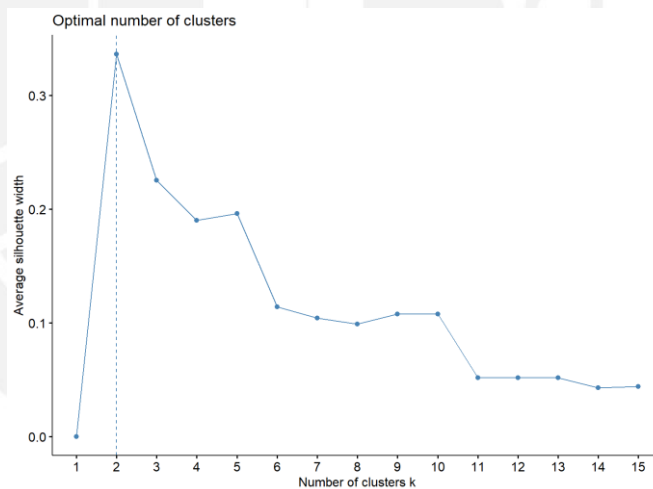
En particular, se buscará agrupar las oficinas conforme a comportamientos similares, para lo cual se considerará la distancia euclidiana, ya que el uso de esta métrica minimiza la distancia media entre los puntos y los centroides.

Asimismo, para elegir el número óptimo de clústeres, se ha visto por conveniente emplear dos métodos, el del codo y el del valor del coeficiente de silueta.



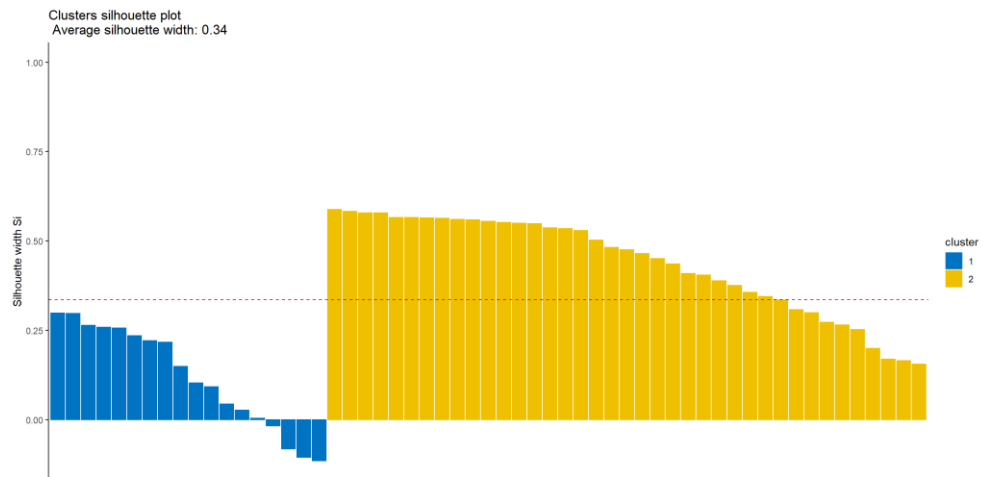
**Gráfico 198: Método del codo en K-Medias por retiro en ventanilla**  
Elaboración Propia

Cabe mencionar que, el método del codo se basa en identificar gráficamente el valor a partir del cual la reducción en la suma total de varianzas dentro del clúster deja de ser sustancial. En ese sentido, se aprecia, conforme al **Gráfico 198**, que el número óptimo de clústeres podría estar entre 2 y 14 ya que a partir de  $K=14$  apenas se consigue mejoría.



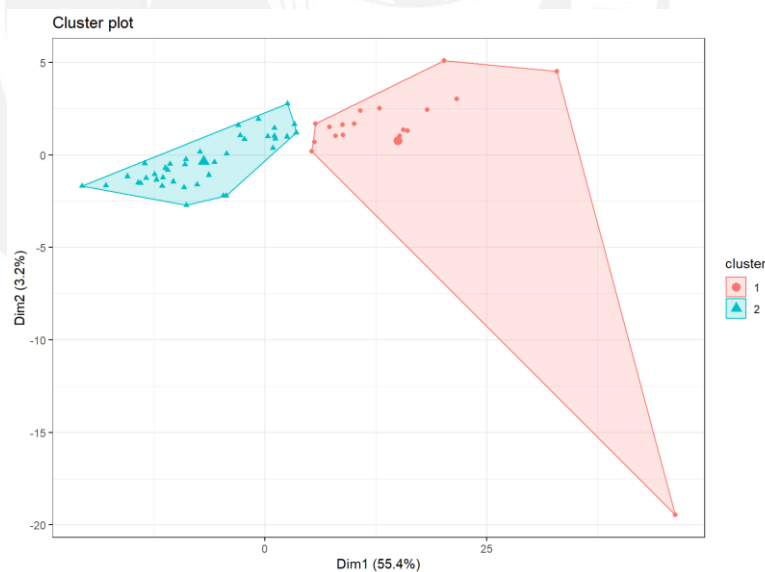
**Gráfico 199: Coeficiente de silueta en K-Medias por retiro en ventanilla**  
Elaboración Propia

Por otro lado, el método del coeficiente de silueta permitirá determinar cuál de dichos valores resulta más óptimo. Es así, que el valor más elevado del coeficiente de silueta promedio se da con  $K=2$  (0.336). En consecuencia, se podría concluir que el número óptimo de clústeres estaría con  $K=2$ , acorde a lo mostrado en el **Gráfico 199**.



**Gráfico 200: Coeficiente de silueta en K-Medias por retiro en ventanilla para K=2**  
Elaboración Propia

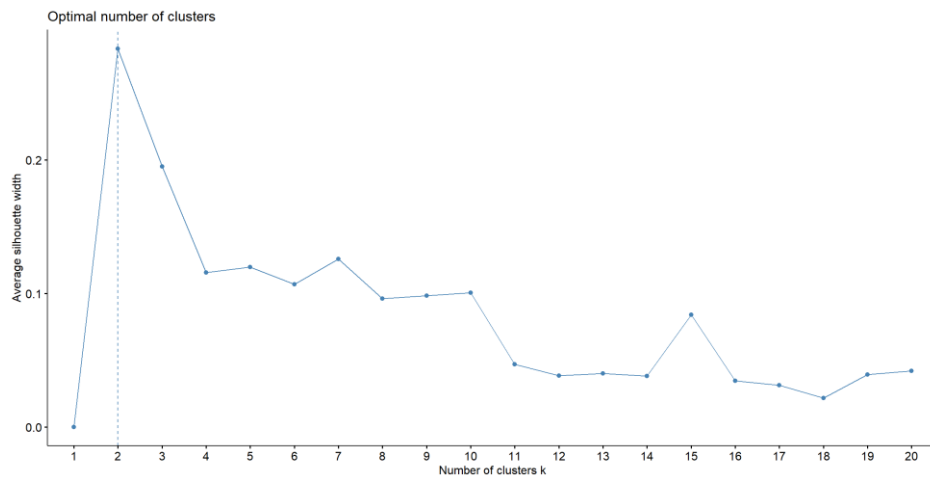
Sin embargo, conforme al **Gráfico 200**, se aprecia que el clúster 1 (azul) tiene observaciones con valores de silueta próximos a 0 e incluso negativos, lo que indica que esas observaciones podrían estar mal clasificadas. Más aún cuando presentan un valor de silueta promedio para ambos clústeres de 0.336 (bajo).



**Gráfico 201: K-Medias Clúster plot de principales componentes por retiro en ventanilla**  
Elaboración Propia

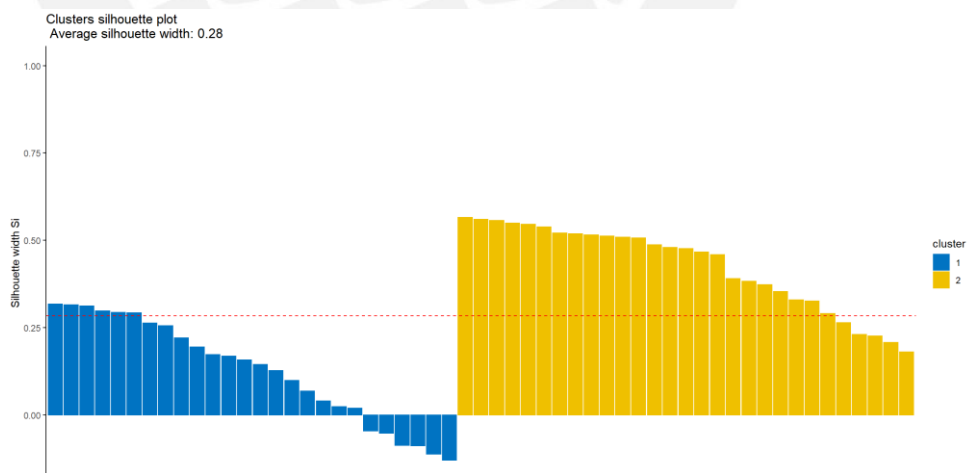
Por consiguiente, realizando un ploteo del gráfico de las 2 componentes principales que representan el 58.6% de la varianza total, acorde al **Gráfico 201**, se puede apreciar que los clústeres 1 (rojo) y 2 (verde) no son heterogéneos entre sí, ya que, si bien no se superponen entre sí, hay puntos

muy próximos a la frontera de ambos, lo que reafirmaría el análisis de silueta previamente realizado. Por lo cual, se reforzaría el hecho que la conformación de conglomerados no sería la más adecuada.



**Gráfico 202: Coeficiente de silueta en K-medias por retiro en ventanilla sin oficinas atípicas**  
Elaboración Propia

Por último, y similar a lo realizado en el análisis con k-medoides, ante la posibilidad de que la presencia de 2 oficinas aparentemente atípicas estuviese afectando la agrupación propuesta, se realizó un ploteo del coeficiente de silueta sin considerar a la Oficina Mercado Productores Santa Anita ni Jockey Plaza.



**Gráfico 203: Coeficiente de silueta en K-Medias por retiro en ventanilla para K=2 sin oficinas atípicas**  
Elaboración Propia

Es así que, conforme al **Gráfico 202**, se aprecia que para K=2 el coeficiente de silueta tiene un valor de 0.28 (más bajo que el originalmente obtenido sin atípicos). De igual manera, acorde al **Gráfico 203**, el clúster 1 tiene

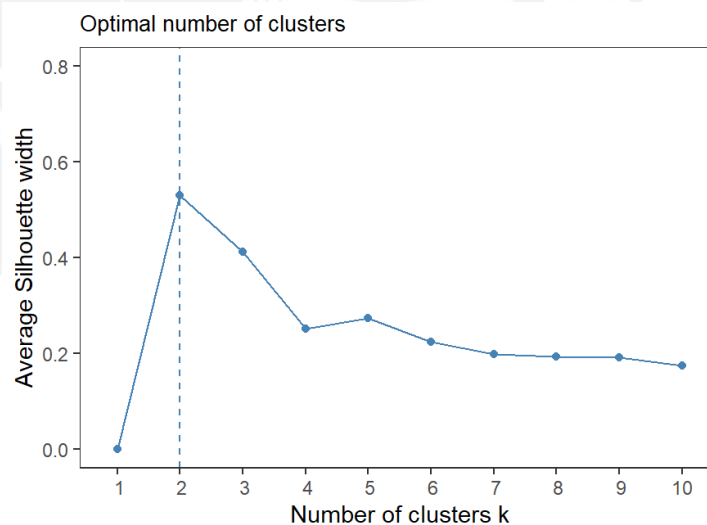
observaciones con valores de silueta negativos, lo que indica que esas observaciones podrían estar mal clasificadas.

En consecuencia, se comprueba que la existencia de la Oficina Mercado Productores Santa Anita y Oficina Jockey Plaza no actúa en detrimento del valor de la conformación de los clústeres inicialmente propuestos.

Finalmente, si bien no existe afectación por la consideración de las oficinas antes mencionadas en el análisis, el presente método de k-medias, no estaría brindando la conformación de conglomerados más adecuada. Esto se da ya que el mejor valor de silueta promedio presentado, que es con  $K=2$ , (0.336) es bajo y, además, el clúster 1 propuesto tiene observaciones con valores de silueta próximos a 0 e incluso negativos.

### 7.2.3. Jerárquico

En particular, se analizarán los conglomerados por el método jerárquico a partir del agrupamiento de oficinas con comportamiento temporal más similar de depósito en ventanilla considerando como distancia la deformación dinámica en el tiempo (DTW), en vez de la distancia euclidiana.



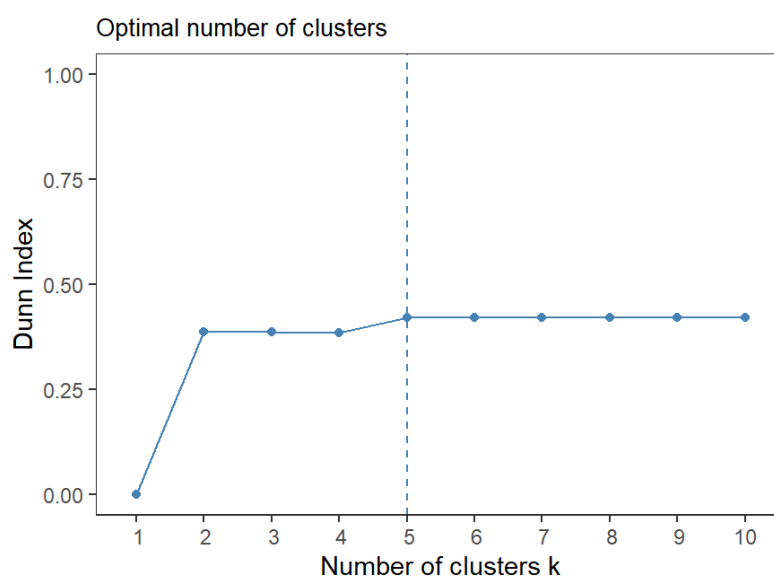
**Gráfico 204: Coeficiente de silueta en Jerárquico por retiro en ventanilla**  
**Elaboración Propia**

En ese sentido, se analizarán dos índices de validez de conglomerados, que son el coeficiente de silueta y el índice Dunn, a fin de determinar la calidad de una solución de agrupamiento definiendo una relación entre la cohesión dentro del conglomerado (homogeneidad) y la separación entre conglomerados (heterogeneidad). Cabe mencionar, que el índice de Dunn

es un indicador de tipo “el peor de los casos”, que mide la razón entre la separación mínima interclusters respecto a la separación máxima intracluster.

Es así, que los valores más elevados del coeficiente de silueta promedio se dan con  $K=2$  (0.529) y  $K=3$  (0.411), acorde a lo mostrado en el **Gráfico 204**.

Por otro lado, los valores más elevados del índice de Dunn se dan con  $K=2$  (0.388),  $K=3$  (0.388),  $K=4$  (0.388) y  $K=5$  (0.421), acorde a lo mostrado en el **Gráfico 205**. Por lo que se puede concluir que no hay mucha diferencia entre ellos.



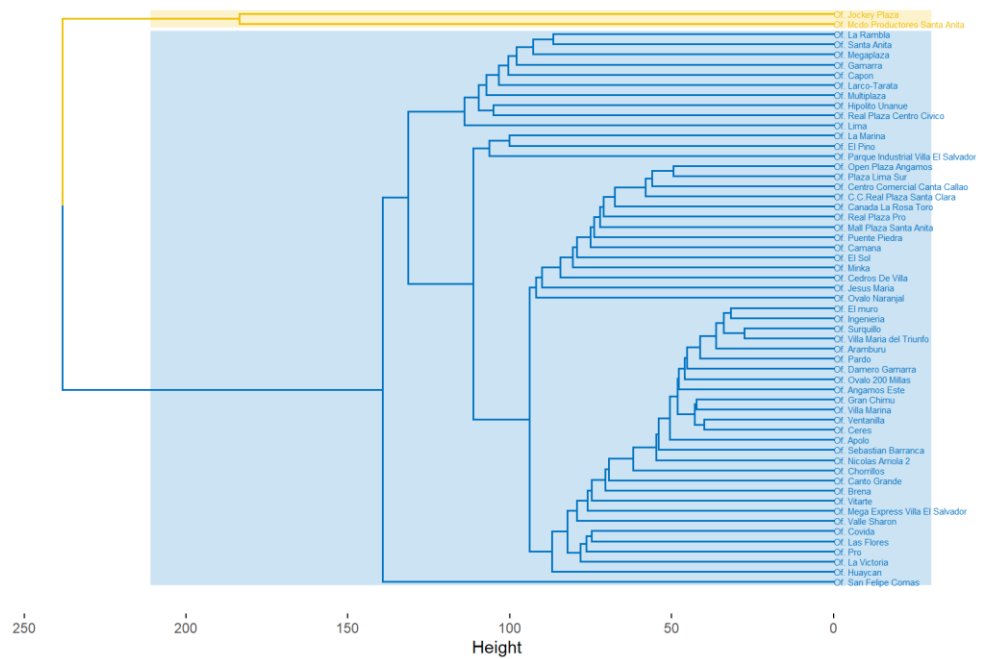
**Gráfico 205: Índice de Dunn en Jerárquico por retiro en ventanilla**  
**Elaboración Propia**

A continuación, se realizará un análisis por cada una de las combinaciones de conglomerados óptimos que se puede conformar.

En primer lugar, analizando el dendrograma con  $K=2$ , mostrado en el **Gráfico 206**, se aprecia a la oficina Mercado Productores Santa Anita y Jockey Plaza como elementos del primer clúster respecto al otro conglomerado con 55 oficinas. Para este caso se presenta un valor de silueta de 0.529, el cual indica que los clústeres estarían bien agrupados.

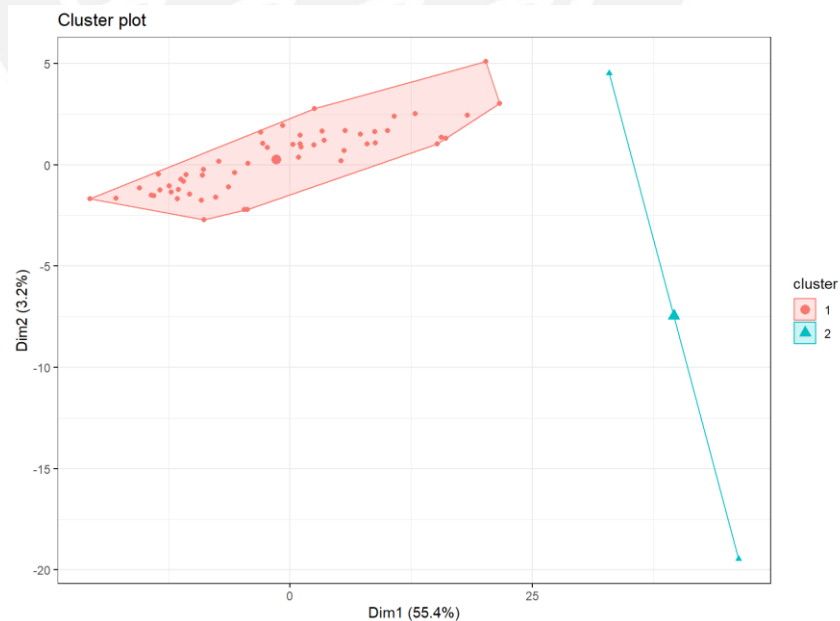
Asimismo, si bien el índice de Dunn tiene un valor de 0.388, que no es el más alto, tampoco existe mucha diferencia entre los índices de Dunn a partir de  $K=2$ . Por lo cual esta opción resultaría la más óptima bajo el criterio del índice de silueta.

Cluster Dendrogram



**Gráfico 206: Dendrograma (K=2) por retiro en ventanilla**  
**Elaboración Propia**

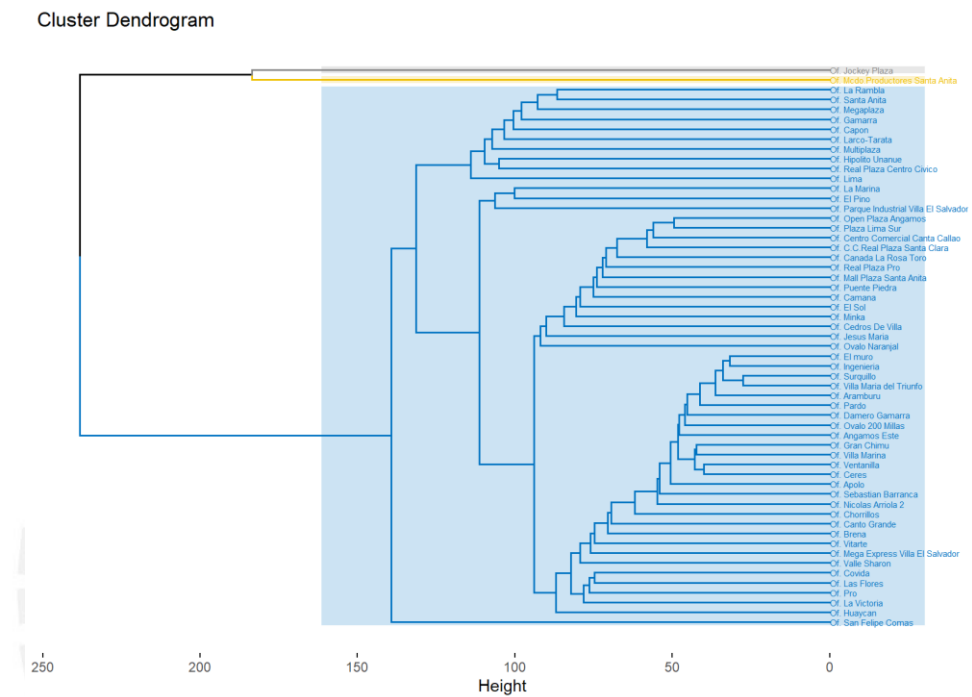
Además, acorde al **Gráfico 207**, realizando un ploteo de las 2 componentes principales que representan el 58.6% de la varianza total, se puede apreciar que los dos clústeres formados son homogéneos internamente y heterogéneos entre sí.



**Gráfico 207: Clúster plot Jerárquico (K=2) de principales componentes**  
**por retiro en ventanilla**  
**Elaboración Propia**



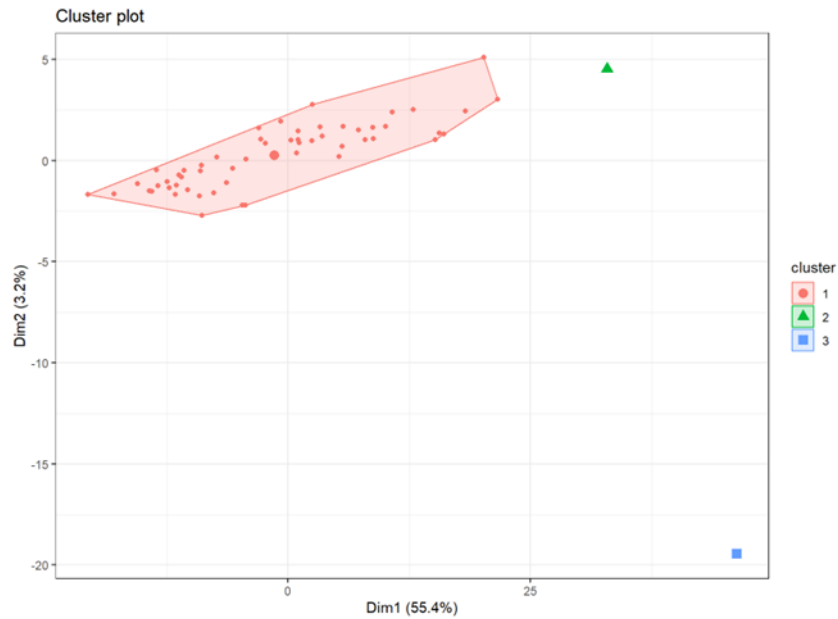
En segundo lugar, analizando el dendrograma con  $K=3$ , mostrado en el **Gráfico 208**, se aprecia a la oficina Mercado Productores Santa Anita como único elemento del primer clúster, a la oficina Jockey Plaza como elemento del segundo clúster y el tercero con 55. Para este caso se presenta un valor de silueta de 0.411 (el segundo más alto), el cual indica que los clústeres estarían bien agrupados.



**Gráfico 208: Dendrograma ( $K=3$ ) por retiro en ventanilla**  
Elaboración Propia

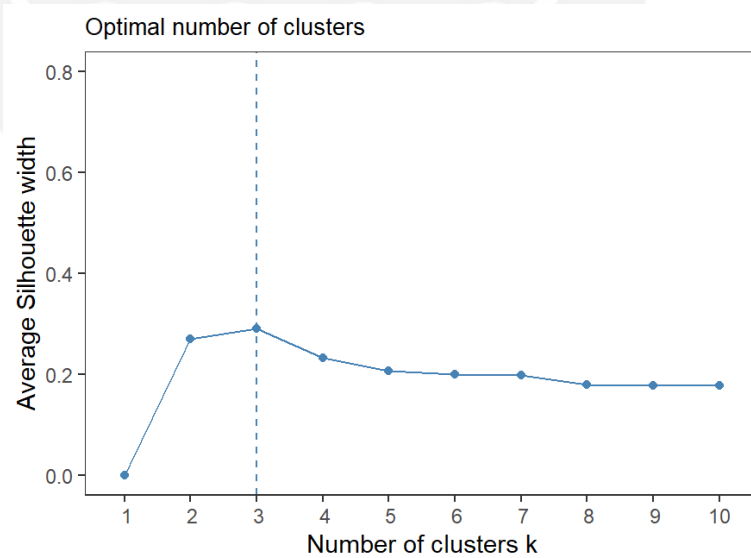
En ese sentido, acorde al **Gráfico 209**, realizando un ploteo de las 2 componentes principales que representan el 58.6% de la varianza total, se puede apreciar que los tres clústeres formados se muestran homogéneos internamente y heterogéneos entre sí.

En consecuencia, la mejor clusterización que se puede realizar para los retiros de efectivo en ventanilla se da con  $K=2$  de forma jerárquica, puesto que es la que presenta mayor coeficiente de silueta y, a su vez, en el gráfico de principales componentes se aprecian clústeres homogéneos internamente y heterogéneos entre sí.



**Gráfico 209: Clúster plot Jerárquico (K=3) de principales componentes por depósito en ventanilla  
Elaboración Propia**

Por último, y similar a lo realizado en el análisis con k-medias, ante la posibilidad de que la presencia de 2 oficinas aparentemente atípicas estuviese afectando la agrupación propuesta, se realizó un ploteo del coeficiente de silueta sin considerar a la Oficina Mercado Productores Santa Anita ni Jockey Plaza.



**Gráfico 210: Coeficiente de silueta en Jerárquico por retiro en ventanilla sin oficinas atípicas  
Elaboración Propia**

Es así que, conforme al **Gráfico 210**, se aprecia que a partir de  $K=2$  (0.269) todos los coeficientes de silueta son similares y tienen un valor inferior a 0.529. En consecuencia, se comprueba que la existencia de la Oficina Mercado Productores Santa Anita y Oficina Jockey Plaza no actúa en detrimento del valor de la conformación de los clústeres inicialmente propuestos.

Finalmente, esto reafirma que, para el presente método jerárquico, la alternativa de tener 2 conglomerados ( $K=2$ ) resulta la más óptima.

### 7.3. Resumen de resultados

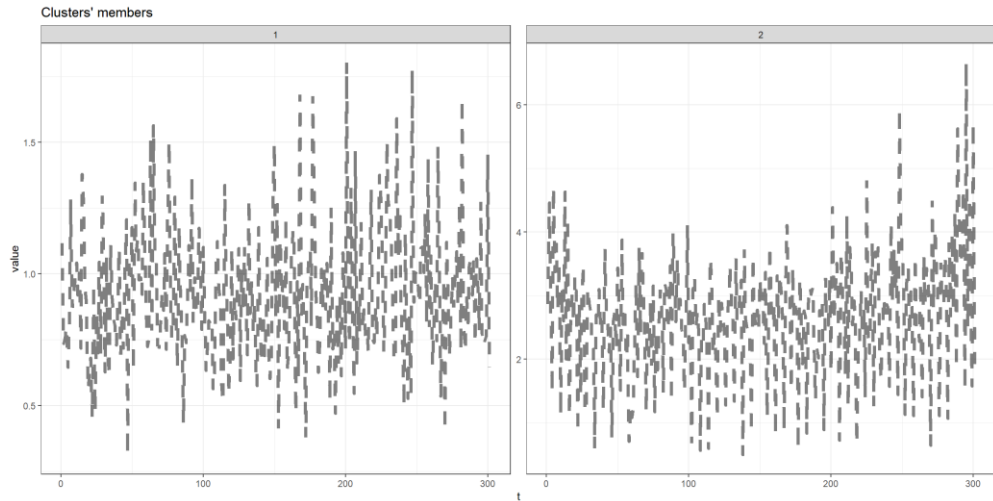
Luego de explorados todas las combinaciones de clústeres propuestos para obtener la agrupación de oficinas más apropiada, tanto por su naturaleza de retiros como de depósitos de efectivo, en la **Tabla 5** se puede apreciar el resumen de los resultados obtenidos.

**Tabla 5: Resumen de clústeres Seleccionados por Transacción**

TIPO DE TRANSACCIÓN	K ÓPTIMO	MÉTODO	DISTANCIA	COEFICIENTE DE SILUETA
DEPÓSITO	2	K-MEDOIDES	DTW	0.681
RETIRO	2	JERÁRQUICO	DTW	0.529

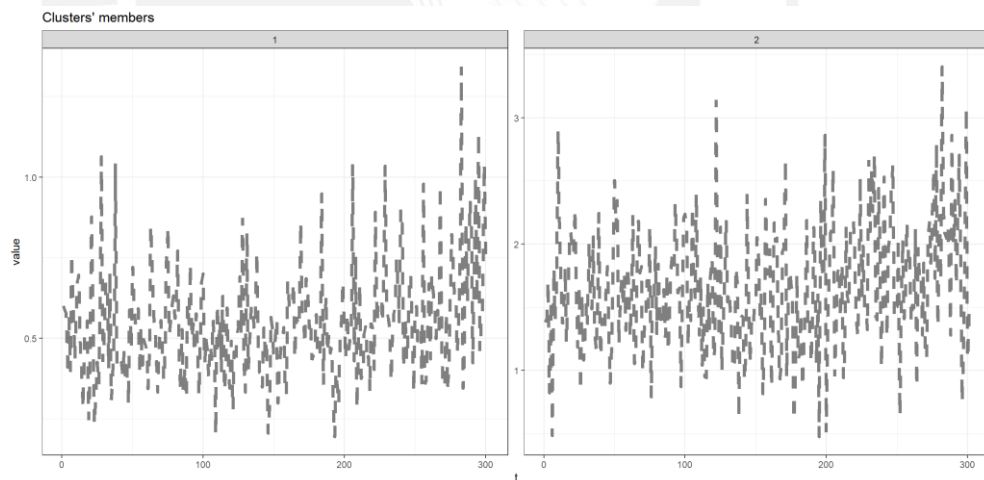
**Elaboración propia**

Es así que, comparando los mejores clústeres en cada uno de los métodos para depósitos de efectivo, considerando el valor de silueta más alto entre ellos se elige la alternativa de  $K=2$  por el método de K-medoides. Así pues, conforme al **Gráfico 211**, se muestra que los 2 clústeres óptimos conformados presentan series temporales de depósitos medios diarios de 956 872 y 2 755 813 soles, con tamaños de 53 y 4 oficinas respectivamente, siendo esta la mejor clusterización presentada.



**Gráfico 211: Centroides K-Medoides Clúster por depósito en ventanilla  
Elaboración Propia**

Por otro lado, comparando los mejores clústeres en cada uno de los métodos para retiros de efectivo, considerando el valor de silueta más alto entre ellos se elige la alternativa de  $K=2$  por el método jerárquico. Así pues, conforme al **Gráfico 212**, se muestra que los 2 clústeres óptimos conformados presentan series temporales de retiros medios diarios de 742 470 y 1 838 644 soles, así como tamaños de 55 y 2 oficinas respectivamente.



**Gráfico 212: Centroides Clúster Jerárquico por retiro en ventanilla  
Elaboración Propia**

## Capítulo 8. Modelamiento Analítico

En el presente capítulo se realizará el modelamiento analítico de las oficinas a fin de predecir de la mejor forma los comportamientos temporales de depósito y retiro en ventanilla.

### 8.1. Depósito Ventanilla

Respecto a los depósitos en ventanilla se analizarán los 2 clústeres conformados mediante el método de K-medoides, a fin de obtener los modelos más apropiados conforme a comportamientos similares, tomando como referencia para el rubro de Cash Management, el MAPE obtenido por López Lázaro et al. (2018), en el primer trabajo de investigación donde se realiza un pronóstico de demanda como input para optimizar los costos logísticos mediante métodos de programación lineal.

Cabe mencionar, que se ha utilizado un data training con 67% de los valores a lo largo del periodo de análisis y un data testing con el restante 33%.

#### 8.1.1. Clúster 1

Para el primer clúster que cuenta con 53 oficinas se han realizado los siguientes modelos:

##### 8.1.1.1. Arima

El modelo de serie temporal que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas es una regresión con ARIMA(1,0,0)(1,0,1)[6] errores. Lo cual indica que este modelo tiene una parte no estacional de primer orden autorregresivo, sin diferencias ni orden de media móvil. Asimismo, presenta una parte estacional de primer orden, sin diferencias y media móvil de primer orden con datos diarios.

Esto se podrá apreciar conforme a las ecuaciones 1 y 2 que se muestran a continuación:

$$y_t = 709711.60 + 274882.30 * of_{i_{101}_t} + 926771.98 * of_{i_{103}_t} - 164316.82 * of_{i_{108}_t} - 58235.13 * of_{i_{113}_t} + 163997.21 * of_{i_{115}_t} + 533144.25 * of_{i_{117}_t} - 235705.13 * of_{i_{125}_t} + 301312.11 * of_{i_{127}_t} + 230571.94 * of_{i_{128}_t} + 10445.21 * of_{i_{129}_t} + 541080.67 * of_{i_{130}_t} + 84644.32 * of_{i_{133}_t} + 27739.06 * of_{i_{137}_t} + 328063.20 * of_{i_{140}_t} +$$

$$\begin{aligned}
& 196254.18 * of_{i_{146}t} - 276895.73 * of_{i_{149}t} - 176990.49 * of_{i_{156}t} + \\
& 481054.55 * of_{i_{163}t} + 751443.09 * of_{i_{174}t} + 688851.71 * of_{i_{175}t} + \\
& 637627.02 * of_{i_{183}t} + 536849.95 * of_{i_{186}t} - 167993.76 * of_{i_{187}t} + \\
& 141372.0 * of_{i_{197}t} + 328569.62 * of_{i_{234}t} + 19896.08 * of_{i_{242}t} + \\
& 474847.65 * of_{i_{253}t} + 171975.26 * of_{i_{256}t} + 47434.79 * of_{i_{257}t} + \\
& 441616.1 * of_{i_{259}t} - 238673.16 * of_{i_{259}t} + 62817.91 * of_{i_{312}t} + \\
& 765168.18 * of_{i_{316}t} + 116127.98 * of_{i_{317}t} + 224511.06 * of_{i_{322}t} + \\
& 413994.23 * of_{i_{335}t} + 333698.70 * of_{i_{339}t} + 90641.82 * of_{i_{341}t} + \\
& 409311.54 * of_{i_{342}t} + 67134.36 * of_{i_{396}t} - 103853.70 * of_{i_{480}t} + \\
& 176294.35 * of_{i_{484}t} + 168153.54 * of_{i_{508}t} - 70480.62 * of_{i_{616}t} - \\
& 119781.80 * of_{i_{659}t} + 467463.31 * of_{i_{712}t} + 542051.85 * of_{i_{750}t} + \\
& 629227.0 * of_{i_{752}t} + 355147.58 * of_{i_{832}t} + 59347.72 * of_{i_{849}t} + \\
& 100971.18 * of_{i_{857}t} + 445454.34 * of_{i_{970}t} + \eta_t \quad \dots (1)
\end{aligned}$$

$$\eta_t = 0.0945\eta_{t-1} + 0.815\eta_{t-6} + \varepsilon_t - 0.7405\varepsilon_{t-6} \quad \dots (2)$$

$$\varepsilon_t \sim NID(0, 1.121 * 10^{11})$$

Asimismo, conforme a la **Tabla 6**, con el presente modelo se obtuvo un MAPE (error porcentual absoluto medio) de 30.47% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial de López Lázaro et al. (2018), para el rubro de Cash Management. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 6: Resumen de Resultados ARIMA Depósitos Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
270,754	30.47	0.56	27.64	366,629

Elaboración propia

### 8.1.1.2. ARIMA boost

Si bien agregar un aumento de gradiente al modelo ARIMA contribuye a incrementar la complejidad en el procedimiento de ajuste, también puede mejorar la precisión si es que se utiliza en conjunto, a fin de optimizar nuevos parámetros en cada ronda de aumento.

En ese sentido, el modelo de regresión ARIMA Boost, que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas, es un modelo ARIMA (3,0,4)(2,0,1)[6] WITH NON-ZERO MEAN

W/ XGBOOST ERRORS que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 7**.

**Tabla 7: Hiperparámetros ARIMA Boost Depósitos Ventanilla K=1**

Parámetro	Valor
eta	0.3
max_depth	6
gamma	0
min_child_weight	1
subsample	1
nrounds	15
nthread	1

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 8**, con el presente modelo se obtuvo un MAPE (error porcentual absoluto medio) de 34.18% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, pero no mejor que la del modelo ARIMA inicial. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 8: Resumen de Resultados ARIMA Boost Depósitos Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
289,617	34.18	0.59	29.64	389,940

**Elaboración propia**

### 8.1.1.3. Suavizado Exponencial (ETS)

El modelo de suavizado exponencial que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno con parámetro de suavizado  $\text{Alpha}=0.0158$ . Esto se da a fin de no reaccionar ajustando los pronósticos muy rápidamente, debido a la variabilidad aleatoria que presenta la serie de tiempo.

**Tabla 9: Resumen de Resultados ETS Depósitos Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
366,794	41.47	0.75	37.44	495,002

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 9**, con el presente modelo se obtuvo un MAPE (error porcentual absoluto medio) de 41.47% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que la del

modelo ARIMA inicial. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

#### 8.1.1.4. Autorregresión de Red Neuronal (NNAR)

Con datos de series de tiempo, los valores retrasados de la serie de tiempo se pueden usar como entradas para una red neuronal. En ese sentido, el modelo de regresión NNAR que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas, es un modelo NNAR (1,1,10)[6] con entradas  $y_{t-1}, y_{t-6}$  y diez neuronas en la capa ocultas.

**Tabla 10: Resumen de Resultados NNAR Depósitos Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
269,466	30.91	0.55	27.54	361,595

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 10**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 30.91% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, pero no mejor que la del modelo ARIMA inicial. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

#### 8.1.1.5. Random Forest

El modelo de Random Forest inicial que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 11**.

**Tabla 11: Hiperparámetros Random Forest Depósitos Ventanilla K=1**

Parámetro	Valor
number of trees	500
sample size	11872
mtry	10
target node size	5

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 12**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 30.03% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, e incluso mejor que la del modelo ARIMA inicial.



Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 12: Resumen de Resultados RF Depósitos Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
262,775	30.03	0.54	26.75	357,355

**Elaboración propia**

#### 8.1.1.6. Random Forest afinado

Luego de realizar el afinamiento de los hiperparámetros, el modelo de Random Forest que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 13**.

**Tabla 13: Hiperparámetros Random Forest Afinado Depósitos Ventanilla K=1**

Parámetro	Valor
number of trees	600
sample size	11872
mtry	15
target node size	30

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 14**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 29.62% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, e incluso mejor que la del modelo Random Forest. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 14: Resumen de Resultados RF Afinado Depósitos Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
261,482	29.62	0.54	26.60	354,279

**Elaboración propia**

#### 8.1.1.7. XGBoost

El modelo de XGBoost inicial que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 15**.

**Tabla 15: Hiperparámetros XGBoost Depósitos Ventanilla K=1**

Parámetro	Valor
eta	0.3
max depth	6
gamma	0
colsample_bytree	1
colsample_bynode	1
min_child_weight	1
subsample	1
nthread	1
number of rounds	15

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 16**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 32.61% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, pero no mejor que la del modelo Random Forest afinado. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 16: Resumen de Resultados XGBoost Depósitos Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
282,897	32.61	0.58	28.95	381,923

**Elaboración propia**

#### 8.1.1.8. XGBoost Afinado

Luego de realizar el afinamiento de los hiperparámetros, el modelo de XGBoost que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 17**.

**Tabla 17: Hiperparámetros XGBoost Afinado Depósitos Ventanilla K=1**

Parámetro	Valor
eta	0.22
max depth	4
gamma	8E-08
colsample_bytree	1
colsample_bynode	0.02
min_child_weight	15
subsample	0.92
nthread	1
number of rounds	740

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 18**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 29.34% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, e incluso mejor que la del modelo Random Forest afinado. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 18: Resumen de Resultados XGBoost Afinado Depósitos Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
261,180	29.34	0.54	26.68	354,063

Elaboración propia

#### 8.1.1.9. Modelo Lineal Generalizado (GLM)

El modelo lineal generalizado más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno con parámetro penalidad de 0.01.

**Tabla 19: Resumen de Resultados GLM Depósitos Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
259,938	29.08	0.53	26.67	353,620

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 19**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 29.08% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, y el mejor de todos los modelos antes desarrollados. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

### 8.1.2. Clúster 2

Para el segundo clúster que cuenta con 4 oficinas se han realizado los siguientes modelos:

#### 8.1.2.1. ARIMA

El modelo de serie temporal que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas es una regresión con ARIMA (3,0,2)(1,0,2)[6] errores. Lo cual indica que este modelo tiene una parte no estacional de tercer orden autorregresivo, sin

diferencias y media móvil de segundo orden. Asimismo, presenta una parte estacional de primer orden, sin diferencias y media móvil de segundo orden con datos diarios.

Esto se podrá apreciar conforme a las ecuaciones 3 y 4 que se muestran a continuación:

$$y_t = 2566806.60 - 275676 * ofi_{244t} + 1060186.6 * ofi_{332t} - 382570.90 * ofi_{360t} + \eta_t \quad \dots (3)$$

$$\eta_t = 0.9868\eta_{t-1} - 0.6352\eta_{t-2} - 0.0049\eta_{t-3} - 0.9395\eta_{t-6} + \varepsilon_t - 0.6877\varepsilon_{t-1} + 0.5541\varepsilon_{t-2} + 0.9526\varepsilon_{t-6} + 0.0769\varepsilon_{t-12} \quad \dots (4)$$

$$\varepsilon_t \sim NID(0, 7.698 * 10^{11})$$

Asimismo, conforme a la **Tabla 20**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 39.33% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 20: Resumen de Resultados ARIMA Depósitos Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
927,400	39.33	0.63	33.58	1,179,402

Elaboración propia

### 8.1.2.2. ARIMA boost

Si bien agregar un aumento de gradiente al modelo ARIMA contribuye a incrementar la complejidad en el procedimiento de ajuste, también puede mejorar la precisión si es que se utiliza en conjunto, a fin de optimizar nuevos parámetros en cada ronda de aumento.

**Tabla 21: Hiperparámetros ARIMA Boost Depósitos Ventanilla K=2**

Parámetro	Valor
eta	0.3
max_depth	6
gamma	0
min_child_weight	1
subsample	1
nrounds	15
nthread	1

Elaboración propia

En ese sentido, el modelo de regresión ARIMA Boosted, que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas, es un modelo ARIMA(3,0,0)(2,0,0)[6] WITH NON-ZERO MEAN W/ XGBOOST ERRORS que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 21**.

**Tabla 22: Resumen de Resultados ARIMA Boost Depósitos Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
798,085	31.60	0.54	28.92	1,044,986

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 22**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 31.60% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, e incluso mejor que el del modelo ARIMA inicial. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

### 8.1.2.3. Suavizado Exponencial (ETS)

El modelo de suavizado exponencial que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno con parámetros de suavizado Alpha=0.0212 y gamma=1e-04. Esto se da a fin de no reaccionar ajustando los pronósticos muy rápidamente, debido a la variabilidad aleatoria que presenta la serie de tiempo.

**Tabla 23: Resumen de Resultados ETS Depósitos Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
1,007,571	40.14	0.69	35.98	1,285,320

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 23**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 40.14% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que la del modelo ARIMA Boost. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

#### 8.1.2.4. Autorregresión de Red Neuronal (NNAR)

Con datos de series de tiempo, los valores retrasados de la serie de tiempo se pueden usar como entradas para una red neuronal. En ese sentido, el modelo de regresión NNAR que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas, es un modelo NNAR (1,1,10)[6] con entradas  $y_{t-1}, y_{t-6}$  y diez neuronas en la capa ocultas.

**Tabla 24: Resumen de Resultados NNAR Depósitos Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
910,710	41.21	0.62	33.10	1,156,251

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 24**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 41.21% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que la del modelo ARIMA Boost. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

#### 8.1.2.5. Modelo Lineal Generalizado (GLM)

El modelo lineal generalizado más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno con parámetro penalidad de 0.01.

**Tabla 25: Resumen de Resultados GLM Depósitos Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
672,893	26.66	0.46	25.26	880,285

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 25**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 26.66% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, e incluso mejor que la del modelo ARIMA Boost. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

### 8.1.2.6. Random Forest

El modelo de Random Forest inicial que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 26**.

**Tabla 26: Hiperparámetros Random Forest Depósitos Ventanilla K=2**

Parámetro	Valor
number of trees	500
sample size	896
mtry	8
target node size	5

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 27**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 28.11% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que la del modelo Lineal Generalizado. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 27: Resumen de Resultados RF Depósitos Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
752,057	28.11	0.51	26.77	1,007,140

**Elaboración propia**

### 8.1.2.7. Random Forest Afinado

Luego de realizar el afinamiento de los hiperparámetros, el modelo de Random Forest que más se adapta para realizar los pronósticos de retiros de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 28**.

**Tabla 28: Hiperparámetros Random Forest Afinado Depósitos Ventanilla K=2**

Parámetro	Valor
number of trees	600
sample size	896
mtry	16
target node size	13

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 29**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 26.78% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro



de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que la del modelo Lineal Generalizado. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 29: Resumen de Resultados RF Afinado Retiros Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
704,044	26.78	0.48	25.47	950,433

Elaboración propia

#### 8.1.2.8. XGBoost

El modelo de XGBoost inicial que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 30**.

**Tabla 30: Hiperparámetros XGBoost Depósitos Ventanilla K=2**

Parámetro	Valor
eta	0.3
max depth	6
gamma	0
colsample_bytree	1
colsample_bynode	1
min_child_weight	1
subsample	1
nthread	1
number of rounds	15

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 31**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 27.65% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que la del modelo Lineal Generalizado. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 31: Resumen de Resultados XGBoost Depósitos Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
741,319	27.65	0.50	27.46	1,015,490

Elaboración propia

#### 8.1.2.9. XGBoost Afinado

Luego de realizar el afinamiento de los hiperparámetros, el modelo de XGBoost que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de



efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 32**.

**Tabla 32: Hiperparámetros XGBoost Afinado Depósitos Ventanilla K=2**

Parámetro	Valor
eta	0.02
max depth	14
gamma	1.98
colsample_bytree	1
colsample_bynode	0.08
min_child_weight	22
subsample	0.77
nthread	1
number of rounds	510

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 33**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 26.61% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, y el mejor de todos los modelos antes desarrollados. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 33: Resumen de Resultados XGBoost Afinado Depósitos Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
703,212	26.61	0.48	25.34	941,450

**Elaboración propia**

## 8.2. Retiro Ventanilla

Respecto a los retiros en ventanilla se analizarán los 2 clústeres conformados mediante el método jerárquico, a fin de obtener los modelos más apropiados conforme a comportamientos similares, tomando como referencia para el rubro de Cash Management, obtenido por López Lázaro et al. (2018), en el primer trabajo de investigación donde se realiza un pronóstico de demanda como input para optimizar los costos logísticos mediante métodos de programación lineal.

Cabe mencionar, que se ha utilizado un data training con 67% de los valores a lo largo del periodo de análisis y un data testing con el restante 33%.

### 8.2.1. Clúster 1

Para el primer clúster que cuenta con 55 oficinas se han realizado los siguientes modelos:

#### 8.2.1.1. ARIMA boost

Si bien agregar un aumento de gradiente al modelo ARIMA contribuye a incrementar la complejidad en el procedimiento de ajuste, también puede mejorar la precisión si es que se utiliza en conjunto, a fin de optimizar nuevos parámetros en cada ronda de aumento.

**Tabla 34: Hiperparámetros ARIMA Boost Retiros Ventanilla K=1**

Parámetro	Valor
eta	0.3
max_depth	6
gamma	0
min_child_weight	1
subsample	1
nrounds	15
nthread	1

**Elaboración propia**

En ese sentido, el modelo de regresión ARIMA Boosted, que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas, es un modelo ARIMA(0,1,1)(1,0,0)[6] W/ XGBOOST ERRORS que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 34**.

**Tabla 35: Resumen de Resultados ARIMA Boost Retiros Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
270,560	43.95	0.58	35.81	365,522

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 35**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 43.95% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

#### 8.2.1.2. Suavizado Exponencial (ETS)

El modelo de suavizado exponencial que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno con parámetro de suavizado Alpha=0.0158. Esto se da a fin de no reaccionar

ajustando los pronósticos muy rápidamente, debido a la variabilidad aleatoria que presenta la serie de tiempo.

**Tabla 36: Resumen de Resultados ETS Retiros Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
353,268	62.45	0.75	46.16	458,674

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 36**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 62.45% diario, lo cual indica un performance no aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

### 8.2.1.3. Autorregresión de Red Neuronal (NNAR)

Con datos de series de tiempo, los valores retrasados de la serie de tiempo se pueden usar como entradas para una red neuronal. En ese sentido, el modelo de regresión NNAR que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas, es un modelo NNAR (1,1,10)[6] con entradas  $y_{t-1}, y_{t-6}$  y diez neuronas en la capa ocultas.

**Tabla 37: Resumen de Resultados NNAR Retiros Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
248,859	37.84	0.53	32.53	345,574

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 37**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 37.84% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, e incluso mejor que la del modelo ARIMA Boost. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

### 8.2.1.4. Modelo Lineal Generalizado (GLM)

El modelo lineal generalizado más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno con parámetro penalidad de 0.01.

**Tabla 38: Resumen de Resultados GLM Retiros Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
245,199	37.95	0.52	32.37	334,453

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 38**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 37.95% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que la del modelo de Autorregresión de Red Neuronal. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

#### 8.2.1.5. Random Forest

El modelo de Random Forest inicial que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 39**.

**Tabla 39: Hiperparámetros Random Forest Retiros Ventanilla K=1**

Parámetro	Valor
number of trees	500
sample size	896
mtry	8
target node size	5

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 40**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 39.86% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que la del modelo de Autorregresión de Red Neuronal. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 40: Resumen de Resultados RF Retiros Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
250,777	39.86	0.53	32.82	343,213

Elaboración propia

#### 8.2.1.6. Random Forest Afinado

Luego de realizar el afinamiento de los hiperparámetros, el modelo de Random Forest que más se adapta para realizar los pronósticos de retiros

de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 41**.

**Tabla 41: Hiperparámetros Random Forest Afinado Retiros Ventanilla K=1**

Parámetro	Valor
number of trees	600
sample size	12320
mtry	15
target node size	35

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 42**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 38.89% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que el del modelo de Autorregresión de Red Neuronal. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 42: Resumen de Resultados RF Afinado Retiros Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
247,949	38.89	0.53	32.34	340,327

**Elaboración propia**

### 8.2.1.7. XGBoost

El modelo de XGBoost inicial que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 43**.

**Tabla 43: Hiperparámetros XGBoost Retiros Ventanilla K=1**

Parámetro	Valor
eta	0.3
max depth	6
gamma	0
colsample_bytree	1
colsample_bynode	1
min_child_weight	1
subsample	1
nthread	1
number of rounds	15

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 44**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 43.19% diario, lo cual indica un

performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que el del modelo de Autorregresión de Red Neuronal. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 44: Resumen de Resultados XGBoost Retiros Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
269,949	43.19	0.57	35.76	365,240

Elaboración propia

### 8.2.1.8. XGBoost Afinado

Luego de realizar el afinamiento de lo hiperparámetros, el modelo de XGBoost que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 45**.

**Tabla 45: Hiperparámetros XGBoost Afinado Retiros Ventanilla K=1**

Parámetro	Valor
eta	0.01
max depth	12
gamma	0.05
colsample_bytree	1
colsample_bynode	0.03
min_child_weight	10
subsample	0.46
nthread	1
number of rounds	1000

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 46**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 39.17% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que el del modelo de Autorregresión de Red Neuronal. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 46: Resumen de Resultados XGBoost Afinado Retiros Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
244,977	39.17	0.52	32.16	332,129

Elaboración propia

### 8.2.1.9. ARIMA

El modelo de serie temporal que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas es una regresión con ARIMA (2,1,1)(1,0,1)[6] errores. Lo cual indica que este modelo tiene una parte no estacional de segundo orden autorregresivo, integrada de primer orden y media móvil de primer orden. Asimismo, presenta una parte estacional de primer orden, sin diferencias y media móvil de primer orden con datos diarios.

Esto se podrá apreciar conforme a las ecuaciones 5 y 6 que se muestran a continuación:

$$\begin{aligned}
 y_t = & y_0 + 709711.6t + 308734.11 * ofi_{101t} + 629416.7 * ofi_{103t} - \\
 & 6027.814 * ofi_{108t} - 171431.46 * ofi_{113t} + 167762.61 * ofi_{115t} + \\
 & 661078 * ofi_{117t} - 67049.38 * ofi_{125t} + 253237.23 * ofi_{127t} + 171205 * \\
 & ofi_{128t} + 25044.83 * ofi_{129t} + 469436.69 * ofi_{130t} - 241300.51 * ofi_{133t} - \\
 & 45865.86 * ofi_{137t} + 440693.24 * ofi_{140t} + 701317.04 * ofi_{144t} - \\
 & 15681.05 * ofi_{146t} - 15681.05 * ofi_{149t} - 120652.87 * ofi_{156t} - 63672.66 * \\
 & ofi_{163t} + 594996.32 * ofi_{174t} + 789490.82 * ofi_{175t} + 500589.98 * \\
 & ofi_{183t} + 659020.6 * ofi_{186t} - 136479.78 * ofi_{187t} - 15276.05 * ofi_{197t} + \\
 & 381152.76 * ofi_{234t} - 86346.88 * ofi_{242t} + 706831.64 * ofi_{244t} + 313168 * \\
 & ofi_{253t} - 128317.66 * ofi_{256t} - 51309.03 * ofi_{257t} + 243446.54 * ofi_{259t} - \\
 & 238673.16 * ofi_{259t} - 91724.94 * ofi_{282t} + 182564.14 * ofi_{312t} + \\
 & 263594.23 * ofi_{316t} + 116325.08 * ofi_{317t} + 25973.75 * ofi_{322t} + \\
 & 423529.95 * ofi_{335t} + 47875.04 * ofi_{339t} + 236512.51 * ofi_{341t} + \\
 & 515684.8 * ofi_{342t} + 103891.14 * ofi_{396t} + 294158.96 * ofi_{480t} + \\
 & 98354.82 * ofi_{484t} + 93190.86 * ofi_{508t} - 44782.64 * ofi_{616t} - \\
 & 119942.86 * ofi_{659t} + 392530.32 * ofi_{712t} + 252333.84 * ofi_{750t} + \\
 & 515166.04 * ofi_{752t} + 415552.82 * ofi_{832t} + 217656.56 * ofi_{849t} + \\
 & 83417.55 * ofi_{857t} + 330983.01 * ofi_{970t} + \eta_t \quad \dots (5)
 \end{aligned}$$

$$\eta_t = 1.0306\eta_{t-1} + 0.0376\eta_{t-2} + 0.458\eta_{t-6} + \varepsilon_t - 0.964\varepsilon_{t-1} - 0.4408\varepsilon_{t-6} \quad \dots (6)$$

$$\varepsilon_t \sim NID(0, 9.551 * 10^{10})$$

Asimismo, conforme a la **Tabla 47**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 36.91% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, y el mejor de todos los modelos antes desarrollados. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 47: Resumen de Resultados ARIMA Retiros Ventanilla K=1**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
250,381	36.91	0.53	32.61	350,882

Elaboración propia

### 8.2.2. Clúster 2

Para el segundo clúster que cuenta con 2 oficinas se han realizado los siguientes modelos:

#### 8.2.2.1. ARIMA

El modelo de serie temporal que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas es una regresión con ARIMA (0,0,1) errores. Lo cual indica que este modelo tiene solo una parte no estacional sin orden autorregresivo, sin diferencias y media móvil de primer orden.

Esto se podrá apreciar conforme a las ecuaciones 7 y 8 que se muestran a continuación:

$$y_t = 1582688.59 + 409512.51 * ofi_{360_t} + \eta_t \quad \dots (7)$$

$$\eta_t = \varepsilon_t + 0.1028\varepsilon_{t-1} \quad \dots (8)$$

$$\varepsilon_t \sim NID(0, 3.862 * 10^{11})$$

Asimismo, conforme a la **Tabla 48**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 32.74% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indicado que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.



**Tabla 48: Resumen de Resultados ARIMA Retiros Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
561,986	32.74	0.74	29.40	725,904

Elaboración propia

### 8.2.2.2. Suavizado Exponencial (ETS)

El modelo de suavizado exponencial que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno con parámetros de suavizado  $\text{Alpha}=1\text{e-}04$  y  $\text{gamma}=1\text{e-}04$ . Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indicado que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 49: Resumen de Resultados ETS Retiros Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
567,367	32.66	0.75	29.77	737,853

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 49**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 32.66% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, e incluso mejor que el del modelo ARIMA inicial. Por otro lado, el MASE (error absoluto en escala de media) se encuentra más cercano a 1, por lo que el pronóstico resulta ser solo un poco mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

### 8.2.2.3. Autorregresión de Red Neuronal (NNAR)

Con datos de series de tiempo, los valores retrasados de la serie de tiempo se pueden usar como entradas para una red neuronal. En ese sentido, el modelo de regresión NNAR que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas, es un modelo NNAR (1,1,10)[6] con entradas  $y_{t-1}, y_{t-6}$  y diez neuronas en la capa ocultas.

**Tabla 50: Resumen de Resultados NNAR Retiros Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
559,483	33.48	0.74	29.24	721,532

Elaboración propia

Asimismo, conforme a la **Tabla 50**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 33.48% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro

de Cash Management, antes mencionado, pero no mejor que el del modelo de Suavizado Exponencial. Por otro lado, el MASE (error absoluto en escala de media) se encuentra más cercano a 1, por lo que el pronóstico resulta ser solo un poco mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

#### 8.2.2.4. XGBoost Afinado

Luego de realizar el afinamiento de los hiperparámetros, el modelo de XGBoost que más se adapta para realizar los pronósticos de retiro de efectivo en ventanilla de las oficinas es uno que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 51**.

**Tabla 51: Hiperparámetros XGBoost Afinado Retiros Ventanilla K=2**

Parámetro	Valor
eta	0.02
max depth	3
gamma	0.00
colsample_bytree	1
colsample_bynode	0.06
min_child_weight	34
subsample	0.89
nthread	1
number of rounds	617

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 52**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 31.75% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, e incluso mejor que el del modelo de Suavizado Exponencial. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indica que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

**Tabla 52: Resumen de Resultados XGBoost Afinado Retiros Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
543,646	31.75	0.72	28.51	712,237

**Elaboración propia**

#### 8.2.2.5. ARIMA boost

Si bien agregar un aumento de gradiente al modelo ARIMA contribuye a incrementar la complejidad en el procedimiento de ajuste, también puede

mejorar la precisión si es que se utiliza en conjunto, a fin de optimizar nuevos parámetros en cada ronda de aumento.

**Tabla 53: Hiperparámetros ARIMA Boost Retiros Ventanilla K=2**

Parámetro	Valor
eta	0.3
max_depth	6
gamma	0
min_child_weight	1
subsample	1
nrounds	15
nthread	1

**Elaboración propia**

En ese sentido, el modelo de regresión ARIMA Boosted, que más se adapta para realizar los pronósticos de depósito de efectivo en ventanilla de las oficinas, es un modelo ARIMA(0,0,0) WITH NON-ZERO MEAN W/ XGBOOST ERRORS que contempla los siguientes hiperparámetros acorde a la **Tabla 53**.

**Tabla 54: Resumen de Resultados ARIMA Boost Retiros Ventanilla K=2**

MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
537,126	31.63	0.71	28.16	702,150

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 54**, con el presente modelo se obtuvo un error porcentual absoluto medio de 31.63% diario, lo cual indica un performance aceptable comparado con el 60% referencial, para el rubro de Cash Management, antes mencionado, y el mejor de todos los modelos antes desarrollados. Por otro lado, al ser el MASE (error absoluto en escala de media) menor a 1, esto indicado que el pronóstico es mejor que el modelo de punto de referencia primitivo.

### 8.3. Resumen de resultados

Luego de explorados todos los modelos desarrollados para obtener el pronóstico de la demanda, tanto de retiros como en depósitos, en la **Tabla 55**, se puede apreciar el resumen de los resultados obtenidos por cada clúster de oficinas y por el tipo de demanda respectivo.

**Tabla 55: Resumen de Performance de Modelos Seleccionados diario**

TIPO DE TRANSACCIÓN	CLÚSTER	MODELO SELECCIONADO	MAE	MAPE	MASE	SMAPE	RMSE
DEPÓSITO	K=1	GLMNET	259,938	29.08	0.53	26.67	353,620
DEPÓSITO	K=2	XGBOOST AFINADO	703,212	26.61	0.48	25.34	941,450
RETIRO	K=1	ARIMA	250,381	36.91	0.53	32.61	350,882
RETIRO	K=2	ARIMA BOOST	537,126	31.63	0.71	28.16	702,150

**Elaboración propia**

Asimismo, conforme a la **Tabla 56**, se puede apreciar que el error porcentual absoluto medio mensual de los modelos seleccionados (entre 7.69% y 12.60%), se reduce a menos de la tercera parte de los valores diarios antes obtenidos (entre 26.61% y 36.91%). Por lo cual, se refuerza que el performance de los modelos predictivos seleccionados es adecuado.

**Tabla 56: Resumen de Performance de Modelos Seleccionados mensual**

TIPO DE TRANSACCIÓN	CLÚSTER	MODELO SELECCIONADO	MAPE
DEPÓSITO	K=1	GLMNET	8.26
DEPÓSITO	K=2	XGBOOST AFINADO	12.60
RETIRO	K=1	ARIMA	11.09
RETIRO	K=2	ARIMA BOOST	7.69

**Elaboración propia**

## Capítulo 9. Optimización

En el presente capítulo se realizará el proceso de decisión de remesado óptimo, a partir de las predicciones de depósito y retiro en ventanilla obtenidas en el modelamiento analítico de las oficinas.

### 9.1. Metodología

El presente modelo de optimización que se desarrollará, será uno de programación lineal entera empleando la teoría de transporte, donde la función objetivo buscará minimizar el costo logístico de efectivo involucrado, a partir de la determinación del momento y volumen de efectivo a ser recaudado o enviado desde/hacia oficinas.

Por otro lado, las variables de decisión a emplear serán la cantidad de efectivo a trasladar; y, por ende, la decisión o no de transportar el efectivo en algún instante del tiempo.

Asimismo, para la determinación del conjunto de restricciones se deberá considerar aquellas limitaciones propias del proceso de transporte. Así como aquellas que limitan el efectivo permitido custodiar en cada oficina al final del día, tanto como mínimo para operar, como el máximo permitido por seguridad.

Finalmente, los pronósticos de los depósitos y retiros de efectivo en ventanilla en las oficinas, servirán como input en la evaluación de la cantidad óptima trasladar desde o hacia oficinas. Para esto último, se considerará un análisis estocástico con una simulación de escenarios considerando que los pronósticos tienen un margen de error.

### 9.2. Modelo

El presente modelo de programación lineal entera presenta, a continuación, la siguiente descripción:

#### 9.2.1. Notación

$i$ : índice para cada oficina,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ .

$j$ : índice para periodos,  $j = 1, 2, 3, \dots, t$ .

$k$ : índice para escenarios,  $k = 1, 2, 3, \dots, m$ .

#### 9.2.2. Conjuntos

Per:  $\{1, 2, \dots, 7\}$  Conjunto de días de la semana

Ofi:	{1, 2, ...,57}	Conjunto de oficinas
Esc:	{1, 2, ...,60}	Conjunto de escenarios simulados a considerar para el análisis estocástico

### 9.2.3. Parámetros

Se tienen cuatro tipos de parámetros de tarifario (referido a los costos logísticos), límites de oficinas, input de oficinas y de billeteaje promedio.

#### 9.2.3.1. Tarifario

CostoEnvio:	Tarifa de envío de remesa por cada mil soles
CostoRecojo:	Tarifa de recaudo de remesa por cada mil soles
CostoRecBill:	Tarifa de recuento de billetes
CostoRecMon:	Tarifa de recuento de monedas
CostoDepBill:	Tarifa de depuración de billetes
CostoDepMon:	Tarifa de depuración de monedas
MontoMinEnv:	Monto mínimo para envíos de remesa
MontoMinRec:	Monto mínimo para envíos de remesa

#### 9.2.3.2. Límites de oficinas

LISoles:	Límite inferior (mínimo) de efectivo en soles para la oficina "i", $\forall i \in \text{Ofi}$
LSSoles <sub>i</sub> :	Límite superior (superior) de efectivo en soles para la oficina "i", $\forall i \in \text{Ofi}$

#### 9.2.3.3. Input oficinas

InvIniA <sub>i</sub> :	Inventario inicial de efectivo apto de la oficina "i", $\forall i \in \text{Ofi}$
RetA <sub>ij</sub> :	Retiros de efectivo en soles en ventanilla de la oficina "i", periodo "j", $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}$
RetA <sub>ijk</sub> :	Retiros de efectivo en soles en ventanilla de la oficina "i", periodo "j", escenario "k", $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}, \forall k \in \text{Esc} = \text{RetA}_{ij} * \text{Unif}(0.64, 1.36)$

DepA<sub>ij</sub>: Depósitos de efectivo apto en soles en ventanilla de la oficina “i”, periodo “j”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}$

DepA<sub>ijk</sub>: Depósitos de efectivo en soles en ventanilla de la oficina “i”, periodo “j”, escenario “k” = DepA<sub>ij</sub>\*Unif(0.71,1.29),  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}, \forall k \in \text{Esc}$

#### 9.2.3.4. Billetaje promedio

PorcBillSoles<sub>i</sub>: Porcentaje de billetes en soles para la oficina “i”,  $\forall i \in \text{Ofi}$

PorcMonSoles<sub>i</sub>: Porcentaje de monedas en soles para la oficina “i” = 1 - PorcBillSoles<sub>i</sub>,  $\forall i \in \text{Ofi}$

BillPromSoles<sub>i</sub>: Billete promedio en soles para la oficina “i”,  $\forall i \in \text{Ofi}$

MonPromSoles<sub>i</sub>: Moneda promedio en soles para la oficina “i”,  $\forall i \in \text{Ofi}$

#### 9.2.4. Variables de decisión

X<sub>ij</sub>: Decisión de pedir envío de remesa o no para oficina “i” en el día “j”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}$

Y<sub>ij</sub>: Decisión de pedir recojo de remesa de efectivo apto o no para oficina “i” en el día “j”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}$

QXA<sub>ijk</sub>: Cantidad de envío de remesa de efectivo apto en soles para oficina “i” en el día “j”, escenario “k”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}, \forall k \in \text{Esc}$

QYA<sub>ijk</sub>: Cantidad de recojo de remesa de efectivo apto en soles para oficina “i” en el día “j”, escenario “k”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}, \forall k \in \text{Esc}$

IFA<sub>ijk</sub>: Saldo cierre de efectivo apto en soles para oficina “i” en el día “j”, escenario “k”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}, \forall k \in \text{Esc}$

LadYA<sub>ijk</sub>: Ladrillos (grupo de mil billetes) aptos que se recogen de la oficina “i” en el día “j”, escenario “k”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}, \forall k \in \text{Esc}$

ConYA<sub>ijk</sub>: Conos (grupo de mil monedas) aptos que se recogen de la oficina “i” en el día “j”, escenario “k”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}, \forall k \in \text{Esc}$

CTotal<sub>i</sub>: Costo total de la oficina “i”,  $\forall i \in \text{Ofi}$

CEnv<sub>i</sub>: Costo de traslado en envíos de la oficina “i”,  $\forall i \in \text{Ofi}$

- CRec<sub>i</sub>: Costo de traslado en recaudos de la oficina “i”,  $\forall i \in \text{Ofi}$
- CRecuento<sub>i</sub>: Costo de recuento de efectivo recaudado de la oficina “i”,  
 $\forall i \in \text{Ofi}$
- CDepuracion<sub>i</sub>: Costo de depuración de efectivo recaudado de la oficina “i”,  
 $\forall i \in \text{Ofi}$
- CEnvDia<sub>ij</sub>: Costo de traslado en envíos de la oficina “i” en el día “j”,  $\forall$   
 $i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}$
- CRecDia<sub>ij</sub>: Costo de traslado en recaudos de la oficina “i” en el día “j”,  $\forall$   
 $i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}$
- QXAProm<sub>ij</sub>: Cantidad promedio de efectivo apto enviado a la oficina “i” en  
el día “j”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}$
- QYAProm<sub>ij</sub>: Cantidad promedio de efectivo apto recaudado desde la  
oficina “i” en el día “j”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}$
- IFAProm<sub>ij</sub>: Saldo cierre promedio de efectivo apto para oficina “i” en el  
día “j”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}$
- LadYAProm<sub>ij</sub>: Ladrillos promedio que se recogen de billetes aptos desde la  
oficina “i” en el día “j”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}$
- ConYAProm<sub>ij</sub>: Conos promedio que se recogen de monedas aptas desde la  
oficina “i” en el día “j”,  $\forall i \in \text{Ofi}, \forall j \in \text{Per}$

### 9.2.5. Función objetivo

$$\text{Min } FO = \sum_{i \in \text{Ofi}} C\text{Total}_i$$

La presente función objetivo busca minimizar los costos totales de efectivo, considerando que, para este modelo, los costos relevantes serán los de transporte y procesamiento, toda vez que los costos de materiales al ser proporcionales al efectivo transportado y procesado no cambiarán la solución óptima.



## 9.2.6. Restricciones

### 9.2.6.1. Balance de inventarios

Dado que existe efectivo que ingresa y sale de cada oficina y una cantidad a transportar por la empresa de caudales (desde/hacia oficinas y desde/hacia la bóveda central), esto generará un inventario final, por lo que la restricción de balance de inventarios estará determinada por la inecuación (1) para el primer periodo. Asimismo, la inecuación (2) denotará los balances de efectivo para los periodos subsecuentes.

$$\begin{aligned} InvIniA_{ik} + QXA_{i1k} - QYA_{i1k} + DepA_{i1k} - RetA_{i1k} = IFA_{i1k}, \forall i \in Ofi, \\ \forall k \in Esc \end{aligned} \quad \dots (1)$$

$$\begin{aligned} IFA_{ij-1k} + QXA_{ijk} - QYA_{ijk} + DepA_{ijk} - RetA_{ijk} = IFA_{ijk}, \forall i \in Ofi, \forall j \geq \\ 2 \in Per, \forall k \in Esc \end{aligned} \quad \dots (2)$$

### 9.2.6.2. Límites de oficinas

Respecto a las restricciones de límites de oficinas, la inecuación (3) representa al efectivo mínimo (LI) a custodiar en una oficina, el cual está acotado por el stock de seguridad mínimo para operación de cada oficina. De igual manera, la inecuación (4) representa el inventario de efectivo a custodiar en una oficina acotado por el monto máximo (LS) de efectivo fijado por el área de Seguridad de la entidad bancaria.

$$IFA_{ijk} \geq LISoles_i, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per, \forall k \in Esc \quad \dots (3)$$

$$IFA_{ijk} \leq LSSoles_i, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per, \forall k \in Esc \quad \dots (4)$$

### 9.2.6.3. Límites de montos de remesa

Por otro lado, la restricción (5) y (7) representan la vinculación de activación entre las variables  $X_{ij}$  e  $Y_{ij}$  (decisión o no de enviar o recaudar efectivo respectivamente) y la cantidad de efectivo apto a transportar en cada caso, para lo cual se considera un valor del coeficiente "M" muy grande (en este caso bastará con  $M \geq 100\,000\,000$ ). Mientras que, las restricciones (6) y (8) garantizarán que cuando se tome la decisión de enviar o recaudar efectivo de una oficina, está siempre presente un valor positivo.

$$QXA_{ijk} \leq X_{ij} * M, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per, \forall k \in Esc \quad \dots (5)$$

$$QXA_{ijk} \geq X_{ij} * 0.01, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per, \forall k \in Esc \quad \dots (6)$$

$$QYA_{ijk} \leq Y_{ij} * M, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per, \forall k \in Esc \quad \dots (7)$$

$$QYA_{ijk} \geq Y_{ij} * 0.01, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per, \forall k \in Esc \quad \dots (8)$$

#### 9.2.6.4. Restricción de solo enviar o recoger el mismo día

A fin de hacer eficiente el transporte de efectivo, es necesario acotar que la oficina no solicite un envío y recaudo a la vez el mismo día, sino que se solicite un único movimiento de forma que cada oficina pueda trabajar con el efectivo circulante en el día, tal como se muestra en la inecuación (9).

$$X_{ij} + Y_{ij} \leq 1, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per \quad \dots (9)$$

#### 9.2.6.5. Cantidad de conos y ladrillos a recoger

Considerando que luego de realizado un recojo de efectivo se lleva a cabo los procesos de recuento y depuración, los cuales son cobrados por cada ladrillo (grupo de mil billetes) y cada cono (grupo de mil monedas), es que las inecuaciones (10) y (11) permitirán que las cantidades obtenidas sean redondeadas al entero inmediato superior, lo cual permitirá el adecuado costeo.

$$QYA_{ijk} / 1000 * \frac{PorcMonSoles_i}{MonPromSoles_i} \leq ConYA_{ijk}, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per, \forall k \in Esc \quad \dots (10)$$

$$QYA_{ijk} / 1000 * \frac{PorcBillSoles_i}{BillPromSoles_i} \leq LadYA_{ijk}, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per, \forall k \in Esc \quad \dots (11)$$

#### 9.2.6.6. Costo de envíos y recaudos

Considerando que existe un análisis estocástico con la simulación de 60 escenarios, con las inecuaciones (12) y (15), las variables CEnvDia<sub>ij</sub> y CRecDia<sub>ij</sub> representarán aproximadamente el promedio de todos los escenarios simulados por periodo y oficina.

Por otro lado, sabiendo que el costo mínimo para transporte de efectivo es 54.534 soles por cada envío o recaudo realizado, con las inecuaciones (13) y (16), se logrará que el costo de envío y recaudo diario de cada

oficina siempre sea como mínimo un múltiplo de ese monto mínimo a cobrar.

Finalmente, las ecuaciones (14) y (17) permitirán obtener la variable consolidadora  $CEnv_i$  y  $CRec_i$  que representará la sumatoria del costo diario de envío y recojo de efectivo para cada oficina.

$$\left( \sum_{k \in Esc} CostoEnvio * QXA_{ijk} \right) / card(Esc) \leq CEnvDia_{ij}, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per \quad \dots (12)$$

$$54.534 * X_{ij} \leq CEnvDia_{ij}, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per \quad \dots (13)$$

$$\sum_{j \in Per} CEnvDia_{ij} = CEnv_i, \forall i \in Ofi \quad \dots (14)$$

$$\left( \sum_{k \in Esc} CostoRecojo * QYA_{ijk} \right) / card(Esc) \leq CRecDia_{ij}, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per \quad \dots (15)$$

$$54.534 * Y_{ij} \leq CRecDia_{ij}, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per \quad \dots (16)$$

$$\sum_{j \in Per} CRecDia_{ij} = CRec_i, \forall i \in Ofi \quad \dots (17)$$

### 9.2.6.7. Costo de recuento y depuración

Considerando que existe un análisis estocástico con la simulación de 60 escenarios, con las inequaciones (18) y (19), las variables  $CRecuento_i$  y  $CDepuracion_i$  representarán aproximadamente el promedio de todos los escenarios simulados por cada oficina.

$$\left[ \frac{\sum_{j \in Per} \sum_{k \in Esc} CostoRecBill * (LadYA_{ijk}) + \sum_{j \in Per} \sum_{l \in Esc} CostoRecMon * (ConYA_{ijk})}{card(Esc)} \right] \leq CRecuento_i, \quad \forall i \in Ofi \quad \dots (18)$$

$$\left[ \frac{\sum_{j \in Per} \sum_{k \in Esc} CostoDepBill * (LadYA_{ijk}) + \sum_{j \in Per} \sum_{l \in Esc} CostoDepMon * (ConYA_{ijk})}{card(Esc)} \right] \leq CDepuracion_i, \quad \forall i \in Ofi \quad \dots (19)$$

### 9.2.6.8. Costo total

La ecuación (20) representa la sumatoria de todos los costos a optimizar por cada oficina.

$$CEnv_i + CRec_i + CRecuento_i + CDepuracion_i = CTotal_i, \forall i \in Ofi \quad \dots (20)$$

### 9.2.6.9. Cálculo de valores promedio

Para efectos del cálculo de los valores promedio a obtener, luego de la simulación estocástica de 60 escenarios, se tiene que las ecuaciones (21) y (22) representan el volumen promedio de efectivo a enviar a cada oficina en un periodo de tiempo definido. Por otro lado, la ecuación (23) representa el inventario final promedio con el que cierra cada oficina en un cada periodo de tiempo. Finalmente, las ecuaciones (24) y (25) representan los ladrillos y conos promedio a recoger de cada oficina en cada periodo de tiempo

$$\left( \sum_{k \in Esc} QXA_{ijk} \right) / \text{card}(Esc) = QXAProm_{ij}, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per \quad \dots (21)$$

$$\left( \sum_{k \in Esc} QYA_{ijk} \right) / \text{card}(Esc) = QYAProm_{ij}, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per \quad \dots (22)$$

$$\left( \sum_{k \in Esc} IFA_{ijk} \right) / \text{card}(Esc) = IFAProm_{ij}, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per \quad \dots (23)$$

$$\left( \sum_{k \in Esc} LadYA_{ijk} \right) / \text{card}(Esc) = LadYAProm_{ij}, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per \quad \dots (24)$$

$$\left( \sum_{k \in Esc} ConYA_{ijk} \right) / \text{card}(Esc) = ConYAProm_{ij}, \forall i \in Ofi, \forall j \in Per \quad \dots (25)$$

### 9.2.7. Rango de existencia

$$QXA_{ijk}, QYA_{ijk}, IFA_{ijk} \geq 0 \quad (\forall i \in Ofi, \forall j \in Per, \forall k \in Esc)$$

$$CTotal_i, CEnv_i, CRec_i, CRecuento_i, CDepuracion_i \geq 0 \quad (\forall i \in Ofi)$$

$$LadYA_{ijk}, ConYA_{ijk} \geq 0 \quad (\forall i \in Ofi, \forall j \in Per, \forall k \in Esc) \text{ son enteros}$$

$$CEnvDia_{ij}, CRecDia_{ij}, QXAProm_{ij}, QYAProm_{ij}, IFAProm_{ij}, LadYAProm_{ij}, ConYAProm_{ij} \geq 0 \quad (\forall i \in Ofi, \forall j \in Per)$$

$$X_{ij}, Y_{ij} \in \{0,1\}$$

### 9.3. Resultados y análisis

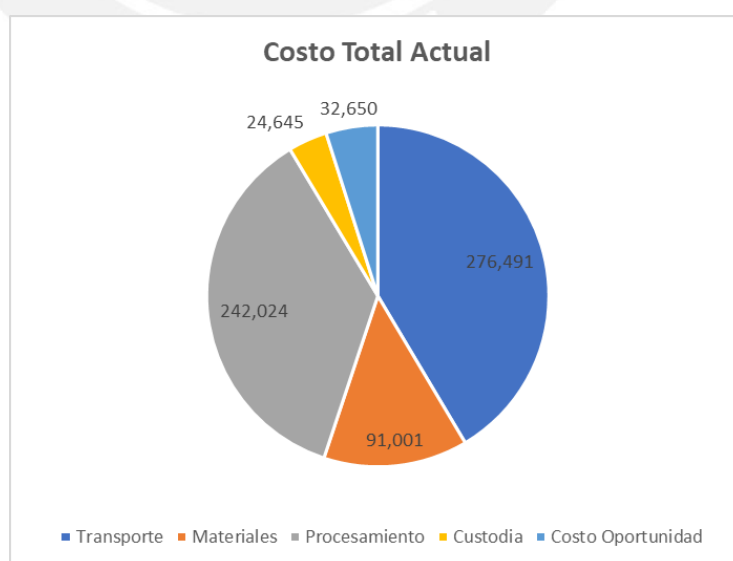
El modelo de optimización propuesto sirvió para evaluar los costos totales que se hubiesen generado en las 57 oficinas seleccionadas en Lima Metropolitana, durante 1 mes del periodo de testing del año 2021, y considerando el input de las predicciones obtenidas con el modelo analítico previamente desarrollado. Esto con el objetivo de que al final de este ejercicio se pueda obtener conclusiones extensibles a todo un periodo anual, toda vez que el tiempo de corrida en AMPL hubiese sido considerablemente más extenso, en caso de haber seleccionado un periodo mayor.

Asimismo, se compararon los costos obtenidos mediante el modelo propuesto contra los costos de la actual metodología (juicio de experto).

#### 9.3.1. Situación Actual

Se realizó un análisis estadístico con información del año 2021 de las 57 oficinas seleccionadas en el análisis de Pareto ubicada en Lima Metropolitana. Ante ello se obtuvo que, el costo logístico que generan estas oficinas, a partir de juicio de experto de los subgerentes, al momento de solicitar las remesas, oscila alrededor de 6 055 802 soles.

Asimismo, el costo involucrado en octubre del año en cuestión, el cual fue el mes empleado para el análisis de costos a optimizar, asciende a 666 811 soles, de los cuales el desglose por tipo de concepto bajo la metodología actual se presenta en el **Gráfico 213**.



**Gráfico 213: Costos incurridos bajo metodología actual**  
Elaboración Propia

### 9.3.2. Situación Propuesta

Para evaluar los costos en la situación propuesta, se realizó un análisis contrafactual de las remesas óptimas que debieron ser transportadas, en caso de que se hubiese utilizado la metodología propuesta en vez del “juicio de experto” para el mes de octubre del año 2021.

Luego de dicho análisis, 31 de las 57 oficinas mostraron una reducción de los costos. Lo cual demuestra que en este grupo de oficinas la predicción a “juicio de experto” de los subgerentes y la decisión de solicitar remesas en base a dicha predicción, no es el método más óptimo. Es así que, conforme a la **Tabla 57**, se puede apreciar que utilizando la metodología propuesta se obtiene una reducción de 2% en los montos necesarios a enviar a las oficinas, y una reducción de 13% en los montos a recaudar.

**Tabla 57: Resumen Comparativo de Remesas Actual vs Optimizado**

Tipo Remesa	Actual	Optimizada	Disminución
Envío	4,549,400	4,473,370	-2%
Recaudo	368,131,136	318,853,982	-13%

Fuente: Elaboración Propia

Es así como, aplicando el modelo de programación planteado en la herramienta AMPL se obtienen las cantidades óptimas a remesar (tanto envíos como recaudos) para cada una de las 31 oficinas.

**Tabla 58: Resumen Comparativo de Costos Actual vs Optimizado**

Tipo de Costo	Actual	Optimizado	Disminución
Transporte	203,477	175,741	-14%
Materiales	57,076	46,029	-19%
Procesamiento	144,771	120,944	-16%
Custodia	18,995	16,464	-13%
Costo de Oportunidad	28,698	25,661	-11%

Fuente: Elaboración Propia

En consecuencia, acorde a la **Tabla 58**, para dicho grupo de oficinas, el costo optimizado a partir del ejercicio realizado, para el mes de octubre, suma aproximadamente el monto de 384 838 soles (versus el monto actual de 453 017 soles), lo cual representa un 15% de ahorro. Cabe mencionar que, el costo total anual que incurrieron dichas oficinas fue de 4 050 535 soles. Por lo cual, extrapolando el porcentaje de ahorro obtenido en el mes de octubre, a lo largo del año, se tendría una proyección del ahorro total anual de 609 603 soles.

En ese sentido, al comparar las asignaciones de remesas obtenidas a partir de las dos situaciones (actual y propuesta) se obtiene que es más conveniente tomar la decisión de transportar el efectivo, para la atención de un grupo segmentado de oficinas, empleando un modelo de programación empleando predicciones con herramientas analíticas.

Finalmente, considerando el resultado de este grupo de oficinas en Lima Metropolitana, se estima que haciendo extensible esta metodología a todas las plazas a nivel nacional, se podría obtener ahorros anuales de 10% como mínimo. Esta proporción se obtuvo a partir de la extrapolación del ahorro proyectado anual obtenible (S/ 609 603) respecto de un gasto total del Pareto de 57 oficinas de Lima Metropolitana (S/ 6 055 802).



## PARTE 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Del presente trabajo de investigación se desprende la importancia que tienen las herramientas analíticas, su aplicabilidad y el grado de impacto que puede tener en el desarrollo de un modelo de gestión en la cadena de suministro de efectivo de las entidades bancarias, a fin de predecir el comportamiento de la demanda.
- Realizar un apropiado análisis de conglomerados y emplear diversas técnicas analíticas, permitió desarrollar modelos predictivos adaptables para grupos similares de oficinas en base a su transaccionalidad de efectivo, a fin de seleccionar los más precisos. Tal es así, que se obtuvieron MAPE's diarios de 26.61% y 36.91% (mensuales de 12.60% y 7.69%), para depósitos y retiros respectivamente, los cuales resultan muy óptimos en comparación con los obtenidos en la literatura previamente consultada, como en el caso de López Lázaro et al. (2018) donde se presenta un MAPE de 60%.
- Potenciar este tipo de herramientas analíticas con modelos de optimización basados en programación lineal, permitirá utilizar el input del pronóstico de la demanda, a fin de planificar las decisiones de envío y recaudo de efectivo en oficinas. De modo que se garantice tanto la atención de la demanda requerida junto a un gasto óptimo.
- Luego de realizado el análisis contrafactual de costos en el grupo de oficinas Pareto seleccionado en Lima Metropolitana, se concluye que la implementación de la propuesta de mejora sería viable, ya que presenta una reducción del 15% del gasto total del grupo de oficinas materia de análisis en el periodo especificado.
- Finalmente, se comprueba el punto de partida de esta investigación, el cual mencionada que es posible optimizar la logística para las remesas de efectivo seguida por las diferentes sucursales de una entidad bancaria al cliente al proporcionar la cantidad adecuada de efectivo en la ubicación y tiempo correctos.



## Recomendaciones

- Considerando el potencial de ahorro de 10% a nivel de las demás plazas, fuera de Lima Metropolitana, se recomienda replicar la metodología propuesta en cada filial donde se viene trabajando a “juicio de experto”. Esto se logrará implementando un proceso centralizado para la planificación de remesas, a partir de pronósticos basados en herramientas analíticas y toma de decisión en base a modelos de programación lineal, a fin de decidir las cantidades óptimas y el momento apropiado para realizar el transporte de efectivo.
- Para obtener una mayor optimización del costo, se requerirá que el predictor de efectivo tenga un pronóstico con el menor margen de error posible, para lo cual la exploración de modelos de *Deep Learning* más robustos podría contribuir a la consecución de dicho objetivo.
- La revisión continua y actualización, en base a análisis estadísticos de transaccionalidad temporal, de los límites establecidos por la entidad financiera, para cada oficina, es una labor que garantizará no sobreestimar o subestimar los potenciales ahorros ya que el comportamiento de la demanda de efectivo es dinámico en el tiempo.
- Considerar los costos de custodia y de oportunidad financiero dentro del modelo de programación lineal de costos totales, con la finalidad de obtener un óptimo más robusto.
- Incluir dentro del modelo de optimización de costos totales, no solo los flujos de efectivo desde/hacia oficina desde/hacia boveda central, sino también los flujos de efectivo entre oficinas. Esto a partir de la oferta de los excedentes que pueden brindar las oficinas captadoras para la atención de la demanda de oficinas pagadoras localizadas en un radio de cercanía apropiado.
- Hacer extensible la presente metodología considerando un análisis predictivo para cada una de las 3 divisas (soles, dólares y euros), así como por las diversas denominaciones en billetes y monedas, contribuiría a tener una mayor precisión de la demanda proyectada. Lo cual, a su vez, permitiría optimizar aún más los costos logísticos involucrados, en tanto el modelo de programación lineal considere esos subconjuntos como parte de los parámetros y variables de decisión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah, H. (2004). Guidelines for Assessing Costs in a Logistics System. An Example of Transport Cost Analysis, 45.
- Baesens, B. (2014). Analytics in a Big Data World: The Essential Guide to Data Science and its Applications.
- BCRP. (1997). Circular N° 005-97-EF/90. 005, 1–8.
- BCRP. (2009). Circular No.012-2009-BCRP. 012, 1–22.
- BCRP. (2016). RESOLUCIÓN DE DIRECTORIO N° 076-2016-BCRP-N. 1.
- BCRP. (2018). Circular No. 0016-2018-BCRP. 0016, 1–14.
- BCRP. (2019). Emisión de Billetes y Monedas. Folleto Institucional, 31–44.
- Berger, A. N., Leusner, J. H., & Mingo, J. J. (1997). The efficiency of bank branches. *Journal of Monetary Economics*, 40(1), 141–162. [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(97\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(97)00035-4)
- Bhagwat, R., & Sharma, M. K. (2007). Performance measurement of supply chain management: A balanced scorecard approach. *Computers and Industrial Engineering*, 53(1), 43–62. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.04.001>
- Cabello, J. G. (2013). Cash efficiency for bank branches. *SpringerPlus*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-334>
- De la Melena, A. (2009). Nuevo Reglamento para el Canje de billetes y monedas. *Revista Moneda*, 141, 36–38.
- Deloitte. (2013). Optimizing the retail bank supply chain. Deloitte, 24.
- Dietrich, D., Heller, R, Yang, B. (2015). Data Science and Big Data Analytics Discovering, Analyzing, Visualizing and Presenting Data. EMC Education Service.
- Ekinci, Y., Lu, J. C., & Duman, E. (2015). Optimization of ATM cash replenishment with group-demand forecasts. *Expert Systems with Applications*, 42(7), 3480–3490. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.12.011>

García Cabello, J. (2017). The future of branch cash holdings management is here: New Markov chains. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 789–799. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.012>

García Cabello, J., & Lobillo, F. J. (2017). Sound branch cash management for less: A low-cost forecasting algorithm under uncertain demand. *Omega (United Kingdom)*, 70, 118–134. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.09.005>

Geismar, N., Dawande, M., Rajamani, D., & Sriskandarajah, C. (2007). Managing a bank's currency inventory under new federal reserve guidelines. *Manufacturing and Service Operations Management*, 9(2), 147–167. <https://doi.org/10.1287/msom.1060.0124>

Ghannadpour, S. F., & Zandiyeh, F. (2020). A new game-theoretical multi-objective evolutionary approach for cash-in-transit vehicle routing problem with time windows (A Real life Case). *Applied Soft Computing Journal*, 93, 106378. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106378>

Ghefiri, K., Bouallègue, S., Garrido, I., Garrido, A. J., & Haggège, J. (2018). Multi-layer artificial neural networks based MPPT-pitch angle control of a Tidal Stream Generator. *Sensors (Switzerland)*, 18(5). <https://doi.org/10.3390/s18051317>

Halldorsson, A., Kotzab, H., Mikkola, J. H., & Skjøtt-Larsen, T. (2007). Complementary theories to supply chain management. *Supply Chain Management*, 12(4), 284–296. <https://doi.org/10.1108/13598540710759808>

INEI. (2021). *Producción y Empleo Informal en el Perú*.

Kong, X., Hu, C., & Duan, Z. (2017). Principal component analysis networks and algorithms. In *Principal Component Analysis Networks and Algorithms*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-2915-8>

Lambert, D. M., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. In New York Irwin (pp. xvii, 892 p.).

López Lázaro, J., Barbero Jiménez, Á., & Takeda, A. (2018). Improving cash logistics in bank branches by coupling machine learning and robust optimization. *Expert Systems with Applications*, 92, 236–255. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.09.043>

- Maheshwari, A. (2015). *Data Analytics: Made Accesible* (Kindle, Vol. 66).
- Mentzer, J. T., Stank, T. P., & Esper, T. L. (2008). Supply Chain Management and Its Relationship To Logistics, Marketing, Production, and Operations Management. *Journal of Business Logistics*, 29(1), 31–46. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2008.tb00067.x>
- Naik, G. R. (2017). Advances in principal component analysis: Research and development. In *Advances in Principal Component Analysis: Research and Development*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6704-4>
- Narasimhan, S., & Shah, S. L. (2004). Model identification and error covariance matrix estimation from noisy data using PCA. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 37(1), 511–516. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)38783-9](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)38783-9)
- Nemshaev, S., & Tsyganov, A. (2016). Model of the Forecasting Cash Withdrawals in the ATM Network. *Procedia Computer Science*, 88, 463–468. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.465>
- Okino, D. D. A. (2010). *Gestão da cadeia de suprimentos aplicada à operação de numerário no Brasil (Mestrado Profissional em Administração de Empresas)*. Sao Paulo Business School - Fundacao Getulio Vargas.
- Okino, D. D. A., & Cattini Junior, O. (2011). Assessment of the Brazilian Cash Operation Through the Approach of Sustainable Supply Chains. *Journal of Operations and Supply Chain Management*, 4(2), 71. <https://doi.org/10.12660/joscmv4n2p71-85>
- Orjuela-Castro, J. A., Suárez-Camelo, N., & Chinchilla-Ospina, Y. I. (2017). Costos logísticos y metodologías para el costeo en cadenas de suministro: una revisión de la literatura. *Cuadernos de Contabilidad*, 17(44), 377–420. <https://doi.org/10.11144/javeriana.cc17-44.clmc>
- Peng, R. D., Matsui, E., Roger D. Peng & Elizabeth Matsui, Peng, R. D., & Matsui, E. (2015). *The Art of Data Science: A Guide for Anyone Who Works with Data* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pettersson, A. I., & Segerstedt, A. (2013). Measuring supply chain cost. *International Journal of Production Economics*, 143(2), 357–363. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.012>

- Provost, F., & Fawcett, T. (2013). *Data Science for Business* (1st ed.).
- Quevedo, V., Pereda, Y. J., & Los, P. (2017). Información sobre el uso y conocimiento del efectivo para gestión en la Banca Central. *Revista Moneda*, 29–33.
- Rajamani, D., Geismar, H. N., & Sriskandarajah, C. (2006). A framework to analyze cash supply chains. *Production and Operations Management*, 15(4), 544–552. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2006.tb00162.x>
- SBS. (1997). Circular ETCAN-002 - 97. 2.
- Services, E. E. (2015). *Data Science and Big Data Analytics: Discovering, Analyzing, Visualizing and Presenting Data*.
- Shearer, C. (2000). The CRISP-DM model: The new blueprint for data mining. *Journal of Data Warehousing*, 5(4), 13–22. <https://doi.org/10.1109/EITech.2016.7519646>
- Tavares, M. S. (2015). *Cash Supply Chains Cash Management Optimization in Commercial Bank Branches*.
- Van Anholt, R. G. (2014). *Optimizing Logistics Processes in Cash Supply Chains*.
- Van Anholt, R. G., Coelho, L. C., Laporte, G., & Vis, I. F. A. (2016). An inventory-routing problem with pickups and deliveries arising in the replenishment of automated teller machines. *Transportation Science*, 50(3), 1077–1091. <https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0637>
- Vega, M., & Vasquez, J. (2022). El Banco Central de Reserva del Perú y el desarrollo del sistema de pagos en el Perú. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/moneda-189/moneda-189-03.pdf>
- Wierzchoń, S. T., & Kłopotek, M. A. (2018). *Modern Algorithms of Cluster Analysis*.
- Zakariah, S., & Pyeman, J. (2013). Logistics Cost Accounting and Management in Malaysia: Current State and Challenge. *International Journal of Trade, Economics and Finance*, 4(3), 119–123. <https://doi.org/10.7763/ijtef.2013.v4.270>

Zaki, M. J., & Meira, W. J. (2020). Data Mining and Machine Learning Fundamental Concepts and Algorithms. In Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53, Issue 9).

