

Riesgo Operacional: Análisis funcional de los eventos materializados desde los estados financieros y las transacciones

Omar Fernando Montejo Díaz



Universidad Santo Tomás
Facultad de Estadística
División de Ciencias Económicas y Administrativas
Bogotá, D.C., Colombia
2025

**Riesgo Operacional: Análisis funcional de los eventos
materializados desde los estados financieros y las transacciones**

Omar Fernando Montejo Díaz

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Magíster en Estadística Aplicada**

**Directores:
Wilmer Pineda (Ph.D.) y Óscar Beltrán (M.Sc)
Línea de Investigación:
De carácter descriptivo y explicativo**

**Universidad Santo Tomás
Facultad de Estadística
División de Ciencias Económicas y Administrativas
Bogotá, D.C., Colombia
2025**

Dedico este trabajo de grado a mi esposa que con su amor, paciencia y fortaleza me ha acompañado y apoyado en todas las etapas de la vida superando los obstáculos, a mis hijos que con su amor, apoyo y paciencia me han acompañado y a mi hermana, quien me enseñó el valor de la perseverancia para lograr los objetivos.

"Transformar al mundo debe ser la meta de todos los días."

Agradecimientos

Agradezco a los directores de esta tesis, Dr. Wilmer Pineda y Dr. Oscar Beltrán, por sus enseñanzas, guía y recomendaciones durante el desarrollo de este trabajo. También extendo mi gratitud a la Universidad Santo Tomás y al Grupo de Investigación en Estadística Aplicada por el respaldo académico brindado, así como a mis colegas por sus aportes durante las diferentes etapas del proyecto. Finalmente, agradezco a mis padres, esposa, hijos, hermana y amigos por su apoyo constante en cada etapa del trabajo de grado, el cual estuvo lleno de dificultades que, con el apoyo de ellos, logré superar.

Resumen

El objetivo es analizar los gastos por Riesgo Operacional (RO) en las entidades bancarias, considerando posibles relaciones con variables de los estados financieros, como los ingresos por dividendos y los activos que devengan intereses, entre otros. Asimismo, se evaluará la relación entre el gasto por RO y las transacciones monetarias realizadas a través de los canales habilitados por los bancos para sus clientes. Para abordar este análisis, se empleará la metodología de análisis de datos funcionales (FDA), que incluye las siguientes etapas:

Análisis descriptivo funcional: permitirá comprender los datos de manera detallada y continua en el tiempo.

Análisis de clúster funcional: se identificarán grupos de entidades con comportamientos similares en relación con el gasto por RO y las variables explicativas.

Construcción de indicadores: mediante el Análisis de Componentes Principales Funcionales (ACPF), se generarán indicadores que faciliten el monitoreo del RO.

Predicción funcional: se aplicará la metodología de regresión funcional para prever el comportamiento del gasto por RO en función de las variables financieras y transaccionales de los establecimientos de crédito.

Palabras clave: Riesgo operacional, Gasto, Utilidad bruta, Patrimonio, Transacciones, Canales, Análisis de datos funcionales, Clúster funcional, Regresión funcional.

Abstract

The objective is to analyse operational risk (OR) expenses in banking institutions, taking into account potential relationships with financial statement variables, such as dividend income and interest-bearing assets, among others. Additionally, the relationship between OR expenses and monetary transactions carried out through channels provided by banks for their clients will be assessed.

To carry out this analysis, the functional data analysis (FDA) methodology will be employed, consisting of the following stages:

Functional descriptive analysis: this stage will enable a detailed and continuous understanding of the data over time.

Functional clustering analysis: banking entities with similar behaviour regarding OR expenses and explanatory variables will be grouped.

Indicator construction: functional principal component analysis (FPCA) will be used to create indicators that facilitate OR monitoring.

Functional prediction: the functional regression methodology will be applied to forecast the behaviour of OR expenses based on financial and transactional variables of credit institutions.

keyword: Operational risk, expenses, gross profit, equity, transactions, channels, functional data analysis, functional clustering, functional regression.

Índice

1. Introducción	11
2. Marco teórico.	14
2.1. Revisión de literatura.	14
2.2. Datos funcionales.	15
2.3. Correlación funcional de Spearman.	16
2.4. Correlación funcional de Pearson - continuas.	17
2.5. Boxplot funcional.	17
2.6. Derivadas funcionales.	18
2.7. Análisis de Componentes Principales Funcional (ACPF).	18
2.8. Segmentación mediante k-means.	19
2.9. Regresión lineal funcional.	20
3. Metodología.	22
3.1. Recolección de datos y características de las variables.	22
3.2. Ubicación de los datos.	22
3.3. Variables explicativas de los estados financieros.	22
3.4. Variables explicativas de las transacciones.	23
4. Resultados.	24
4.1. Análisis descriptivo tradicional invariado por entidad.	24
4.2. Ajuste a las variables.	27
4.3. Análisis exploratorio de los datos funcionales.	29
4.3.1. Correlaciones funcionales de Spearman.	29
4.3.2. Correlaciones funcionales de Pearson continuas.	31
4.3.3. Datos atípicos, media, desviación estándar y análisis marginal.	34
4.4. Clúster funcional mediante Análisis de Componentes Principales Funcionales (ACPF).	41
4.4.1. Análisis de clúster funcional de las variables financieras (univariado).	41
4.4.2. Agrupación multivariada variables financieras.	43
4.4.3. Análisis de clúster funcional variables transaccionales (univariado).	45
4.4.4. Agrupación multivariada variables transaccionales.	47
4.5. Indicadores mediante Análisis de Componentes Principales Funcional (ACPF).	49
4.5.1. Indicadores variables financieras.	49
4.5.2. Indicadores variables transaccionales.	51
4.6. Regresión lineal de los gastos por riesgo operacional.	52

ÍNDICE	5
4.6.1. Análisis de los coeficientes ($\hat{\beta}$) respecto a los gastos por RO.	53
4.6.2. Análisis de los resultados de la regresión lineal funcional.	62
5. Conclusiones	68
Referencias	71
Anexos	73
.1. Cuentas CUIF asociadas a los Gastos riesgo operacional GRO	73
.2. Cuentas CUIF asociadas a los Ingresos por intereses y operaciones de leasing (IIOL) . . .	74
.3. Cuentas CUIF asociadas a los Gastos por intereses y operaciones de leasing (GIOL) . . .	76
.4. Cuentas CUIF asociadas a los Activos que devengan intereses (ADI)	78
.5. CUIF asociadas a los Ingresos por dividendos (ID)	79
.6. Cuentas CUIF asociadas a los Ingresos por honorarios y comisiones (IHC)	80
.7. Cuentas CUIF asociadas a los gastos por honorarios y comisiones (GHC)	82
.8. Cuentas CUIF asociadas a los Beneficio (pérdida) neto(a) en el portafolio de inversiones a valor razonable (BNPIVR)	83
.9. Cuentas CUIF asociadas a los Beneficio (pérdida) neto(a) en el portafolio a costo amorti- zado (BNPCA)	86

Índice de figuras

1.	GRO datos originales. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	29
2.	GRO datos imputados. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	29
3.	IIOL datos originales. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	29
4.	IIOL datos imputados. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	29
5.	GIOL datos originales. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	29
6.	GIOL datos imputados. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	29
7.	Correlación Gasto RO versus IHC. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	31
8.	Correlación Gasto RO versus IIOL. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	32
9.	Correlación Gasto RO semestral versus NNP. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	33
10.	Correlación Gasto RO semestral versus NP. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	33
11.	Análisis exploratorio GRO. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	35
12.	Análisis marginal GRO. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	35
13.	Análisis exploratorio IHC. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	36
14.	Análisis marginal IHC. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	36
15.	Análisis exploratorio IIOL. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	37
16.	Análisis marginal IIOL. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	37
17.	Análisis exploratorio GRO semestral. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	38
18.	Análisis marginal GRO semestral. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	38
19.	Análisis exploratorio NNP. Fuente: Formato 444-SFC.. Elaboración: Propia.	39
20.	Análisis marginal NNP. Fuente: Formato 444-SFC.. Elaboración: Propia.	39
21.	Análisis exploratorio NP. Fuente: Formato 444-SFC.. Elaboración: Propia.	40
22.	Análisis marginal NP. Fuente: Formato 444-SFC.. Elaboración: Propia.	40
23.	Segmentación GRO - variables financiera multivariada. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	44
24.	Segmentación IHC - variable financiera multivariada. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	44
25.	Segmentación IIOL -variable financiera multivariada. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	45
26.	Segmentación GRO semestral -variables transaccional. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	48
27.	Segmentación NNP -variables transaccional. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	48
28.	Segmentación NP -variables transaccional. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	49
29.	Indicador funcional GRO. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	50
30.	Indicador funcional IHC. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	50

31. Indicador funcional IOL. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	51
32. Indicador funcional GRO semestral. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	51
33. Indicador funcional NNP. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	52
34. Indicador funcional NP. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	52
35. β para IHC grupo 1 variables financieras. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	54
36. β para IOL grupo 1 variables. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	55
37. β para GHC grupo 1 variables. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	55
38. β para ADI grupo 1 variables financieras. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	56
39. β para IHC grupo 2 variables. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	57
40. β para IOL grupo 2 variables. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	57
41. β para GHC grupo 2 variables. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	58
42. β para ADI grupo 2 variables financieras. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	58
43. β para MNP grupo 1 variable transaccional. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	59
44. β para NNP grupo 1 variable transaccional. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	59
45. β para MP grupo 1 variable transaccional. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	60
46. β para NP grupo 1 variable transaccional. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	60
47. β para MNP grupo 2 variable transaccional. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	61
48. β para NNP grupo 2 variable transaccional. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	61
49. β para MP grupo 2 variable transaccional. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	62
50. β para NP grupo 2 variable transaccional. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	62
51. Regresión funcional variables financieras Bancolombia. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	63
52. Regresión funcional variables transaccionales Bancolombia. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	63
53. Regresión funcional variables financieras Banco Davivienda. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	64
54. Regresión funcional variables transaccionales Banco Davivienda. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	64
55. Regresión funcional variables financieras BBVA. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	65
56. Regresión funcional variables transaccionales BBVA. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	65
57. Regresión funcional variables financieras Banco de Bogotá. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	66
58. Regresión funcional variables transaccionales Banco de Bogotá. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	66
59. Regresión funcional variables financieras Banco de Occidente. Fuente: Cuentas CUIF para	

	bancos-SFC. Elaboración: Propia.	67
60.	Regresión funcional variables transaccionales Banco de Occidente. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	67

Índice de cuadros

1.	Conformaciones variables financieras Fuente: Anexo 1 Circular Externa 25 de 2020 de la SFC. Elaboración: Propia.	22
2.	Conformaciones variables transaccionales. Fuente: Circular Externa 014 de 2008 de la SFC, formato 444. Elaboración: Propia.	23
3.	Correlación Gasto por RO versus variables financieras Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	24
4.	Correlación Gasto por RO versus variables transaccionales Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	25
5.	Coefficiente de Variación variables financieras(negocio y gasto RO) Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	25
6.	Coefficiente de Variación variables financieras (tesorería) Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	26
7.	Coefficiente de Variación variables transaccionales. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	26
8.	Correlaciones funcionales Gasto por RO y variable financieras. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	30
9.	Correlaciones funcionales Gasto por RO y variables transaccionales. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	30
10.	Clúster GRO. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	41
11.	Clúster GRO - entidad. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	41
12.	Clúster IHC. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	42
13.	Clúster IHC - entidad. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	42
14.	Clúster IIOL. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	43
15.	Clúster IIOL - entidad. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	43
16.	Clúster multivariado variables financiera. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	43
17.	Clúster GRO semestral. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	45
18.	Clúster GRO semestral - entidad. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	45
19.	Clúster NNP. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	46
20.	Clúster NNP - entidad. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	46
21.	Clúster NP. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	47
22.	Clúster NP - entidad. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	47
23.	Clúster multivariado variables transaccionales. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	47
24.	Correlación funcional de Spearman respecto al Gasto por RO y las variables financieras. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	52
25.	G1 Variables financieras. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	54
26.	G2 variables financieras. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	56
27.	G1 Variables financieras. Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.	58

28.	G2 variables transaccionales. Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.	60
-----	---	----

1. Introducción

Según lo establecido en el Capítulo XXXI de la Circular Básica Contable y Financiera (CBCF) (Superintendencia Financiera de Colombia, 2021), el riesgo operacional se define como la "... posibilidad de que la entidad incurra en pérdidas por las deficiencias, fallas o inadecuado funcionamiento de los procesos, la tecnología, la infraestructura o el recurso humano, así como por la ocurrencia de acontecimientos externos asociados a éstos. Incluye el riesgo legal". En este contexto, las entidades bancarias han gestionado históricamente este tipo de riesgo desde diversas perspectivas, agrupando los factores en categorías relacionadas con procesos, tecnología, infraestructura, recursos humanos y eventos externos. Estos factores generan riesgos operativos asociados a: fraudes, fallas operativas y ataques cibernéticos, entre otros tantos.

El comité de Supervisión Bancaria de Basilea¹ mediante los documentos Convergencia internacional de medidas y normas de capital (Basilea II) y Finalización de las reformas poscrisis (Basilea III) han generado una serie de recomendaciones y estándares para que los países adopten una regulación a fin de establecer el capital mínimo requerido para que las entidades bancarias cuenten con la solvencia necesaria para que puedan operar con el capital suficiente a fin de responder por sus compromisos y los riesgos que se le materialicen, señala el comité, que se debe contar con información relacionada con los riesgos operacionales materializados, que se denominarán eventos de pérdida² por RO, el cual se registrarán en una base de datos estructurada con unos campos mínimos³, a fin de tenerlos como referencia para el cálculo de la solvencia antes mencionada.

En Colombia, la adopción del anterior estándar estableció que los riesgos materializados que se incorporan como registro en la base de datos de eventos de riesgo operacional se dividen en eventos materializados tipo a y tipo b⁴, donde el primero debe revelarse en los estados de resultados de las entidades bancarias.

Las bases de datos con la clasificación de los riesgos operacionales de eventos⁵ materializados no se encuentra publicadas para el estudio de su comportamiento y análisis estadístico, ya que esta es confidencial y su publicación develaría las vulnerabilidades a las que se ve afectada el sector bancario, exponiéndose a mayores riesgos al hacer públicos los eventos materializados, razón por la cual no se puede analizar los datos desde la materialidad de los factores y clasificación del riesgo operacional.

Sin embargo, para el caso colombiano, los eventos de pérdida son revelados en el estado de resultados de las entidades bancarias, esta información se identifica como los gastos por RO⁶, los cuales están segmentados en cuatro grupos de cuentas del Catálogo Único de Información Financiera (CUIF), a saber; eventos operacionales, siniestros, multas (comprende multas y sanciones, litigios, indemnizaciones y demandas) y recuperaciones (por seguros y otras recuperaciones)⁷.

¹Comité de Supervisión Bancaria de Basilea mediante el documento Convergencia internacional de medidas y normas de capital generó recomendaciones al sistema bancario y al supervisor en materia de riesgo operacional.

²Son aquellos incidentes que generan pérdidas por riesgo operacional a las entidades. Definición tomada del numeral 2.6 de la Circular Externa 025 de 2020 expedida por la SFC.

³Para el caso colombiano, en el numeral 3.2.5.1 de la Circular Externa 025 de 2020 expedida por la SFC establece los campos, criterios y condiciones generales para la construcción de la base de datos de RO.

⁴La Circular Externa 025 de 2020, expedida por la SFC, define que los eventos materializados tienen dos categorías, tipo a) que son las que Generan pérdidas y afectan el estado de resultados de la entidad y tipo b) que son las que No generan pérdidas y por lo tanto no afectan el estado de resultados de la entidad.

⁵Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, Convergencia internacional de medidas y normas de capital. Anexo 9. Página 339.

⁶Numeral 3.2.5. de la Circular Externa 049 de 2006 expedida por la Superintendencia Financiera de Colombia, adopta las recomendaciones del comité de Basilea en materia de gestión del riesgo operacional.

⁷Catálogo Único de Información Financiera (CUIF) con fines de Supervisión, adoptado mediante la Circular Externa 021 de 2014, expedido por la Superintendencia Financiera de Colombia.

De otra parte, desde el concepto de exposición a riesgo⁸ y bajo el entendido que el riesgo operacional se materializa de manera transversal en las organizaciones, se analizarán un grupo de cuentas del CUIF agrupadas en tres variables, las cuales son; Componente de Intereses, Operaciones de Leasing y Dividendos (CILD), Componente de Servicios (CS) y Componentes Financieros (CF)⁹.

El Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (2006)¹⁰ propuso metodologías clave para evaluar los impactos de los eventos de riesgo operacional, recomendando tres enfoques principales: el indicador básico, el método estándar y el método de medición avanzada (Basilea II)¹¹.

Además, el comité recomendó la creación de bases de datos para documentar los eventos materializados con el objetivo de evaluar si el capital destinado al riesgo operacional es suficiente para garantizar la relación mínima de solvencia en los bancos. Con la implementación de Basilea III¹², se estableció una metodología única para el cálculo de la solvencia por riesgo operacional, dejando a discreción de las entidades bancarias la adopción de los modelos recomendados en Basilea II.

En este trabajo, se establecen dos grupos principales de variables explicativas vinculadas a los gastos por riesgo operacional. El primero incluye cuentas del estado de resultados y del balance, con periodicidad mensual, registradas bajo la codificación CUIF¹³. El segundo considera las transacciones, tanto por monto como por número, recopiladas de forma semestral. Estas variables se contrastarán con los gastos por RO registrados en cuentas específicas que reflejan los eventos materializados, con datos estructurados a frecuencias mensual y semestral.

Para cumplir con el objetivo de este estudio, se aplicará la metodología de Análisis de Datos Funcionales (FDA), reconocida por su capacidad para reducir la dimensionalidad y analizar las observaciones como funciones continuas en intervalos definidos. Esta metodología permitirá abordar de manera homogénea la relación entre los gastos por RO, las cuentas del balance y las transacciones realizadas. De esta forma, el presente documento busca responder la pregunta de investigación analizando las relaciones causales entre los gastos por RO, las variables financieras y las transacciones operativas.

De esta forma, el presente documento tiene como objetivo analizar las relaciones causales entre los gastos por RO, las variables financieras y las transacciones.

El trabajo se estructura de la siguiente manera:

Análisis descriptivo funcional: Se exploran y comprenden las relaciones entre las diferentes

⁸El presente trabajo define exposición a riesgo como el valor total de los recursos administrados o gestionados (propios o de terceros) por la institución financiera por unidad de negocio (definición del autor).

⁹Las agrupaciones según el CUIF están definidas en el Anexo I (Método Estándar para Determinar el Valor de la Exposición a los Riesgos Operacionales de los Establecimientos de Crédito) de la Circular Externa 025 de 2020, expedida por la SFC.

¹⁰Conocido por sus siglas en inglés como el Basel Committee on Banking Supervision (BCBS), es una organización internacional encargada de formular normas, directrices y recomendaciones para la supervisión bancaria a nivel global. Fue creado en 1974 por los gobernadores de los bancos centrales del Grupo de los Diez países (G-10), y su principal objetivo es fortalecer la regulación, la supervisión y las prácticas del sector bancario a nivel mundial para mejorar la estabilidad financiera.

¹¹En las páginas 159 a 162 se describen:

Método del Indicador Básico: El capital requerido para cubrir el riesgo operacional se calcula como un porcentaje fijo del ingreso bruto anual positivo, promediado en los últimos tres años.

Método Estándar: Divide las actividades bancarias en ocho líneas de negocio, utilizando el ingreso bruto de cada línea como un indicador del nivel de riesgo operacional asociado.

Métodos de Medición Avanzada: Permite a los bancos desarrollar modelos internos para calcular el riesgo operacional, sujetos a requisitos cuantitativos y cualitativos.

¹²Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, documento *Convergencia internacional de medidas y normas de capital*, 2006, páginas 175 a 178.

¹³Catálogo Único de Información Financiera (CUIF) con fines de Supervisión, adoptado mediante la Circular Externa 021 de 2014, expedido por la Superintendencia Financiera de Colombia.

variables.

Segmentación funcional de bancos mediante clúster funcional: Se agrupan entidades bancarias con base en los gastos por RO y las variables explicativas.

Indicadores asociados al RO y las variables explicativas: Mediante el Análisis de Componentes Principales Funcionales (ACPF), identificar patrones en la evolución de las pérdidas operacionales y su relación con variables financieras y transaccionales.

Predicción del gasto por riesgo operacional: Uso de regresiones funcionales para desarrollar herramientas que faciliten la toma de decisiones en la gestión del riesgo en entidades bancarias.

Esta organización busca abordar sistemáticamente los objetivos planteados y generar conocimiento práctico que facilite el monitoreo y gestión de los gastos asociados al riesgo operacional.

2. Marco teórico.

2.1. Revisión de literatura.

Aunque la metodología de análisis de datos funcionales (FDA por sus siglas en inglés) ha sido aplicada en estudios financieros, específicamente en el ámbito del riesgo operacional existe una escasa literatura centrada en las entidades bancarias. Esto se debe, en gran medida, a que las bases de datos relacionadas con eventos materializados no son públicas, debido a la confidencialidad y sensibilidad que implica exponer las vulnerabilidades de los bancos. Por ello, el presente trabajo propone construir variables financieras y transaccionales con el propósito de explicar el gasto asociado a la materialización de riesgos operacionales.

Para el desarrollo de este estudio, se revisaron investigaciones relevantes como la de Ferreira and Dickason-Koekemoer, (2019). En su artículo "Un modelo conceptual de eventos de riesgo operacional en el sector bancario", los autores plantean que una mejor evaluación del riesgo operacional puede lograrse analizando la reacción de los depositantes ante la ocurrencia de dichos eventos. Su estudio, basado en encuestas a 417 depositantes de diversas instituciones financieras en Sudáfrica, utilizó correlaciones no paramétricas de Spearman, pruebas de significancia para identificar relaciones entre variables, y análisis de fiabilidad para garantizar la consistencia de los datos. Los resultados demostraron que los depositantes son significativamente sensibles a la materialización de riesgos operacionales, lo que subraya la importancia de evaluar estas dinámicas en el sector bancario.

Por su parte, Bayrakdaroglu and Yalcin (2013), en su artículo "Una evaluación difusa de varios criterios de los factores de riesgo operacional para la propiedad estatal y bancos comerciales de propiedad privada en Turquía", destacan que las entidades de crédito gestionan sus riesgos operativos a través de factores clave como el capital humano, la tecnología, los procesos y los aspectos internos. Estos factores son evaluados mediante la metodología del Proceso de Jerarquía Analítica Difusa (FAHP, por sus siglas en inglés), con el propósito de analizar cómo los bancos públicos y privados son afectados por dichos factores de riesgo.

Xu et al. (2019), en su artículo "Modelo de doble correlación para el riesgo operativo: evidencia de los bancos comerciales chinos", proponen un modelo de medición basado en la doble correlación, desarrollado en línea con las directrices del Acuerdo de Basilea. Este enfoque considera simultáneamente la correlación entre la frecuencia y la severidad de los eventos, permitiendo la simulación de escenarios de pérdida por riesgo operacional. Los autores concluyen que dicho modelo genera estimaciones de pérdida inferiores en comparación con otros enfoques tradicionales, lo que se traduce en una menor provisión necesaria para cubrir la materialización de riesgos operacionales.

Borrajo López (2017) destaca cómo una entidad bancaria utilizó el Análisis de Datos Funcionales para analizar los pagos realizados por sus clientes con tarjetas. Esta metodología permitió identificar patrones de uso, segmentar clientes en nichos específicos y realizar predicciones sobre el consumo en diferentes épocas del año, mejorando las estrategias de marketing.

Autores como Castillo-Paez et al. (2017) aplicaron FDA a índices financieros de cooperativas ecuatorianas. Su análisis mostró que la variable de morosidad tenía un alto poder discriminante para clasificar cooperativas según su nivel de riesgo, gracias a cálculos de medias, profundidades y dispersión funcional.

Ladino Santamaría (2018) utilizaron FDA para explorar la relación entre el dólar, el petróleo y el mercado colombiano entre 2000 y 2015. Los resultados indicaron que la variabilidad funcional del petróleo era mayor que la del dólar, y que el año 2008 fue un punto atípico significativo en los análisis funcionales.

de componentes principales (ACP).

Chávez Chong et al. (2015) en su trabajo "Análisis de componentes principales funcionales en series de tiempo económicas", destacaron la utilidad del análisis de datos funcionales como una herramienta poderosa para estudiar series temporales económicas. Subrayaron la capacidad del FDA para resaltar tendencias y patrones generales presentes en los datos, permitiendo una representación continua y flexible de las observaciones a lo largo del tiempo. Además, enfatizaron cómo esta metodología facilita la identificación de componentes funcionales clave, como la tendencia, la estacionalidad y las variaciones estructurales, las cuales son fundamentales para interpretar dinámicas económicas complejas. Esta aproximación no solo mejora la comprensión de la estructura intrínseca de las series, sino que también permite abordar problemas como la detección de anomalías, la predicción a largo plazo y el análisis de impactos económicos, consolidándose como una herramienta esencial en la investigación financiera moderna.

Hyndman and Shang (2010), en su artículo "Rainbow Plots, Bagplots, and Boxplots for Functional Data", proponen herramientas gráficas innovadoras para la visualización y análisis de datos funcionales, con especial énfasis en la detección de valores atípicos. Los datos funcionales, que representan fenómenos continuos como curvas o trayectorias, requieren técnicas robustas para identificar anomalías tanto en magnitud como en forma. Los autores clasifican los valores atípicos en dos tipos principales; outliers de magnitud: Curvas que se encuentran fuera del rango típico de valores observados y outliers de forma: Curvas que, aunque no se desvían en magnitud, tienen formas o patrones diferentes. Los métodos destacan por su capacidad de proporcionar una representación visual clara y robusta de los datos funcionales, permitiendo identificar patrones clave y valores atípicos de manera eficiente.

Febrero et al.(2007) en su artículo "A Functional Analysis of NOx Levels: Location and Scale Estimation and Outlier Detection", aplican técnicas de análisis de datos funcionales para abordar la detección de valores atípicos en conjuntos de datos representados como curvas continuas en el tiempo. Su enfoque incluye el uso de medidas robustas, como la media funcional recortada y la desviación estándar funcional recortada, y la implementación de un procedimiento basado en distancias funcionales escaladas, complementado con bootstrap, para establecer umbrales confiables de detección de outliers. Aunque el estudio se centra en datos ambientales, su metodología puede extenderse al análisis financiero, donde la identificación de valores atípicos ya sea por magnitud o por comportamiento irregular, es crucial para gestionar riesgos y detectar anomalías en series temporales económicas. El uso de boxplots funcionales, como los propuestos en este trabajo, permite visualizar de manera efectiva la dispersión, identificar comportamientos extremos y contextualizar las observaciones dentro de un marco robusto y visual.

2.2. Datos funcionales.

El objetivo del presente trabajo es analizar las relaciones entre la materialización de riesgos operacionales, reflejada en las diferentes cuentas del Catálogo Único de Información Financiera (CUIF), y las transacciones realizadas a través de los canales ofrecidos a los clientes. Para ello, se emplearán la técnica estadística de análisis de datos funcionales, lo que implica trabajar con variables aleatorias que toman valores en un espacio funcional, entendido como un conjunto de funciones que describen un fenómeno específico.

La teoría del FDA surge como una respuesta a la necesidad de manejar y comprender grandes volúmenes de información en un contexto moderno. Este enfoque requiere desarrollar nociones matemáticas avanzadas que permitan estructurar los datos y generar herramientas óptimas para su análisis. En este marco, los datos funcionales se definen como funciones continuas y finitas que pertenecen a un intervalo específico. Estas funciones son tratadas en el espacio de Hilbert $L^2(T)$, que contiene todas las funciones cuadrado-integrables definidas en un intervalo de tiempo $T = [a, b]$ (Ramsay, J. O. and Silverman, B.

W., 2005).

El espacio de Hilbert $L^2(T)$ se caracteriza por permitir tanto operaciones algebraicas como análisis geométrico sobre funciones. Matemáticamente, se define como:

$$L^2(T) = \left\{ f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \mid \int_a^b f(t)^2 dt < \infty \right\} \quad (1)$$

La condición de cuadrado-integrabilidad asegura que las funciones en este espacio tengan una magnitud controlada dentro del intervalo $[a, b]$:

$$\int_a^b f(t)^2 dt < \infty \quad (2)$$

Dentro de $L^2(T)$, el producto interno está definido como:

$$\langle f, g \rangle = \int_a^b f(t)g(t)dt \quad (3)$$

donde $f(t)$ y $g(t)$ son funciones en $L^2(T)$. Este producto interno generaliza el concepto de producto escalar de los vectores a funciones, y establece la base para el análisis geométrico y algebraico en el espacio funcional.

Para modelar los datos funcionales, es común aproximarlos mediante combinaciones lineales de funciones base, como los B-splines:

$$r(t) = \sum_{i=0}^n P_i N_{i,k}(t) \quad n > k - 1, t \in [t_{k-1}, t_{n+1}] \quad (4)$$

donde P_i son los puntos de control y $N_{i,k}(t)$ son las funciones base. Esta representación permite una aproximación eficiente de datos funcionales complejos.

2.3. Correlación funcional de Spearman.

En la exploración de los datos utilizaremos la correlación funcional de Spearman, esta función evalúa la relación monótona entre la variable de interés y las variables explicativas, utilizando datos funcionales que comprenden los primeros componentes $X_1^1(t), X_2^1(t), \dots, X_N^1(t)$, y los segundos componentes $X_1^2(t), X_2^2(t), \dots, X_N^2(t)$, el resultado es una matriz de correlación de Spearman, que es simétrica y tiene unos en la diagonal, cada entrada (i, j) de la matriz representa el coeficiente de correlación de Spearman entre las curvas de los componentes i, j (Ramsay, J. O. and Silverman, B. W., 2005).

La correlación funcional de Spearman se define como el punto en el dominio si $p : s(t)$ es correlación en el punto (t) , como:

$$p_s^f = \frac{1}{n} \sum_s^n p_s(t) \quad (5)$$

donde n es el número de puntos en el dominio en los que se evaluaron las funciones y $p_s(t)$ es las correlaciones de Spearman calculada para las funciones $X(t)$ y $Y(t)$ en el punto (t) .

2.4. Correlación funcional de Pearson - continuas.

El análisis exploratorio de los datos, la correlación funcional de Pearson continua permitirá observar en el tiempo la relación de la variable explicada y explicativas, utilizando representaciones funcionales de las observaciones y considerando el dominio completo de las funciones.

El cálculo de la correlación funcional se basa en la covarianza y varianza funcionales, evaluadas sobre el dominio $[a, b]$. Los conceptos clave son los siguientes (Ramsay, J. O. and Silverman, B. W., 2005):

Covarianza funcional: La covarianza entre dos funciones $X(T)$ y $Y(T)$ en el dominio $[a, b]$ está dada por:

$$Cov(X, Y) = \int_a^b (X(t) - \mu_X(t))(Y(t) - \mu_Y(t))dt \quad (6)$$

donde $X(t)$ y $Y(t)$ son las funciones observadas en el dominio, y $\mu_X(t)$ y $\mu_Y(t)$ son las medias funcionales de $X(t)$ y $Y(t)$, que describen el promedio de cada función a lo largo del dominio t .

Varianza funcional: Mide la dispersión de la función $X(T)$ respecto a su media funcional μ_X , en el dominio $[a, b]$:

$$Var(x) = \int_a^b (X(t) - \mu_X(t))^2 dt \quad (7)$$

Este valor refleja cómo se distribuye la función $X(T)$ a lo largo de su dominio temporal en relación con su media funcional.

Correlación funcional: Es una extensión del coeficiente de correlación de Pearson, donde en lugar de calcularse sobre puntos discretos, la covarianza y la varianza se integran a lo largo del dominio $[a, b]$:

$$\rho(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X)Var(Y)}} \quad (8)$$

Este coeficiente proporciona una medida de la relación entre dos funciones considerando su comportamiento a lo largo de todo el dominio temporal, en lugar de puntos individuales, lo que ofrece una visión más completa y continua de la correlación.

2.5. Boxplot funcional.

Como parte del análisis exploratorio de datos, uno de los elementos de análisis es la identificación de funciones atípicas (datos atípicos), en el artículo Functional Boxplots (Sun and Genton, 2010), proponen la construcción de un boxplot a partir de los elementos que utiliza el Box-Plot tradicional, pero en el caso funcional se observan funciones en el intervalo, así:

Mediana funcional: Dado un conjunto de funciones $X_1(t), x_2(t), \dots, X_n(t)$ se puede construir las curvas para un Box-Plot funcional:

$$Mediana(t) = X_{med}(t) \quad (9)$$

Donde $X_{med}(t)$ es la función cuya mediana en cada punto t es la mediana de todas las funciones.

Curvas del primer y tercer cuartil:

$$Q_1(t) = X_{0.25}(t) \quad (10)$$

$$Q_3(t) = X_{0.75}(t) \quad (11)$$

donde $X_{0.25}(t)$ y $X_{0.75}(t)$ y son funciones correspondientes a los percentiles 25 y 75 en cada t .

Además, se define el rango intercuartílico como $IQR(t) = Q_3 - Q_1(t) - Q_1(t)$ y los extremos del box-plot se definen como: Límite inferior(t) = $Q_1(t) - 1.5 * IQR(t)$ y Límite superior(t) = $Q_3(t) + 1.5 * IQR(t)$, las curvas que estén por fuera de este rango se consideran *outliers*.

Media funcional. La media funcional es una función que representa el valor promedio de un conjunto de funciones observadas en un intervalo determinado. Se calcula para un conjunto de funciones $X_i(t)$ donde $i = 1, 2, \dots, n$ la media se define como:

$$\mu(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i(t) \quad (12)$$

Es decir, la media en cada punto t de la función se calcula promediando los valores de todas las funciones en ese punto.

Desviación estándar funcional. La desviación estándar funcional mide la variabilidad o dispersión de las funciones observadas alrededor de la media funcional y se define como:

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i(t) - \mu(t))^2} \quad (13)$$

para cada t , se calcula la desviación estándar tomando la diferencia entre cada función $x_i(t)$ y la media funcional $\mu(t)$.

2.6. Derivadas funcionales.

Es una operación que calcula la tasa de cambio de una función observada con respecto a su variable independiente. Al igual que en el cálculo diferencial, la derivada funcional mide cómo varía la función en cada punto del dominio. Se utiliza para capturar la dinámica o la evolución temporal de los datos funcionales, especialmente en casos donde las funciones representan fenómenos que cambian a lo largo del tiempo, en el presente trabajo desarrollaremos análisis en torno de la primera y segunda derivada (Ramsay, J. O. and Silverman, B. W., 2005).

Primera derivada de $f(T)$: se denota como $f'(t)$ o $\frac{df(t)}{dt}$, mide la tasa de cambio instantánea de la función en cada punto, es una forma de cuantificar cómo varía la función en un intervalo infinitesimal, en el caso de los datos financieros, la primera derivada indica la velocidad con la que cambia en el tiempo y la definimos como:

$$f'(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{f(t + \Delta t) - f(t)}{\Delta t} \quad (14)$$

Segunda derivada de $f(T)$: denotada como $f''(t)$ o $\frac{d^2 f(t)}{dt^2}$, mide la tasa de cambio de la primera derivada y describe la aceleración o el cambio en la tasa de crecimiento o decrecimiento y la definimos como:

$$f''(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{f'(t + \Delta t) - f'(t)}{\Delta t} \quad (15)$$

2.7. Análisis de Componentes Principales Funcional (ACPF).

Uno de los objetivos de la investigación es establecer grupos en función de las variables financieras con mejor correlación funcional y de las variables transaccionales, a fin de segmentar el grupo de entidades alrededor de los gastos por riesgo operacional.

Dado un conjunto de funciones $X(t)$ definidas en un dominio continuo $t \in [a, b]$, se busca descomponer cada función en una combinación lineal de funciones base ortogonales, llamadas componentes principales funcionales (ACPF)(Ramsay, J. O. and Silverman, B. W., 2005). El procedimiento se detalla a continuación:

- **Función media:** Para obtener los componentes principales, se comienza con la función media de las funciones observadas. Si $X_i(t)$ son las observaciones funcionales, la función media $\bar{X}_i(t)$ se calcula como:

$$\bar{X}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i(t) \quad (16)$$

- **Covarianza funcional:** Se define la matriz de covarianza funcional $C(s, t)$, que mide la dependencia entre las funciones en distintos instantes:

$$C(s, t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i(s) - \bar{X})(X_i(t) - \bar{X}(t)) \quad (17)$$

- **Autofunciones y autovalores:** La descomposición en componentes principales requiere resolver el problema de autovalores para la matriz de covarianza funcional. Se deben encontrar funciones $\phi_k(t)$ y autovalores λ_k que satisfagan:

$$\int_a^b C(s, t) \phi_k(t) dt = \lambda_k \phi_k(s) \quad (18)$$

donde las funciones $\phi_k(t)$ son las componentes principales funcionales, y los autovalores λ_k representan la varianza explicada por cada componente.

- **Proyección en las componentes principales:** Cada función $X_i(t)$ puede aproximarse usando una combinación de las primeras K componentes principales funcionales, de la forma:

$$X_i(t) \approx \bar{X}(t) + \sum_{k=1}^K \alpha_{ik} \phi_k(t) \quad (19)$$

donde α_{ik} son coeficientes de la proyección obtenidos como:

$$\alpha_{ik} = \int_a^b (X_i(s) - \bar{X}(s)) \phi_k(s) ds \quad (20)$$

2.8. Segmentación mediante k-means.

Para segmentar los grupos como resultado de aplicar el ACPF, utilizaremos el método k-means, que se define a continuación (MacQueen, 1967; Rodríguez-Ravines, 2019):

- Iniciación:** Se eligen K centroides iniciales aleatoriamente.
- Asignación de Clústeres:** Cada punto de datos x_i se asigna al clúster cuyo μ_j centro esté más cercano, minimizando la distancia euclidiana:

$$C_i = \arg \min_j \|x_i - \mu_j\|^2 \quad (21)$$

- Actualización de centroides:** Para cada clúster, se calcula un nuevo centroide μ_j como la media de todos los puntos asignados al clúster j :

$$\mu_j = \frac{1}{|C_j|} \sum_{x_i \in C_j} x_i \quad (22)$$

Los pasos b) y c) se repiten hasta que los centroides ya no cambien significativamente o hasta alcanzar un número máximo de iteraciones.

2.9. Regresión lineal funcional.

La regresión con datos funcionales es una extensión de los modelos de regresión tradicionales que permite trabajar con datos que son funciones continuas en lugar de valores discretos. En este contexto, las observaciones no se representan como vectores finitos de datos, sino como funciones definidas en un dominio continuo, como el tiempo o el espacio (Ramsay, J. O. and Silverman, B. W., 2005; Febrero-Bande Oviedo de la Fuente, 2012).

Modelo matemático general de regresión funcional: consideremos el siguiente modelo de regresión funcional en el que tanto la variable dependiente $Y(t)$ como las variables independientes $X_j(s)$ son funciones definidas en los intervalos T :

$$Y_i(t) = \beta_0(t) + \sum_{k=1}^4 \int_{s \in D_k} X_{ik}(s) \beta_k ds + \varepsilon_i(t) \quad (23)$$

donde:

$Y(T)$ es la variable dependiente funcional en el tiempo t .

$X_{jk}(s)$ son las variables independientes funcionales en el intervalo T_j .

β_k son los coeficientes funcionales que describen la relación entre $X_j(s)$ y $Y(t)$.

$\beta_0(t)$ es el intercepto funcional (en algunos casos, se puede asumir que $\beta(t) = 0$).

$\varepsilon(t)$ es el término de error,

4 es el número de variables independientes.

El modelo anterior asume que la relación entre la variable dependiente y las variables independientes es no lineal y puede variar de manera compleja a lo largo de t y s , lo que hace necesario el uso de bases funcionales para representar estas relaciones.

Representación en B-Splines. Para aproximar las funciones involucradas en el modelo de regresión funcional, se utilizan B-splines, una de las bases más comunes en regresión funcional. Los B-splines son polinomios a trozos definidos por un conjunto de nodos o "knots" que segmentan el intervalo de interés en subintervalos. En particular, el uso de B-splines de orden k permite representar funciones de manera suave y flexible, controlando la suavidad a través del número de funciones base.

La representación de $X_j(s)$ y $Y(t)$ en términos de B-splines es la siguiente:

$$X_j(s) = \sum_{k=1}^{k_j} c_{jk} \phi_k(s) \quad (24)$$

$$Y(t) = \sum_{m=1}^M d_m \psi_m(t) \quad (25)$$

donde:

$\phi_k(s)$ y $\psi_m(t)$ son las funciones base de B-splines asociadas a las variables $X_j(s)$ y $Y(t)$.

c_{jk} y d_m son los coeficientes de las funciones base para las variables $X_j(s)$ y $Y(t)$ respectivamente.

Por otro lado, los coeficientes $\beta_j(s, t)$ que vinculan las variables independientes con la dependiente también se representan mediante B-splines bidimensionales, es decir:

$$B_j(s, t) = \sum_{k=1}^{k_j} \sum_{m=1}^M b_{jkm} \phi_k(s) \psi_m(t) \quad (26)$$

donde b_{jkm} son los coeficientes que se estimarán durante el ajuste del modelo. La representación en B-splines permite que $B_j(s, t)$ sea una función suave, lo que es fundamental para la regularización y la prevención de sobreajuste.

Estimación de los Coeficientes: Minimización de la Función de Pérdida. El objetivo de la regresión funcional es estimar los coeficientes b_{jkm} de manera que se minimice el error de ajuste. Esto se logra mediante un procedimiento de mínimos cuadrados regularizado. La función de pérdida se define como:

$$L = \int [Y(t) - \hat{Y}(t)]dt + \lambda \sum_{j=1}^p \int \left[\frac{\partial^2 \beta_j(s, t)}{\partial s^2} \right] ds dt \quad (27)$$

donde:

$\hat{Y}(t)$ es la estimación de $Y(t)$ a partir del modelo ajustado.

λ es el parámetro de regularización que controla la suavidad de los coeficientes $\beta_j(s, t)$.

La segunda derivada de $\beta_j(s, t)$ se penaliza para evitar oscilaciones extremas, asegurando que las funciones $\beta_j(s, t)$ sean suficientemente suaves.

El término de penalización implica que los coeficientes $\beta_j(s, t)$ son suavizados, lo que es importante cuando se trabajan con datos funcionales, donde las curvas pueden ser ruidosas. La penalización de la derivada segunda es una técnica común para controlar la complejidad del modelo y mejorar la generalización.

Solución del modelo. La solución al problema de regresión funcional se obtiene resolviendo el sistema lineal resultante de la minimización de la función de pérdida. Si representamos las matrices de diseño y los coeficientes en forma matricial, la estimación de los coeficientes C es:

$$C = (W^T W X + \lambda P)^{-1} X^T W Y \quad (28)$$

donde:

X es la matriz de diseño que contiene las funciones base $\phi_k(s)$.

Y es la matriz de diseño para la variable dependiente,

W es una matriz de ponderación (por ejemplo, para dar mayor importancia a ciertos puntos de los datos),

XP es la matriz de penalización que penaliza la suavidad de los coeficientes.

Una vez estimados los coeficientes, se puede reconstruir la función $\hat{Y}(t)$ y evaluar la calidad del ajuste utilizando métodos estándar de validación, como el error cuadrático medio (*ECM*) o la validación cruzada.

La regresión funcional utilizando B-splines es una herramienta poderosa para modelar relaciones complejas entre variables funcionales. Su capacidad para representar funciones suaves y flexibles mediante bases polinomiales y la incorporación de un término de penalización aseguran que el modelo pueda ajustarse adecuadamente a los datos sin sobreajustarse. Este enfoque es especialmente útil en contextos donde las variables de interés son funciones definidas sobre intervalos, como en el análisis de series temporales, señales fisiológicas, o datos longitudinales.

3. Metodología.

3.1. Recolección de datos y características de las variables.

El propósito es explicar los gastos por riesgo operacional evaluados desde la información de los estados financieros y las transacciones realizadas a través de los canales transaccionales dispuestos para los clientes. Los datos corresponden a los periodos de enero 2015 a marzo de 2022, y abarcan un grupo de 29 entidades bancarias.

3.2. Ubicación de los datos.

Las fuentes de datos utilizadas son las siguientes:

- **Variables agrupadas:** Gastos RO, Componente de intereses, Operaciones de Leasing y Dividendos (CILD), Componente de Servicios (CS) y Componente Financiero (CF). La información está disponible en: <https://www.superfinanciera.gov.co/inicio/informes-y-cifras/cifras/establecimientos-de-credito/informacion-por-sector/bancos/informacion-financiera-con-fines-de-supervision-bancos-niif-10084375>.
- **Variables agrupadas de transacciones:** Información sobre transacciones de clientes a través de los canales dispuestos por los bancos. Los datos están disponibles en: <https://www.datos.gov.co/Econom-a-y-Finanzas/Transacciones-a-trav-s-de-los-canales-de-distribuc/bn4c-kptq>.

El conjunto de datos incluye los gastos por riesgo operacional correspondientes a cuentas CUIF que registran los bancos en los estados de resultados (ver Anexo 1). Estos datos se presentan con frecuencias mensual y semestral.

3.3. Variables explicativas de los estados financieros.

Las variables explicativas están definidas en la Circular Externa 025 de 2020. En el Anexo 1, la Superintendencia Financiera de Colombia (SFC) detalla las cuentas contables utilizadas para calcular la solvencia de los bancos. Estas cuentas se agrupan en los siguientes componentes, con periodicidad mensual, ver tabla 1:

- **Componente de intereses:** Incluye ingresos y gastos relacionados con intereses y operaciones de leasing, así como ingresos por dividendos.
- **Componente de servicios:** Comprende ingresos y gastos derivados de honorarios, comisiones y otros servicios operativos.
- **Componente financiero:** Incluye beneficios y pérdidas en portafolios de inversión a valor razonable y costo amortizado.

Tabla 1: Conformaciones variables financieras

Fuente: Anexo 1 Circular Externa 25 de 2020 de la SFC. **Elaboración:** Propia.

Componente	Variable	Tipo de cuenta	Acrónimo	Descripción
Componente de intereses, operaciones de leasing y dividendos (CILD)	Ingresos por intereses y operaciones de leasing	Estado de pérdidas y ganancias	IIOL	Ingresos por intereses de todos los activos financieros y otros ingresos por intereses.
	Gastos por intereses y operaciones de leasing	Estado de pérdidas y ganancias	GIOL	Gastos por intereses de todos los pasivos financieros y otros gastos por intereses.
	Activos que devengan intereses	Balance General	ADI	Partidas de balance del importe bruto total de préstamos pendientes, anticipos, activos que devengan intereses.
	Ingresos por dividendos	Estado de pérdidas y ganancias	ID	Ingresos por dividendos de inversiones en acciones y fondos no consolidados en los estados financieros de la entidad.
Componente de servicios	Otros ingresos de operación	Estado de pérdidas y ganancias	OIO	Ingresos de operaciones bancaria ordinarias.

Continúa en la siguiente página

Componente	Variable	Tipo de cuenta	Acrónimo	Descripción
Componente financiero	Ingresos por honorarios y comisiones	Estado de pérdidas y ganancias	IHC	Ingresos percibidos por la prestación de asesoramiento y servicio.
	Gastos por honorarios y comisiones	Estado de pérdidas y ganancias	GHC	Gasto que la entidad bancaria incurre para operar el portafolio de productos y servicios que ofrece a sus clientes.
	Beneficio neto en el portafolio de inversiones a valor razonable	Estado de pérdidas y ganancias	BNPIVRI	Sumatoria del beneficio de activos y pasivos mantenidos para negociación (derivados, títulos de deuda, valores de renta variable, préstamos y anticipos, posiciones cortas, otros activos y pasivos), beneficio neto de contabilidad de coberturas y beneficio neto de diferencias de cambio de estos instrumentos.
	Pérdida neta en el portafolio de inversiones a valor razonable	Estado de pérdidas y ganancias	BNPIVRG	Sumatoria de la pérdida neta de activos y pasivos mantenidos para negociación (derivados, títulos de deuda, valores de renta variable, préstamos y anticipos, posiciones cortas, otros activos y pasivos), pérdida neta de contabilidad de coberturas y pérdida neta de diferencias de cambio de estos instrumentos.
	Beneficio neto en el portafolio a costo amortizado	Estado de pérdidas y ganancias	BNPCAI	Sumatoria de beneficio neto de activos y pasivos financieros contabilizados a costo amortizado, plusvalía/minusvalía materializada sobre activos y pasivos financieros no contabilizados al valor razonable, beneficio neto de contabilidad de coberturas y beneficio neto de diferencias de cambio de estos instrumentos.
	Pérdida neta en el portafolio a costo amortizado	Estado de pérdidas y ganancias	BNPCAG	Sumatoria de pérdida neta de activos y pasivos financieros contabilizados a costo amortizado, plusvalía/minusvalía materializada sobre activos y pasivos financieros no contabilizados al valor razonable, pérdida neta de contabilidad de coberturas y pérdida neta de diferencias de cambio de estos instrumentos.

3.4. Variables explicativas de las transacciones.

Las variables explicativas de las transacciones esta definidas en el formato 444 expedido por la SFC, en el cual muestra la información semestral de las transacciones, las cuales se relacionan en la tabla 2.

Tabla 2: Conformaciones variables transaccionales.

Fuente: Circular Externa 014 de 2008 de la SFC, fomtato 444 . **Elaboración:** Propia.

Variable	Acrónimo	Descripción
Monto de transacciones no presenciales	MNP	Monto de las transacciones que cursan por los canales no presenciales (banca móvil, ACH, Internet, débito automático y audio respuesta).
Número de transacciones no presenciales	NNP	Número de las transacciones que cursan por los canales no presenciales (banca móvil, ACH, Internet, débito automático y audio respuesta).
Monto de transacciones presenciales	MP	Monto de las transacciones que cursan por los canales presenciales (oficinas, cajeros automáticos y datáfonos).
Número de transacciones presenciales	NP	Número de las transacciones que cursan por los canales presenciales (oficinas, cajeros automáticos y datáfonos).

4. Resultados.

4.1. Análisis descriptivo tradicional invariado por entidad.

En las tablas 3 y 4 se presenta la correlación de Pearson del gasto por riesgo operacional (GRO) con las variables financieras y transaccionales de las entidades bancarias seleccionadas. A continuación, se analizan los principales hallazgos:

a) Correlaciones positivas.

Se observan correlaciones positivas altas en algunas entidades, destacándose el Banco de Occidente, el cual muestra una alta correlación respecto al GRO, particularmente en las siguientes variables:

- Monto de transacciones presenciales (MP).
- Monto de transacciones no presenciales (MNP).
- Ingresos por dividendos (ID).

b) Correlaciones negativas.

Algunos bancos, como Bancamía S.A. y Banco Pichincha S.A., presentan correlaciones negativas significativas con varias variables, entre ellas:

- Pérdida neta en el portafolio a costo amortizado (BNPCAG).
- Beneficio neto en el portafolio a costo amortizado (BNPCAI).

Esto sugiere que a medida que estas variables aumentan, el valor del GRO tiende a disminuir, lo cual podría reflejar inconsistencias o efectos inversos en el comportamiento financiero respecto al GRO. Asimismo, el Banco GNB Sudameris también muestra correlaciones negativas con varias variables, lo que podría indicar efectos contrarios a los esperados.

c) Correlaciones cercanas a cero.

Algunos bancos, como Banco Santander y Bancoomeva, presentan correlaciones cercanas a cero en ciertas variables, lo que indica la ausencia de una relación clara con la variable objetivo (GRO), resultando en una baja relevancia para el estudio.

d) Correlaciones dispersas.

Se identifican casos de correlaciones dispersas en entidades como Citibank, donde algunas variables presentan relación con el GRO, mientras que otras no. Esto sugiere un comportamiento mixto o multidimensional en los efectos esperados.

e) Variables relevantes.

Se destaca la relevancia de las siguientes variables, las cuales muestran una relación consistente y significativa con el gasto por riesgo operacional en varias entidades bancarias:

- Ingresos por dividendos (ID).
- Ingresos por honorarios y comisiones (IHC).
- Monto de transacciones presenciales (MP).
- Monto de transacciones no presenciales (MNP).

En las tablas 3 y 4 se pueden observar los resultados de los cálculos de correlación de Pearson.

Tabla 3: Correlación Gasto por RO versus variables financieras

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

Entidad	IHC	ID	IOL	OIO	GHC	GIOL	ADI	BNPCAG	BNPCAI	BNPIVRG	BNPIVRI
AV Villas	0.51	0.04	0.54	0.17	0.59	0.54	0.35	0.43	0.45	0.23	0.32
Banagrario	0.2	0.28	0.08	-0.03	0.14	0.07	0.09	0.14	0.02	0.04	0.12
Bancamía	0	-0.05	0.01	0	-0.08	-0.03	0.01	0.15	-0.15	-0.09	0
Bancien	0.25	0.03	0.24	0.21	0.17	0.16	0.25	0.23	0.08	0.03	0.07
Banco BTG	0	0	0.35	0	0.24	0.25	0.26	0.58	0.36	0.12	0.53
Banco Caja Social	0.15	-0.05	0.15	0.37	0.17	-0.09	0.2	0.12	0.08	-0.08	0.1
Banco Davivienda	0.36	0.05	0.4	0.19	0.46	0.28	0.43	0.03	0.3	0.11	0.11
Banco de Bogotá	0.4	0.65	0.72	0.54	0.69	0.66	0.19	0.25	0.45	0.37	0.38
Banco de Occidente	0.66	0.47	0.79	0.58	0.69	0.74	0.29	0.41	0.68	0.48	0.49
Banco Falabella	0.26	0	0.18	0.26	0.28	0.11	0.14	-0.05	0.07	0.05	0.03

Continúa en la siguiente página

Entidad	IHC	ID	IOL	OIO	GHC	GIOL	ADI	BNPCAG	BNPCAI	BNPIVRG	BNPIVRI
Banco GNB	-0.06	-0.08	-0.23	0.02	-0.17	-0.1	-0.25	-0.06	0.1	-0.03	-0.04
Banco J.P	0.02	0	0.35	0	0.24	0.1	0.25	0.11	0.02	0.11	0.13
Banco Mundo Mujer	0.1	0	0.1	-0.07	0.14	-0.01	0.1	0.01	-0.01	-0.01	-0.06
Banco Pichincha	0.21	0.01	-0.17	-0.02	0.12	0.07	-0.17	0.32	0.16	0.04	0.05
Banco Popular	0.57	0.55	0.72	0.07	0.72	0.65	0.17	0.18	0.49	0.11	0.14
Banco Santander	-0.02	0	-0.05	0.14	0	-0.06	-0.04	0.11	-0.02	0.16	0.17
Banco Serfinanza	0.61	0	0.58	0.55	0.64	0.52	0.58	0.64	0.5	0.56	0.11
Banco Unión	0.05	0	0.38	0.17	0.22	0.32	0.34	0.02	0.37	-0.22	0.23
Banco W	0.02	-0.03	0.06	-0.01	-0.02	0.08	0.03	-0.03	-0.01	-0.04	-0.04
Bancolombia	0.42	0.1	0.28	0.12	0.39	0.16	0.37	-0.06	0.2	0.2	0.2
Bancoomeva	0.12	0.29	0.19	0.19	0.29	0.11	0.41	0.04	0.08	0.49	0.38
BBVA Colombia	0.68	0.01	0.17	0.08	0.26	0.16	0.14	-0.04	0.04	-0.02	-0.02
Citibank	0.15	0.08	0.25	0	0.17	0.26	0.26	-0.26	0	-0.28	-0.29
Coopcentral	0.01	0.03	0.05	-0.02	0.04	0.06	0	0.1	0.02	0.01	0.03
Finandina	-0.04	-0.06	-0.02	0.09	-0.03	-0.01	-0.03	-0.05	-0.05	0.09	0.04
Itaú	0.26	-0.01	-0.1	-0.05	0.08	-0.15	-0.09	-0.1	0.07	-0.12	-0.12
Lulo Bank	0.07	0	-0.26	0	0.07	-0.41	-0.15	0.49	-0.13	0.49	0.1
Mibanco	-0.01	-0.07	0.32	0.3	-0.11	0.22	0.23	0.33	0.18	0.27	0
Scotiabank Colpatria	0.38	-0.22	0.39	0.14	0.32	0.38	0.45	0.06	0.18	0.07	0.07

Tabla 4: Correlación Gasto por RO versus variables transaccionales

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

Entidad	MNP	MP	NNP	NP
AV Villas	0.62	0.75	0.00	0.05
Banagrario	0.14	0.25	-0.20	0.18
Bancamía	-0.17	-0.18	-0.19	-0.22
Bancien	0.49	0.52	-0.41	-0.02
Banco BTG	0.35	0.27	0.87	0.49
Banco Caja Social	0.38	0.43	0.32	0.53
Banco Davivienda	0.04	0.75	0.64	0.71
Banco de Bogotá	-0.46	0.51	-0.39	0.52
Banco de Occidente	0.49	0.65	0.34	0.50
Banco Falabella	0.16	0.02	-0.28	0.02
Banco GNB Sudameris	-0.39	-0.47	0.55	0.25
Banco J.P	0.16	0.05	0.08	0.05
Banco Mundo Mujer	0.34	0.11	0.25	0.07
Banco Pichincha	-0.42	-0.10	-0.59	0.65
Banco Popular	0.13	0.37	0.38	0.18
Banco Santander	-0.04	-0.11	-0.11	-0.11
Banco Serfinanza	0.78	0.74	0.70	0.73
Banco Unión	0.53	0.58	0.51	0.58
Banco W	0.47	-0.03	0.15	0.00
Bancolombia	0.22	0.60	0.56	0.62
Bancoomeva	-0.34	0.61	-0.67	0.53
BBVA Colombia	0.20	0.13	0.31	0.23
Citibank	0.45	0.12	0.51	0.13
Coopcentral	0.00	-0.07	0.16	-0.05
Finandina	-0.19	-0.04	-0.02	-0.01
Itaú	-0.48	-0.12	0.60	0.66
Lulo Bank	0.95	0.88	0.94	0.89
Mibanco	0.26	0.27	0.58	0.29
Scotiabank Colpatria	0.86	0.84	0.76	0.80

En las tablas 5, 6 y 7 se analizan los coeficientes de variación respecto a las variables de estudio. Este coeficiente mide la relación entre la desviación estándar y la media, permitiendo evaluar la variabilidad relativa en los datos para cada banco y variable.

Los resultados indican que los datos financieros y transaccionales presentan una variación significativa respecto a su media, lo que podría señalar una mayor incertidumbre al momento de estimar los gastos por riesgo operacional en función de las variables de estudio.

Tabla 5: Coeficiente de Variación variables financieras(negocio y gasto RO)

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

Entidad	IHC	ID	IOL	OIO	GHC	GIOL	ADI	GRO	GRO S
AV Villas	0.98	2.75	0.78	3.14	0.76	0.92	1.46	0.16	0.8
Banagrario	0.29	1.9	0.21	4.91	0.32	0.48	1.93	0.1	0.85
Bancamía	0.2	6.49	0.18	3.25	0.62	0.33	2.85	0.17	1.18
Bancien	1.25	4.68	1.17	5.6	1.56	1.22	2.08	1.05	1.18
Banco BTG	4.76	0	3.5	0	2.93	4	9.13	2.67	3.85

Continúa en la siguiente página

Entidad	IHC	ID	IIOL	OIO	GHC	GIOL	ADI	GRO	GRO S
Banco Caja Social	0.22	2.13	0.14	1.79	0.37	0.4	1.74	0.12	0.85
Banco Davivienda	0.29	0.58	0.28	1.42	0.44	0.54	0.88	0.25	0.57
Banco de Bogotá	4.04	1.12	0.86	2.66	0.78	1	1.15	0.14	0.43
Banco de Occidente	0.94	0.97	0.89	1.49	0.95	1.04	1.26	0.16	0.62
Banco Falabella	0.32	0	0.44	1.9	0.34	0.84	0.9	0.47	0.71
Banco GNB Sudameris	0.52	1.23	0.21	5.78	0.3	0.41	1.8	0.22	0.91
Banco J.P	2.24	0	3.02	0	1.81	2.49	7.91	2.2	3.24
Banco Mundo Mujer	0.25	0	0.21	3.3	0.74	0.45	2.13	0.24	0.84
Banco Pichincha	0.27	2.77	0.23	8.78	0.3	0.28	1.48	0.08	0.69
Banco Popular	1.49	1.44	1.12	2.81	1.25	1.29	1.44	0.18	0.72
Banco Santander	0.97	0	0.88	4.61	1.13	1.13	4.1	0.68	2.09
Banco Serfinanza	1.06	0	1.06	4.54	1.1	1.23	1.82	1.03	1.54
Banco Unión	0.93	0	0.21	1.42	0.22	0.25	1.45	0.22	0.91
Banco W	0.35	5.01	0.21	4.3	0.64	0.32	5.02	0.27	2.16
Bancolombia	0.29	1.25	0.33	1.49	0.44	0.49	0.64	0.23	0.39
Bancoomeva	0.6	1.23	0.57	2.33	0.49	0.58	0.94	0.12	0.68
BBVA Colombia	0.32	0.9	0.19	3.14	0.24	0.37	1.2	0.22	0.56
Citibank	1.3	0.37	0.76	4.83	0.62	0.69	3.23	0.34	1.64
Coopcentral	1.37	2.83	0.27	9.64	0.25	0.38	4.13	0.13	1.59
Finandina	0.41	4.33	0.31	6.44	0.47	0.6	1.9	0.24	0.73
Itaú	1.21	0.84	0.14	2.12	0.27	0.36	1.65	0.04	0.65
Lulo Bank	2.34	0	4.39	9.37	3.26	4.51	37.33	2.65	2.68
Mibanco	0.89	3.76	0.38	4.69	0.52	0.54	3.13	0.29	1.16
Scotiabank Colpatría	0.29	1.1	0.2	3.55	0.29	0.44	1.12	0.2	0.69

Tabla 6: Coeficiente de Variación variables financieras (tesorería)

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

Entidad	BNPCAG	BNPCAI	BNPIVRG	BNPIVRI
AV Villas	1.33	1.56	1.26	1.92
Banagrario	0.64	0.9	0.37	0.59
Bancamía	0.66	1.42	0.54	1.94
Bancien	1.37	1.14	1.67	1.07
Banco BTG	3.4	3.13	2.76	6.98
Banco Caja Social	0.29	0.58	0.52	0.63
Banco Davivienda	1.98	0.99	0.55	0.95
Banco de Bogotá	1.2	1.39	0.86	1.38
Banco de Occidente	1.54	1.43	1.05	1.41
Banco Falabella	1.89	1.75	1.48	1.41
Banco GNB Sudameris	2.66	3.48	0.32	1.7
Banco J.P	2.6	2.1	2.24	2.15
Banco Mundo Mujer	0.72	2.62	1.19	1.76
Banco Pichincha	1.47	2.39	0.87	1.51
Banco Popular	1.27	1.16	1.18	1.15
Banco Santander	2.72	1.39	1.98	1.31
Banco Serfinanza	1.08	6.89	1.47	1.88
Banco Unión	0.74	3.97	0.62	0.47
Banco W	1.46	1.74	1.03	1.64
Bancolombia	2.69	1	0.62	0.98
Bancoomeva	0.74	1.41	0.83	0.64
BBVA Colombia	1.87	1.31	0.78	1.28
Citibank	3.31	1.19	0.78	1.02
Coopcentral	2.39	0.91	1.07	0.48
Finandina	0.32	2.55	0.5	1.59
Itaú	1.95	1.06	0.64	1.04
Lulo Bank	13.49	12.98	2.72	8.18
Mibanco	4.14	1.7	0.85	3.57
Scotiabank Colpatría	2.22	4.1	1.79	3.91

Tabla 7: Coeficiente de Variación variables transaccionales.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

Entidad	MNP	MP	NNP	NP
AV Villas	0.1	0.39	0.07	0.04
Banagrario	0.14	0.44	0.29	0.31
Bancamía	0.16	1.27	0.15	1.28
Bancien	0.57	1	0.45	0.62
Banco BTG Pactual Colombia	2.97	3.09	2.86	2.81
Banco Caja Social	0.16	0.27	0.11	0.67

Continúa en la siguiente página

Entidad	MNP	MP	NNP	NP
Banco Davivienda	0.18	0.43	0.21	0.95
Banco de Bogotá	0.32	0.17	0.13	0.32
Banco de Occidente	0.14	0.45	0.14	0.27
Banco Falabella	0.22	1.11	0.39	1.07
Banco GNB Sudameris	0.15	0.36	0.3	0.52
Banco J.P. Morgan Colombia	2.82	3.07	2.9	3.05
Banco Mundo Mujer	0.31	2	0.17	1.89
Banco Pichincha	0.26	0.34	0.36	0.48
Banco Popular	0.11	0.27	0.11	0.74
Banco Santander	0.85	1.08	1.2	1.23
Banco Serfinanza	1.08	1.4	1.05	1.26
Banco Unión	1.05	1.49	0.9	1.59
Banco W	0.24	3.23	0.3	3.89
Bancolombia	0.18	0.39	0.27	0.9
Bancoomeva	0.11	0.58	0.13	0.62
BBVA Colombia	0.18	0.43	0.31	0.45
Citibank	0.51	0.15	0.59	0.31
Coopcentral	0.35	0.57	0.29	0.53
Finandina	0.26	1.31	0.57	1.29
Itaú	0.51	0.21	0.12	0.39
Lulo Bank	3.39	3.9	3.41	3.87
Mibanco	0.28	2.86	0.22	2.93
Scotiabank Colpatria	0.37	0.61	0.33	0.68

4.2. Ajuste a las variables.

Del análisis preliminar del conjunto de datos originales, se observó que algunas entidades financieras reportan valores negativos en las cuentas CUIF, específicamente en los ingresos y gastos del estado de pérdidas y ganancias. Esta situación implica que, en ciertos meses, la interpretación de los datos se invierte, registrando gastos como ingresos e ingresos como gastos, lo que puede generar confusión en el análisis.

Este fenómeno se explica porque las entidades bancarias pueden registrar valores que, en un primer momento, se presentan como un gasto, pero que posteriormente son recuperados dentro del mismo año fiscal. Un ejemplo de esta situación ocurre cuando una entidad reporta un fraude en las cuentas CUIF del gasto como riesgo operacional en febrero. Si la aseguradora cubre el monto afectado mediante una reclamación presentada por el banco, tres meses después, en mayo, la entidad puede revertir el mismo registro contable en la cuenta CUIF de gasto para reflejar el valor recuperado. Como consecuencia, si la recuperación es mayor al gasto inicial, en el estado de resultados aparecerá un valor negativo. De acuerdo con las Normas Internacionales de Información Financiera (IFRS, International Accounting Standards Board, 2018), esta práctica contable está permitida, ya que las normativas contemplan la posibilidad de reflejar valores causados con signo negativo¹⁴.

Para los propósitos de este estudio, los gastos e ingresos se consideran como valores positivos, ya que la inclusión de valores negativos podría distorsionar la interpretación de los resultados. En particular, en los casos en los que los eventos materializados parecieran no tener impacto en los resultados financieros, lo cual podría llevar a conclusiones erróneas. Dado que el objetivo principal es analizar los gastos derivados de la materialización de eventos y cómo estos pueden ser explicados a partir de las variables financieras, se ha decidido corregir los valores negativos y realizar los ajustes necesarios en los datos.

Para corregir esta situación, se aplicó el filtro de Kalman, una metodología ampliamente reconocida por su capacidad para imputar valores en series de tiempo con alta precisión. Su aplicación tuvo como objetivo principal el ajuste de los valores negativos presentes en los datos originales.

Gracias a la implementación de este procedimiento, los valores negativos han sido reemplazados de manera consistente, asegurando que la estructura de la serie de tiempo conserve sus propiedades

¹⁴Los valores causados con signo negativo en contabilidad representan ajustes a ingresos o gastos previamente registrados. Estos pueden surgir por devoluciones, descuentos, correcciones contables o reembolsos que reducen un ingreso o gasto previamente reconocido (International Accounting Standards Board [IASB], 2018).

esenciales sin introducir sesgos que puedan afectar los resultados del análisis. Este filtro consta de dos fases principales:

a) **Etapas de predicción.**

Predicción del estado:

$$\hat{x}_{k|k-1} = A\hat{x}_{k-1|k-1} + Bu_k \quad (29)$$

donde $\hat{x}_{k|k-1}$ es la estimación del estado en el tiempo k , A es la matriz de transición del estado, B es la matriz de control y u_k es la entrada de control.

Predicción de la covarianza del error:

$$P_{k|k-1} = AP_{k-1|k-1}A^T + Q \quad (30)$$

donde $P_{k|k-1}$ es la covarianza del error predicha y Q es la matriz de covarianzas del ruido del proceso.

b) **Etapas de corrección.**

Cálculo de la ganancia de Kalman:

$$K_k = P_{k|k-1}C^T(CP_{k|k-1}C^T + R)^{-1} \quad (31)$$

donde K_k es la ganancia de Kalman, C es la matriz que relaciona las mediciones con el estado, y R es la matriz de covarianza del ruido de las mediciones.

Actualización del estado:

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k(z_k - C\hat{x}_{k|k-1}) \quad (32)$$

donde z_k es la medición en el tiempo k .

Actualización de la covarianza del error:

$$P_{k|k} = (I - K_kC)P_{k|k-1} \quad (33)$$

donde I es la matriz identidad.

Resultados de la aplicación del filtro de Kalman.

Las figuras 1, 3 y 5 muestran los datos originales y los datos funcionales ajustados mediante una base B-spline de diez funciones de orden cuatro, sin la aplicación del filtro de Kalman. Como resultado, se observan valores negativos en las curvas.

Tras aplicar el ajuste a los datos, las figuras 2, 4 y 6 presentan los mismos datos, pero esta vez con el filtro de Kalman. Gracias a este procedimiento, los valores negativos han sido ajustados, imputándose un total de 751 datos, equivalentes al 1.5 % del conjunto de datos.

Cabe destacar que, salvo los activos que devengan intereses (ID), los cuales forman parte del balance general (activo), no presentan movimientos negativos, el resto de las variables financieras, correspondientes al estado de resultados (gastos e ingresos), fueron ajustadas en algunos casos debido a la presencia de valores negativos en su causación mensual, los cuales

se reflejan en los estados de resultado, como se explicó anteriormente.

Por otro lado, las variables transaccionales no requirieron la aplicación del filtro de Kalman, ya que ninguno de los bancos registró cifras negativas en sus transacciones.

Figura 1: GRO datos originales.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

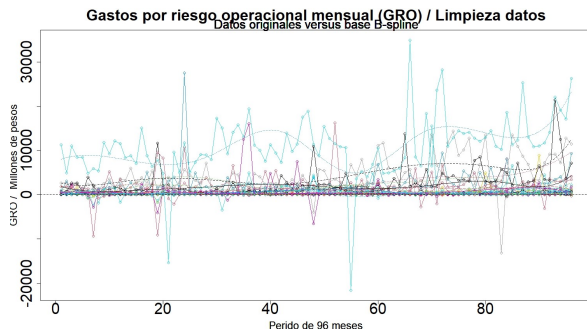


Figura 2: GRO datos imputados.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

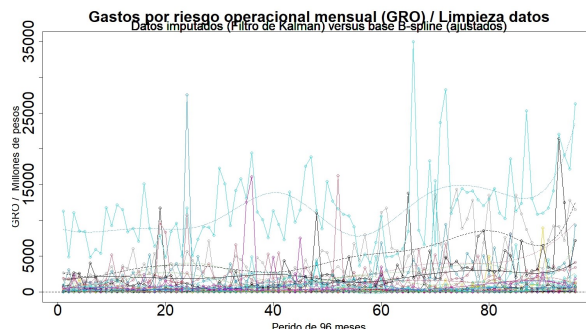


Figura 3: IOL datos originales.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

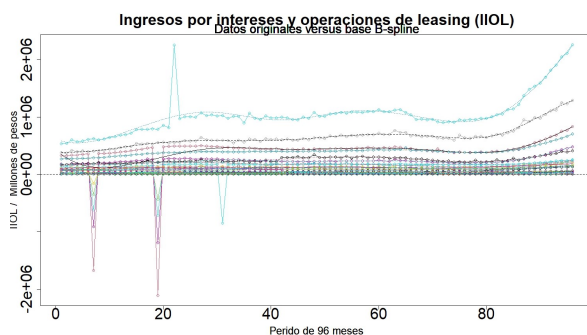


Figura 4: IOL datos imputados.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

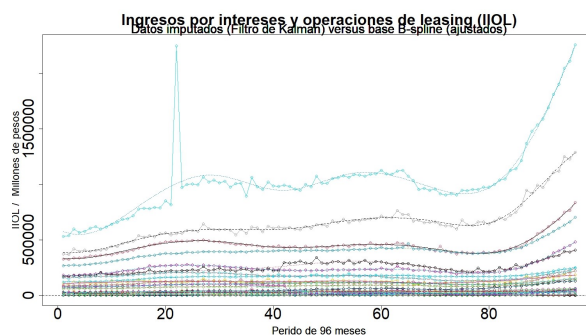


Figura 5: GIOL datos originales.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

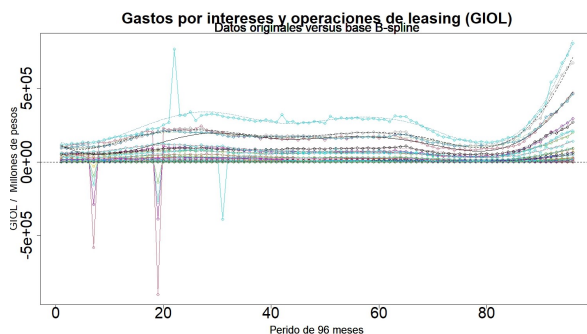
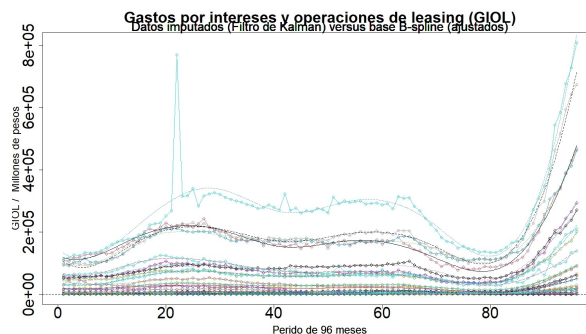


Figura 6: GIOL datos imputados.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



4.3. Análisis exploratorio de los datos funcionales.

4.3.1. Correlaciones funcionales de Spearman.

La correlación funcional de Spearman ayuda a entender la relación existente entre los gastos por riesgo operacional y el conjunto de variables explicativas (financieras y transaccionales) en términos

estadísticos, permite seleccionar las variables que mejor se asocie con la variable a explicar. Los resultados de la aplicación de la metodología muestran que las variables financieras con mayor correlación con los gastos por riesgo operacional son:

- Ingresos por honorarios y comisiones (IHC).
- Ingresos por intereses y operaciones de leasing (IIOL).
- Gastos por honorarios y comisiones (GHC).
- Activos que devengan intereses (ADI).

Estas variables presentan coeficientes de correlación superiores a 0.90. Esto es coherente, ya que los principales negocios bancarios, reflejados en las cuentas CUIF que componen dichas variables, son probablemente los que generan mayores gastos por materialización de eventos relacionados con el riesgo operacional, esto se debe al alto volumen de operaciones crediticias y a la gestión de las carteras de crédito, que conllevan un mayor riesgo operacional, en la tabla 8 se muestran las correlaciones de las variables financieras.

Tabla 8: Correlaciones funcionales Gasto por RO y variable financieras.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

Relevancia	Variables	Acrónimo	Spearman
1	Ingresos por honorarios y comisiones	IHC	0.97
2	Ingresos por intereses y operaciones de leasing	IIOL	0.95
3	Gastos por honorarios y comisiones	GHC	0.94
4	Activos que devengan intereses	ADI	0.93
5	Gastos por intereses y operaciones de leasing	GIOL	0.90
6	Pérdida neta en el portafolio a costo amortizado	BNPCAG	0.87
7	Otros Ingresos de Operación	OIO	0.87
8	Beneficio neto en el portafolio de inversiones a valor razonable	BNPIVRI	0.83
9	Pérdida neta en el portafolio de inversiones a valor razonable	BNPIVRG	0.82
10	Beneficio neto en el portafolio a costo amortizado	BNPCAI	0.81
11	Ingresos por dividendos	ID	0.76

Las variables transaccionales se ordenan según los resultados mostrados en la tabla9, donde se destaca que el número de transacciones tiene una mejor correlación con los gastos por riesgo operacional que los montos transados. Esto podría explicarse porque los gastos relacionados con el riesgo operacional tienden a variar en función del número de transacciones, ya que un mayor volumen de operaciones puede aumentar la probabilidad de materialización de eventos de riesgo.

Sin embargo, se observa que la correlación de las variables transaccionales es relativamente menor en comparación con las variables financieras. Esto sugiere que, aunque el número de transacciones influye en los gastos por riesgo operacional, el impacto de las variables financieras sigue siendo más significativo debido a la naturaleza del negocio bancario, donde las cuentas CUIF recoge información asociada a los gastos por riesgo operacional asociadas a los eventos.

Tabla 9: Correlaciones funcionales Gasto por RO y variables transaccionales.

Fuente: Formato 444-SFC. **Elaboración:** Propia.

Relevancia	Variables	Acrónimo	Spearman
1	Número de transacciones no presencial	NNP	0.94
2	Número de transacciones presencial	NP	0.91
3	Monto de las transacciones no presenciales	MNP	0.88
4	Monto de transacciones presencial	MP	0.84

4.3.2. Correlaciones funcionales de Pearson continuas.

Mediante la correlación de Pearson funcional, se analizaron 96 meses para las variables financieras y 16 semestres para las variables transaccionales. Los datos de las variables fueron ajustados utilizando una base B-spline con diez funciones base de orden cuatro, y se calcularon las correlaciones correspondientes.

Este enfoque permite capturar la relación dinámica y evolutiva entre las variables financieras y transaccionales con los gastos por riesgo operacional, proporcionando una medida más robusta y representativa que los enfoques basados en datos discretos.

Las figuras que se muestran a continuación presentan los resultados obtenidos. En la gráfica se presentan tres ejes; el eje z (vertical) representa la magnitud de la correlación, mientras que los ejes x e y representan el tiempo t . Los espacios más claros corresponden a una baja correlación, y los más oscuros indican una alta correlación para cada tiempo t .

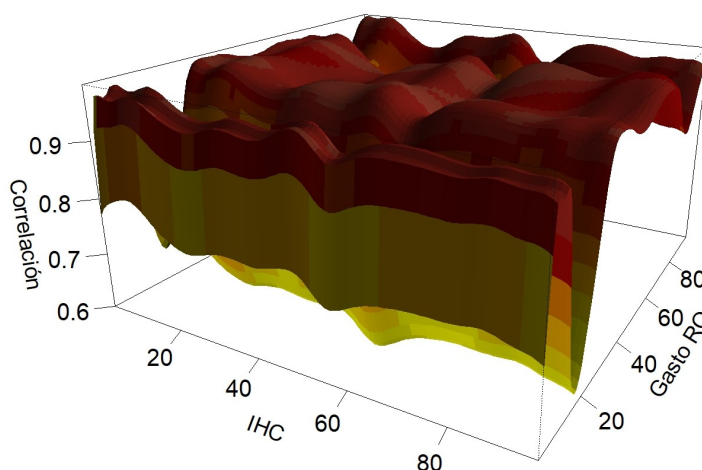
4.3.2.1. Análisis de las variables financieras A continuación, se detallan las observaciones clave de las principales variables financieras, evaluadas utilizando la correlación de Pearson en función del tiempo:

a) **Ingresos por Honorarios y Comisiones (IHC):**

La variable mostró la mayor correlación con los gastos por RO a lo largo del tiempo. En la figura 7 se observa que los colores más oscuros indican una mayor correlación, mientras que los más claros reflejan una correlación menor. En el eje horizontal se distingue una franja clara, que corresponde a una baja correlación entre junio de 2015 y diciembre de 2017. Esto implica que, durante estos meses, la relación entre los ingresos por honorarios y comisiones y los gastos por RO fue menor. El IHC incluye ingresos generados por operaciones del mercado de valores, servicios financieros, comisiones por medios de pago y cuotas de manejo de tarjetas, entre otros conceptos. Es razonable que este tipo de ingresos tenga una relación significativa con el riesgo operacional, ya que estas actividades están directamente relacionadas con la operativa diaria de los bancos.

Figura 7: Correlación Gasto RO versus IHC.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

Gasto RO versus Ingresos por honorarios y comisiones (IHC)

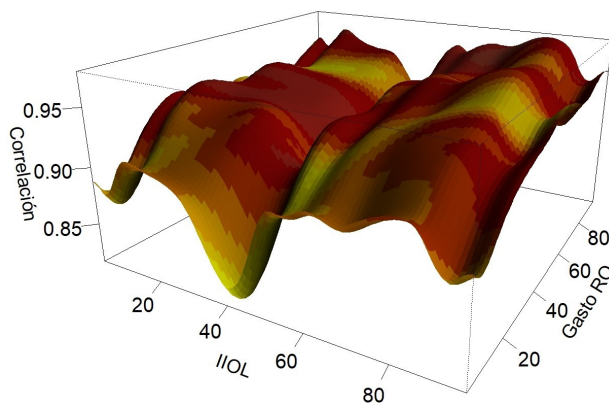


b) **Ingresos por Intereses y Operaciones de Leasing (IIOL):**

La segunda variable en importancia es el IIOL. En la figura 8 se identifican dos áreas de baja correlación tanto horizontal como verticalmente. En la gráfica de la derecha, se puede apreciar que esta variable presenta dos períodos claros de baja correlación con los gastos por RO: uno hacia 2018 y otro hacia finales del período de estudio, alrededor de diciembre de 2022. El IIOL recoge los ingresos derivados de los intereses cobrados en diversas líneas de crédito y operaciones de leasing, actividades centrales en la operativa bancaria.

Figura 8: Correlación Gasto RO versus IIOL.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

Gasto RO versus Ingresos por intereses y operaciones de leasing (IIOL)



Como conclusión del análisis de correlaciones funcionales, de las 11 variables agrupadas para explicar el comportamiento de los gastos por RO, las dos primeras están directamente vinculadas a las principales actividades de los bancos: operaciones de crédito y servicios financieros. Estas actividades no solo representan una parte fundamental de los ingresos y gastos de las entidades bancarias, sino que también son las que conllevan un mayor riesgo operacional, como lo demuestra la alta correlación entre estas variables y los gastos asociados al riesgo operacional.

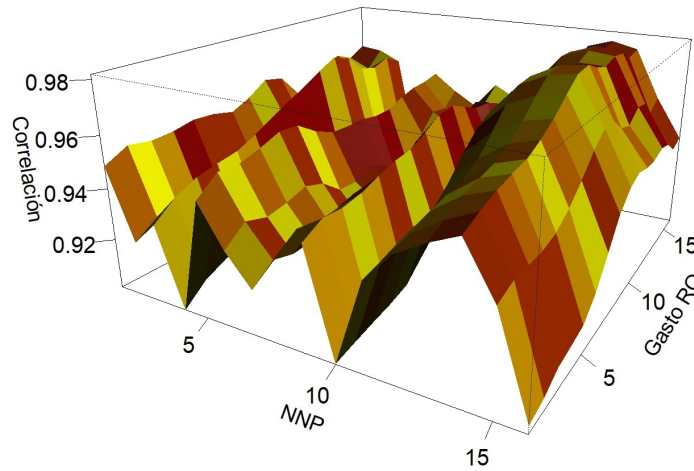
4.3.2.2. Análisis de las variables transaccionales. En el contexto del análisis funcional, se ha observado que las correlaciones entre los gastos por RO y las variables transaccionales son relativamente menores que las correlaciones observadas con las variables financieras. A continuación, se detalla el comportamiento de las variables transaccionales:

a) Número de transacciones no presencial (NNP):

La variable muestra una correlación notable con los gastos por RO, en un rango de 0.7 a 0.9. Esto sugiere que hay una relación positiva considerable; es decir, a medida que aumenta el número de transacciones no presenciales, también lo hacen los gastos por riesgo operacional. En la figura 9 se observa que, durante los últimos semestres de la muestra, la correlación es más alta, aunque se aprecia una disminución en las dos últimas observaciones. Esto podría indicar que, aunque las transacciones no presenciales contribuyen significativamente a los gastos, hay un punto de saturación o una disminución en la eficacia de esta relación en los últimos períodos.

Figura 9: Correlación Gasto RO semestral versus NNP.
Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

Gasto RO versus Número de transacciones no presencial (NNP)

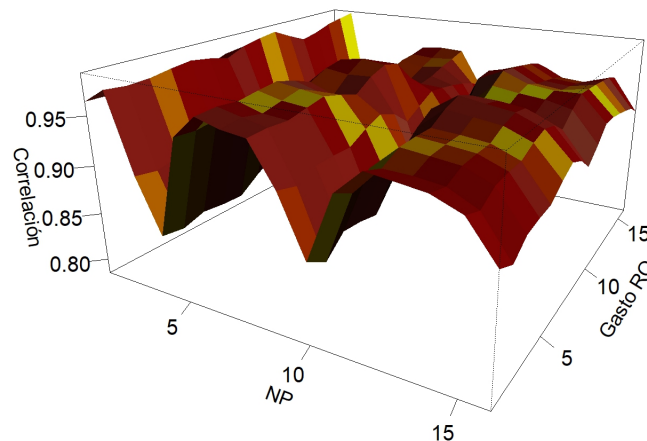


b) Número de transacciones presencial (NP):

La variable presenta una correlación más constante a lo largo del tiempo, como se refleja en la figura 10. Esto puede ser un indicativo de que el comportamiento de las transacciones presenciales es menos variable, lo que insinúa que estas transacciones tienen un efecto predecible sobre los gastos por RO. A pesar de su constancia, la gráfica indica que en el semestre 12 (diciembre de 2020), la correlación disminuye, aunque luego aumenta en el semestre siguiente antes de caer de nuevo al final del periodo de estudio. Esto sugiere que eventos específicos o cambios en el entorno operativo pueden influir en la relación entre NP y los gastos por RO.

Figura 10: Correlación Gasto RO semestral versus NP.
Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

Gasto RO versus Número de transacciones presencial (NP)



En conclusión, los datos sugieren que el número de transacciones, tanto presenciales como no presenciales, tiene una correlación más fuerte con los gastos por riesgo operacional en comparación con los montos transaccionales. Esto podría reflejar que las operaciones frecuentes incrementan el riesgo operacional, independientemente de la cantidad monetaria involucrada. Las variaciones en

las correlaciones a lo largo del tiempo subrayan la importancia de considerar factores contextuales que pueden afectar las relaciones entre transacciones y gastos.

4.3.3. Datos atípicos, media, desviación estándar y análisis marginal.

En este análisis utilizaremos herramientas descriptivas para datos funcionales con el fin de entender mejor el comportamiento de la variable gasto por riesgo operacional (GRO) y las variables financieras y transaccionales explicativas a lo largo del tiempo.

Por lo que las figuras que se muestran a continuación presentan el siguiente contexto:

- a) **Datos ajustados:** la primera gráfica muestra un conjunto de curvas suavizadas que representan la evolución de los gastos por riesgo operacional a lo largo de 96 meses y 16 semestres. La suavización se realiza con una base de B-splines que permite capturar las tendencias subyacentes eliminando el ruido de los datos. Esta gráfica muestra diferentes trayectorias a lo largo del tiempo.
- b) **Box-plot:** la gráfica box-plot resume las curvas funcionales usando cuartiles. La región sombreada representa la zona intercuartil donde se encuentran el 50 % central de las curvas, y las líneas punteadas representan los valores atípicos. Este gráfico permite identificar la dispersión de las funciones y posibles líneas extremas.
- c) **Media funcional:** la gráfica representa la curva promedio de los datos funcionales. Esta curva refleja la tendencia central del comportamiento de los datos a lo largo del tiempo.
- d) **Desviación estándar funcional:** la gráfica mide la variabilidad de las curvas con respecto a la media funcional. Cuanto mayor es la desviación estándar, mayor es la dispersión de los datos funcionales en esa región del tiempo.
- e) **Análisis marginal:** en las gráficas de la izquierda se representan la primera y segunda derivada para cada una de las entidades bancarias, mientras que en las gráficas de la derecha se muestran la primera y segunda derivada de la media funcional obtenida de las entidades.

Estas herramientas permiten observar el comportamiento de las principales variables explicativas y los gastos por riesgo operacional a lo largo del tiempo de manera continua, brindando una perspectiva detallada de su evolución. A continuación, se detallan las observaciones clave de las principales variables financieras, priorizadas utilizando la correlación de Spearman en función del tiempo.

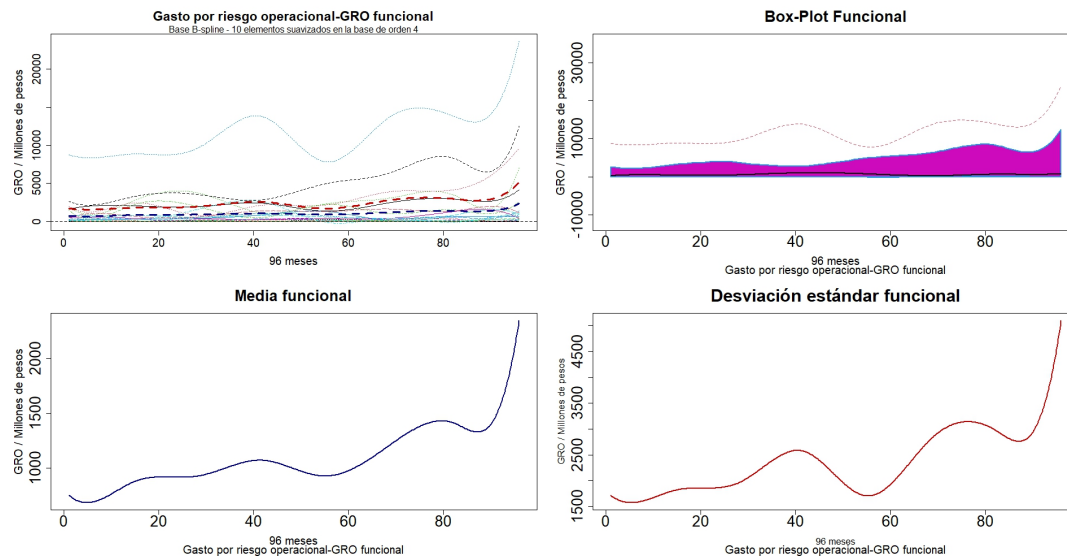
Mediante el análisis de las derivadas, desde el punto de vista marginal, se obtiene un enfoque robusto para observar el comportamiento de los datos de estudio. A través de este análisis, se puede observar la tendencia y la volatilidad a lo largo de los periodos de estudio.

4.3.3.1. Análisis de las variables financieras

a) Gasto por riesgo operacional (GRO).

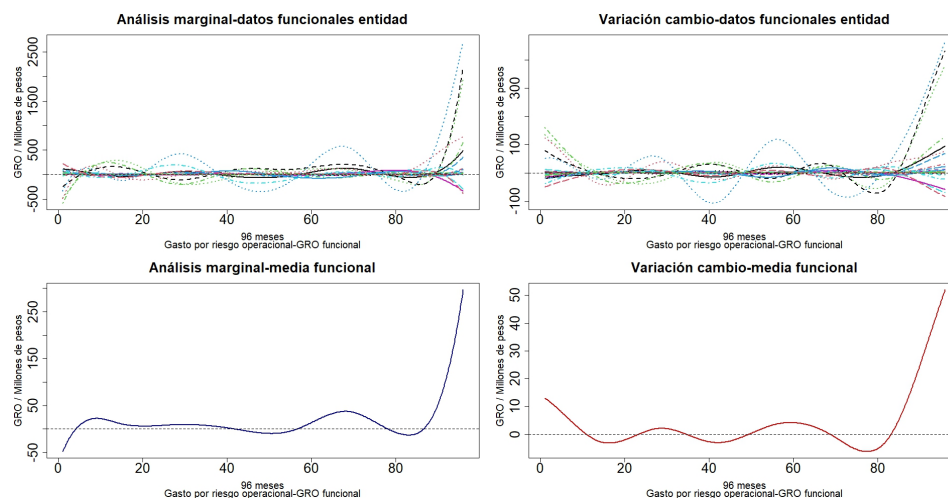
El análisis de la variable que se definió como dependiente o explicada se presenta en la figura 11, la cual muestra el comportamiento del GRO. El box-plot solo identifica una función como dato atípico o outlier. La media de las funciones tiene una caída entre el periodo 40 y 60 (aproximadamente dos años) y posteriormente crece, con un pequeño bache entre el periodo 80 y 85. La desviación estándar evidencia una gran variación en el conjunto de funciones, oscilando entre 1.500 y 5.000 millones de pesos.

Figura 11: Análisis exploratorio GRO.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.



En los cambios marginales por entidad y la media funcional se observa que, entre el periodo 10 y 40, los gastos por GRO decrecieron con cambios suaves y volatilidades que oscilaban alrededor de los -50 millones de pesos. Sin embargo, en la última etapa (entre el periodo 60 y 96), se evidenciaron variaciones altas acompañadas de una alta incertidumbre. En la figura 12 se observa el comportamiento de las primeras y segundas derivadas tanto por entidad como de la media funcional.

Figura 12: Análisis marginal GRO.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.



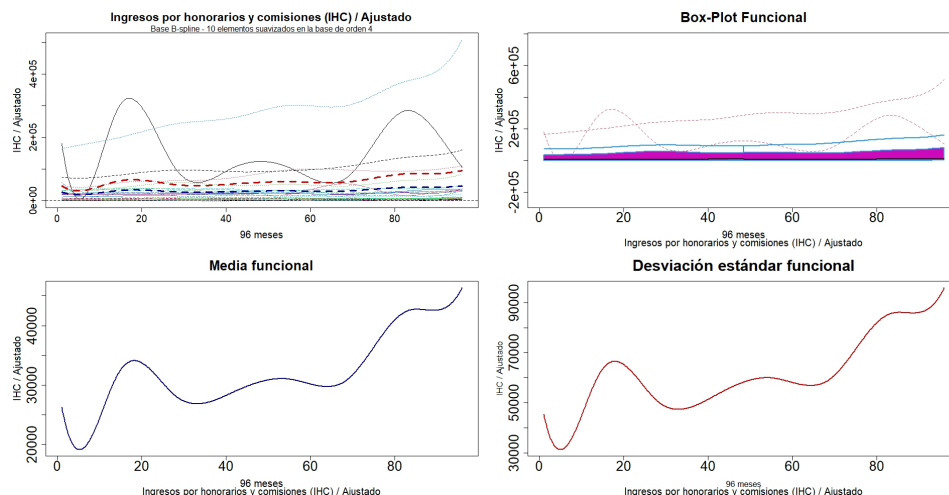
b) Ingresos por Honorarios y Comisiones (IHC).

Partiendo de las variables que mejor se correlacionan, en la figura 13, para el caso de los IHC, se observa en el box-plot dos entidades como outliers o funciones atípicas. La media y la

desviación estándar funcional del total de los bancos muestran una tendencia creciente, siendo el periodo desde 1 hasta el 40 el de mayor incertidumbre y cambios bruscos.

Figura 13: análisis exploratorio IHC.

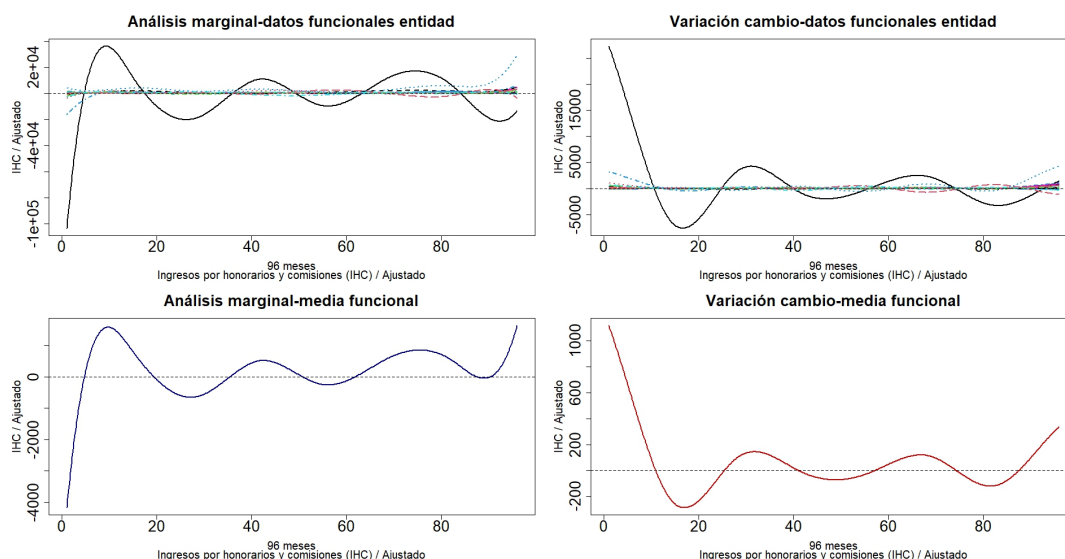
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



En el análisis marginal, la figura 14, los IHC han oscilado fuertemente en seis puntos de los 96 periodos de estudio, los cambios se dan aproximadamente cada 10 meses, mostrando gran volatilidad a lo largo de los meses de estudio.

Figura 14: Análisis marginal IHC.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



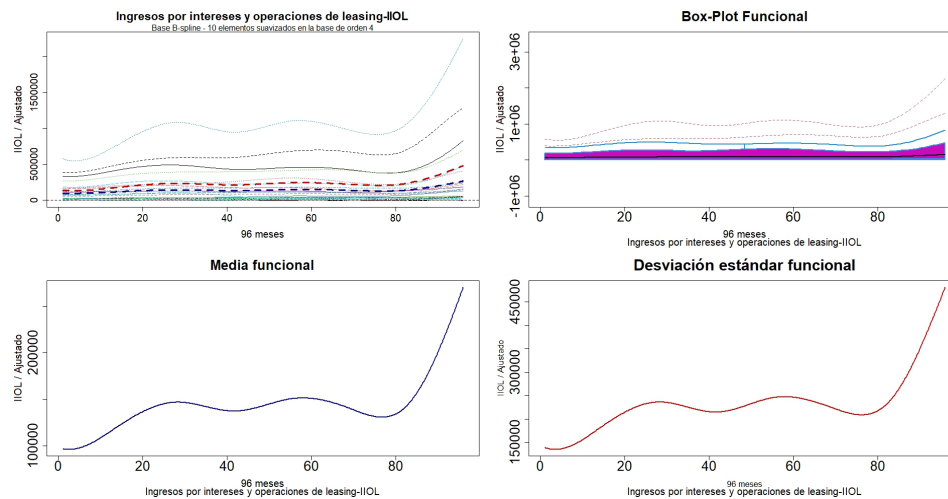
En definitiva, del análisis de las variables financieras se observa que, mientras las variables relacionadas con el gasto muestran tendencias crecientes, por el contrario, las variables asociadas a los ingresos generan mayor incertidumbre.

c) Ingresos por intereses y operaciones de leasing (IIOL).

El box-plot muestra dos entidades como funciones outlier, lejos de la mediana de las funciones. La media y la desviación estándar funcionales presentan en las curvas comportamientos similares, donde coinciden los periodos con los cambios que se observan. Estos tienen una tendencia creciente, lo cual es consistente, ya que es lo esperado, considerando que las entidades bancarias hacen un gran esfuerzo para incrementar los ingresos. En la figura 15 se observa el comportamiento.

Figura 15: Análisis exploratorio IIOL.

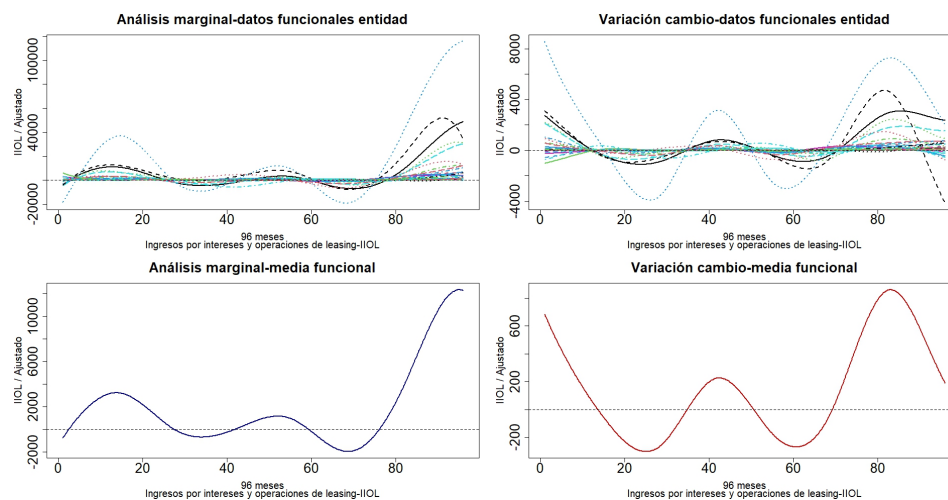
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



El análisis marginal del IIOL muestra una tasa de decrecimiento hasta el periodo 70 aproximadamente, con una subida entre el periodo 35 al 55. También se observa una volatilidad constante durante esos periodos, con una tendencia decreciente hacia el final del periodo (mes 85), lo que indica que el IIOL ha perdido fuerza. En la figura 16 se observa el comportamiento.

Figura 16: Análisis marginal IIOL.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

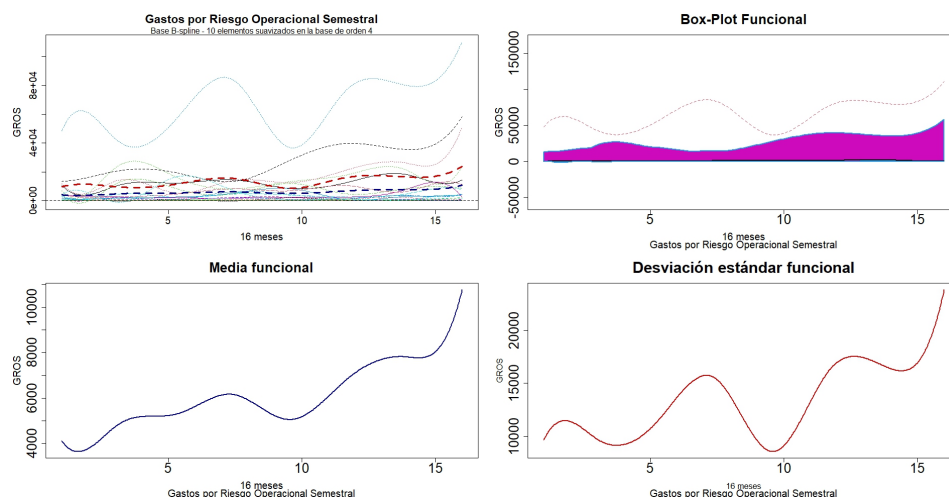


4.3.3.2. Análisis de las variables transaccionales

a) Gasto por riesgo operacional semestral (GROS).

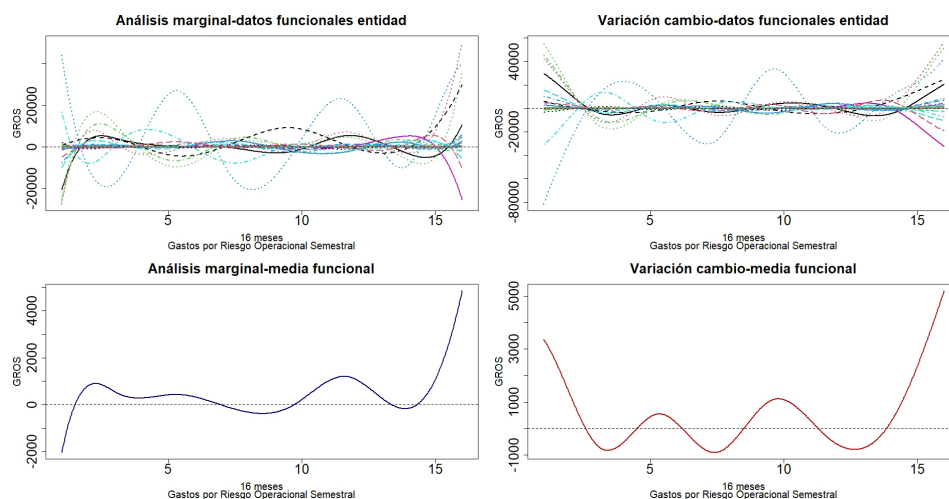
El gasto por RO semestral, en el box-plot, muestra que una entidad permanece como outlier, con una media funcional que presenta una disminución fuerte en su comportamiento entre el semestre ocho y diez, retomando nuevamente una tendencia creciente a partir del semestre 11. La desviación estándar tiene gran oscilación entre las funciones, en la figura 17 se observa el comportamiento.

Figura 17: Análisis exploratorio GRO semestral.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.



El análisis marginal muestra una clara tendencia de decrecimiento hasta el semestre diez. A partir del semestre 11, presenta dos ciclos de variación, finalizando con un crecimiento del gasto por RO. La aceleración de estos gastos muestra que oscila entre -100 millones y 5.000 millones de pesos, reflejando que durante varios semestres se incurrió en menores gastos por RO. En la figura 18 se observa el comportamiento.

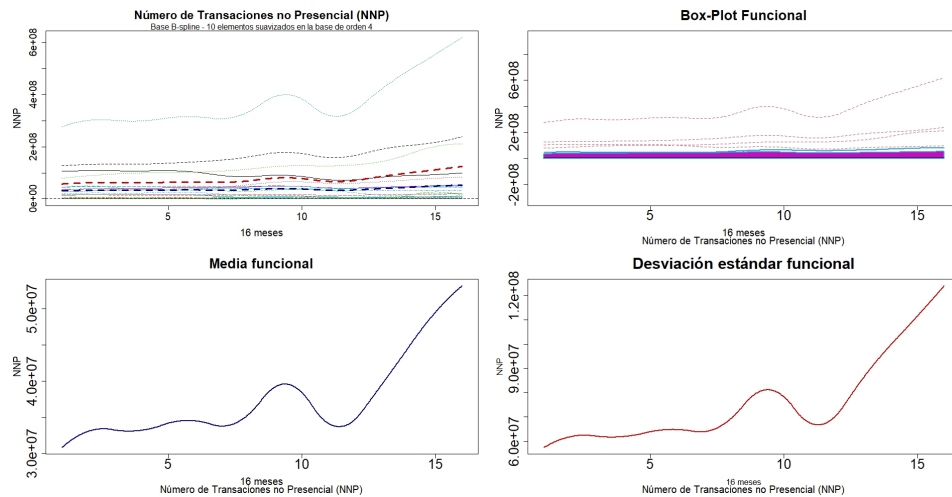
Figura 18: Análisis marginal GRO semestral.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.



b) Número de transacciones no presencial (NNP).

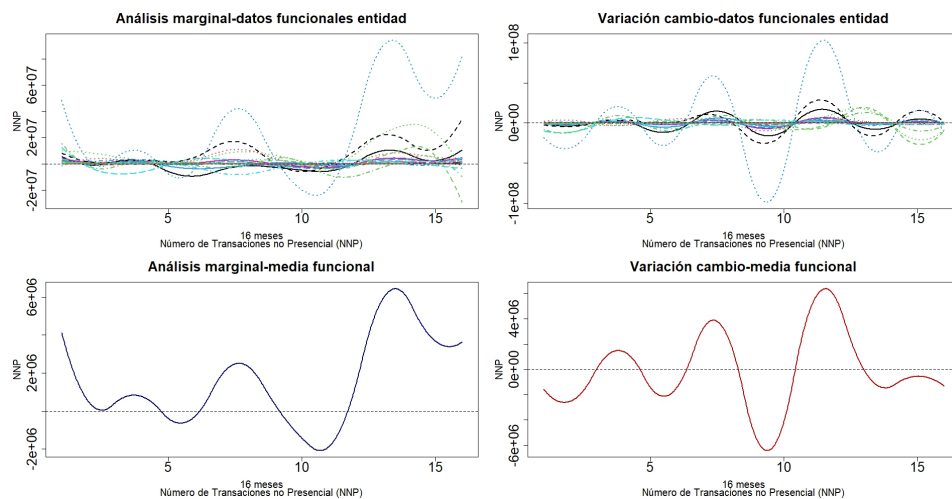
La variable transaccional con mayor correlación de Spearman fue el NNP. El box-plot muestra que cuatro funciones de las entidades salen de los parámetros del percentil 75, lo que indica que estas entidades pueden dominar las transacciones en el sistema. La media y la desviación estándar muestran comportamientos similares en sus tendencias, reflejando una gran caída en el número de transacciones promedio entre el semestre nueve y el doce, con una significativa recuperación a partir del semestre trece. En la figura 19 se observa el comportamiento.

Figura 19: Análisis exploratorio NNP.
Fuente: Formato 444-SFC.. Elaboración: Propia.



En el análisis marginal del NNP se observan períodos oscilantes de crecimiento, resaltando que el comportamiento creciente, en la media funcional, comienza a disminuir a partir del semestre doce con tendencia decreciente. En la figura 20 se observa el comportamiento.

Figura 20: Análisis marginal NNP.
Fuente: Formato 444-SFC.. Elaboración: Propia.

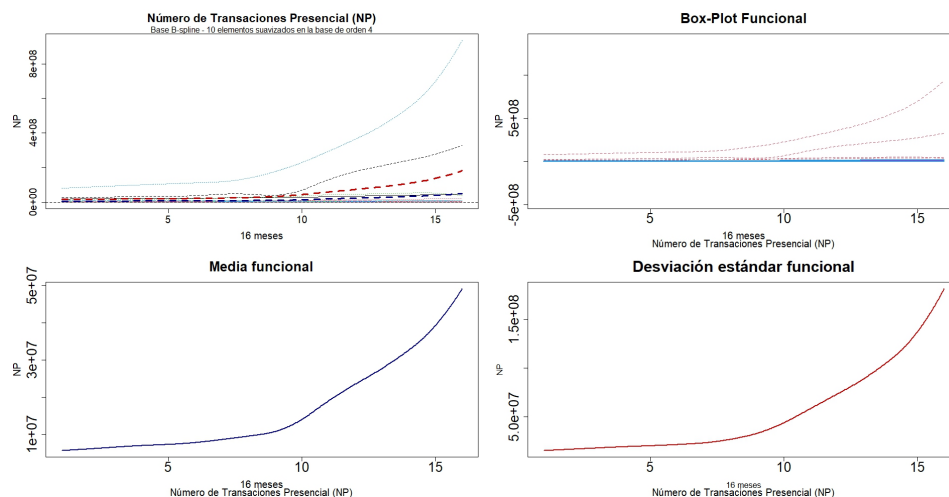


c) Número de transacciones presencial (NP).

El box-plot de NP muestra a dos entidades como outliers. En la media y la desviación estándar funcional se observa una tendencia creciente a lo largo de los 16 semestres de estudio. En la

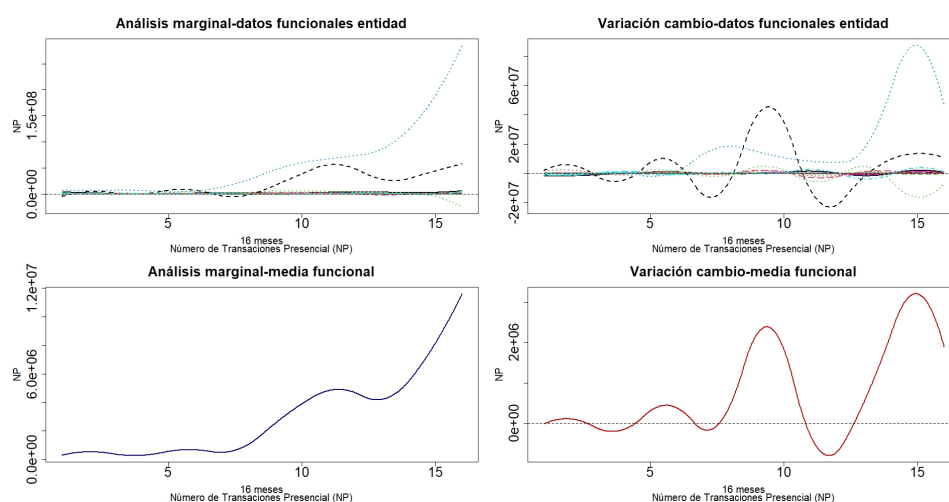
figura 21 se observa el comportamiento, la media y la desviación funcional se observa en la figura que está fuertemente influenciada por las dos curvas atípicas identificadas en el boxplot.

Figura 21: Análisis exploratorio NP.
Fuente: Formato 444-SFC.. Elaboración: Propia.



El análisis marginal ratifica el crecimiento constante del número de transacciones en los canales presenciales, con un solo bache entre el semestre 12 y 14. El crecimiento de la variable ha mostrado varios ritmos de aceleración, siendo el más fuerte en el bache mencionado. Llama la atención este comportamiento, ya que la tendencia del mercado bancario de desarrollar canales de atención no presenciales es muy fuerte, pero los datos muestran que los clientes siguen transando por las oficinas, cajeros y corresponsales. En la figura 22 se observa el comportamiento.

Figura 22: Análisis marginal NP.
Fuente: Formato 444-SFC.. Elaboración: Propia.



Los montos transados de manera presencial siguen una tendencia de crecimiento constante y más estable que las transacciones no presenciales. Aunque la variabilidad aumenta hacia el final del periodo, las transacciones presenciales parecen ser más consistentes a lo largo del tiempo, con menos fluctuaciones significativas. Esto podría reflejar el hecho de que las

transacciones presenciales, aunque siguen siendo relevantes, han experimentado un crecimiento más moderado y predecible en comparación con las alternativas digitales.

4.4. Clúster funcional mediante Análisis de Componentes Principales Funcionales (ACPF).

Uno de los objetivos de la investigación es establecer grupos en función de las variables financieras y transaccionales con mejor correlación funcional a fin de segmentar las entidades alrededor de los gastos por riesgo operacional.

Para lograr este objetivo, utilizaremos el Análisis de Componentes Principales Funcional (ACPF) y el método k-means para segmentar las entidades bancarias.

4.4.1. Análisis de clúster funcional de las variables financieras (univariado).

a) Gastos por riesgo operacional (mensual) GRO.

Los gastos por RO representan la suma de la materialización del riesgo en todos los bancos bajo tres ejes: siniestros, pérdidas operativas y aspectos legales (multas, sanciones y litigios). El Análisis de Componentes Principales Funcionales (ACPF) univariado, seguido de un agrupamiento mediante K-means, permite identificar cómo se conforman los grupos de entidades según su nivel de gasto. En la tabla 10 se observan cuatro grupos de entidades en el espacio de las componentes principales. Los grupos se forman alrededor del cero; el grupo de entidades marcadas en rojo, ubicadas a la izquierda del cero, presenta un comportamiento inverso al resto de los grupos. En la tabla 11 se presentan los códigos de las entidades de cada grupo según su nivel de gasto. Se clasificaron 22 entidades con bajo nivel de gasto, 4 entidades con gasto medio-bajo, 2 entidades con gasto medio-alto y una entidad con un alto gasto por riesgo operacional.

Tabla 10: Clúster GRO.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC.
Elaboración: Propia.

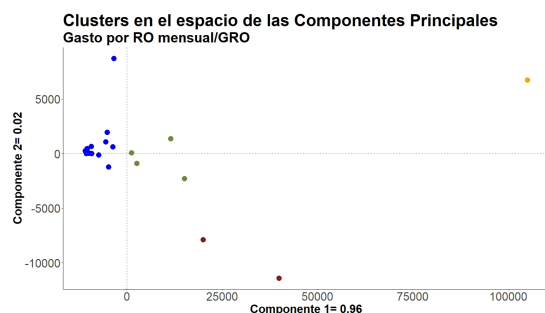


Tabla 11: Clúster GRO - entidad.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

Bajo	Bajo	Medio bajo	Medio alto	Alto
Banco GNB Sudameris Banco Popular	Banco Pichincha Coopcentral	Banco de Bogotá BBVA Colombia Banco Agrario	Banco Davivienda Scotiabank Colpatria	Bancolombia
Banco de Occidente Banco Caja Social AV Villas Bancien	Banco Santander Banco Mundo Mujer Mibanco Banco Serfinanza	Banco Itaú		
Bancamía Banco W Bancoomeva	Banco J.P Lulo Bank Banco BTG Pactual Banco Unión Citibank			
Finandina Banco Falabella				

b) Ingresos por honorarios y comisiones IHC.

La variable ingresos por honorarios y comisiones (IHC) recoge los ingresos de las entidades bancarias derivados de las operaciones del mercado de valores, servicios financieros, comisiones por medios de pago y cuotas de manejo de tarjetas, entre otros conceptos. Mediante el Análisis de Componentes Principales Funcionales (ACPF) y el agrupamiento por K-means, se aprecia en la tabla 12 cómo se agrupan las entidades según el nivel de ingresos por los conceptos mencionados. En la tabla 13 se detalla la conformación de las entidades. Respecto a la agrupación por gasto RO, se observa lo siguiente:

Los bancos Occidente, Caja Social, AV Villas y Falabella se clasificaron por gasto RO como bajo y por IHC como medio bajo, lo que sugiere que, con menor gasto por RO, estas entidades logran recibir mayores ingresos por IHC.

El Banco de Bogotá se encuentra clasificado por gasto RO en medio bajo y por IHC en medio alto, reflejando que, con un menor gasto, se agrupa con las entidades que obtienen mejores ingresos por IHC.

El Banco Scotiabank Colpatría S.A. se agrupa con las entidades de medio alto por gasto RO y de medio bajo por IHC, concluyéndose que genera más gasto por RO y menor ingreso por IHC en comparación con otras entidades del mismo grupo por RO.

Tabla 12: Clúster IHC.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC.
Elaboración: Propia.

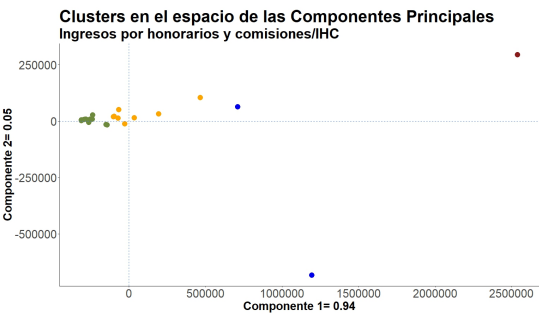


Tabla 13: Clúster IHC - entidad.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

Bajo	Bajo	Medio bajo	Medio alto	Alto
Banco GNB Sudameris Banco Popular	Banco Santander Banco Mundo Mujer	BBVA Colombia Banco de Occidente	Banco de Bogotá Banco Davivienda	Bancolombia
Bancien	Mibanco	Banco Caja Social		
Bancamía	Banco Serfinanza	Scotiabank Colpatría		
Banco W	Banco J.P	Banco Agrario		
Bancoomeva Finandina	Lulo Bank Banco BTG Pactual	AV Villas Banco Falabella Banco Itaú		
Banco Pichincha Coopcentral	Banco Unión Citibank			

c) Ingresos por intereses y operaciones de leasing IIOL.

La variable ingresos por intereses y operaciones de leasing (IIOL) es la principal actividad de los bancos, ya que registra los ingresos por intereses sobre todas las modalidades de cartera que colocan al público. En la tabla 14 se observa cómo se agrupan las entidades por IIOL alrededor de cero, destacándose que las entidades clasificadas como bajo y algunas como medio bajo presentan un comportamiento inverso al resto del grupo. En la tabla 15 se detalla la conformación de las entidades. Respecto a la agrupación por gasto RO, se observa lo siguiente:

Los bancos Popular, Occidente, Caja Social y AV Villas se clasificaron por gasto RO como bajo y por IIOL como medio bajo, lo que se interpreta como una mayor eficiencia, ya que, a pesar de tener menor gasto RO, logran agruparse con las entidades de ingresos medio bajo por cartera.

El Banco de Bogotá y BBVA se encuentran clasificados por gasto RO en medio bajo y por IIOL en medio alto, reflejando que, con un menor gasto, se agrupan con las entidades de mejores ingresos por IIOL.

El Banco Scotiabank Colpatría se agrupa con las entidades de medio alto por gasto RO y de medio bajo por IIOL, concluyéndose que genera más gasto por RO y menos ingresos por IIOL en comparación con otras entidades del mismo grupo por RO.

Tabla 14: Clúster IIOL.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC.

Elaboración: Propia.

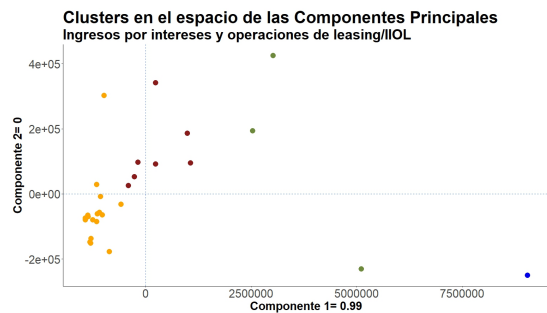


Tabla 15: Clúster IIOL - entidad.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

Bajo	Bajo	Medio bajo	Medio alto	Alto
Banco GNB	Banco Santander	Banco Popular	Banco de Bogotá	Bancolombia
Sudameris	Banco Mundo	Banco de Occidente	BBVA Colombia	
Bancien	Mujer Mibanco	Banco Caja Social	Banco Davivienda	
Bancamía		Scotiabank		
Banco W	Banco Serfinanza	Colpatria		
Bancoomeva	Banco J.P	Banco Agrario		
		AV Villas		
Finandina	Lulo Bank	Banco Itaú		
Banco Falabella	Banco BTG			
Banco Pichincha	Pactual			
	Banco Unión			
Coopcentral	Citibank			

4.4.2. Agrupación multivariada variables financieras.

Tomando como vectores propios (scores) funcionales de las variables anteriormente descritas y agrupando mediante la metodología K-means, se conforman los grupos en un escenario multivariado, considerando la relación con las cinco variables en términos de gastos por riesgo operacional (RO), ingresos por cartera, ingresos y gastos de operación (servicios y productos) y los saldos de la cartera. De esta manera, 17 entidades se clasificaron como de nivel bajo, 8 entidades en nivel medio bajo, 3 en nivel medio alto y una en nivel alto, tal como se detalla en la tabla 16.

Tabla 16: Clúster multivariado variables financiera.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

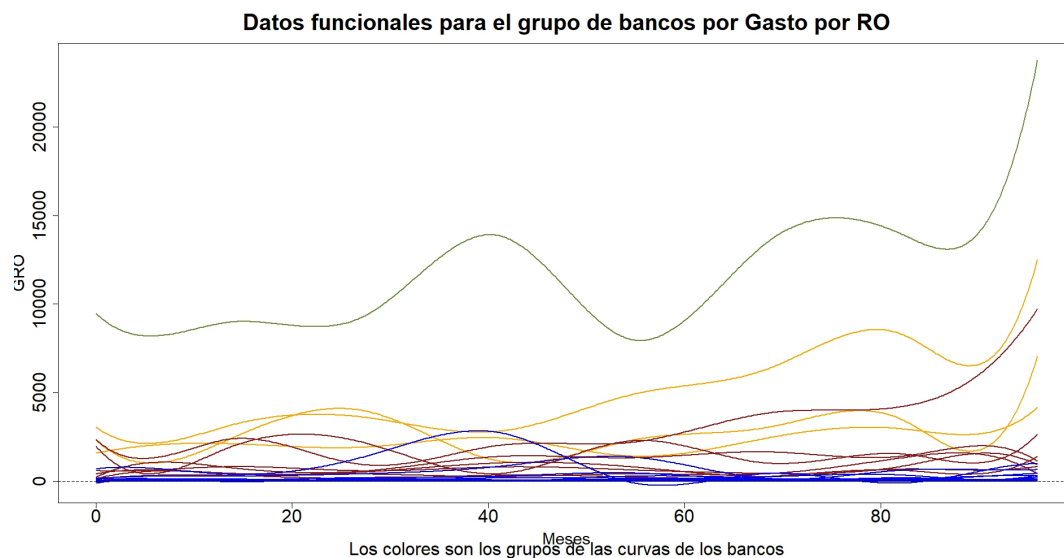
Bajo	Bajo	Medio Bajo	Medio alto	Alto
Bancien	Banco Mundo Mujer	Banco GNB Sudameris	Banco de Bogotá	Bancolombia
Bancamía	Mibanco	Banco Popular	BBVA Colombia	
Banco W	Banco Serfinanza	Banco de Occidente	Banco Davivienda	
Bancoomeva	Banco J.P	Banco Caja Social		
Finandina	Lulo Bank	Scotiabank Colpatria		
Banco Falabella	Banco BTG Pactual	Banco Agrario		
Banco Pichincha	Banco Unión	AV Villas		
Coopcentral	Citibank	Banco Itaú		
Banco Santander				

a) Análisis por la variable gastos por riesgo operacional GRO (multivariado).

En el grupo alto se encuentra Bancolombia claramente con los mayores gastos por RO, cuyos datos varían a lo largo de los 96 meses con una tendencia al incremento. En el grupo medio alto están Davivienda, Bogotá y BBVA, que, si bien no son los bancos con más gasto RO, a lo largo de los 96 meses permanecen en la parte superior de los gastos por RO. En el grupo medio bajo se destaca Scotiabank Colpatria, que al final de los 96 meses es el tercer banco con mayores gastos. Finalmente, en el grupo bajo, donde se clasifican 17 bancos, resaltan Citibank y Falabella, que se encuentran cerca del grupo de bancos medio alto. En la figura 23 se observa el comportamiento de las curvas de los grupos durante los 96 meses de estudio.

Figura 23: Segmentación GRO - variables financiera multivariada.

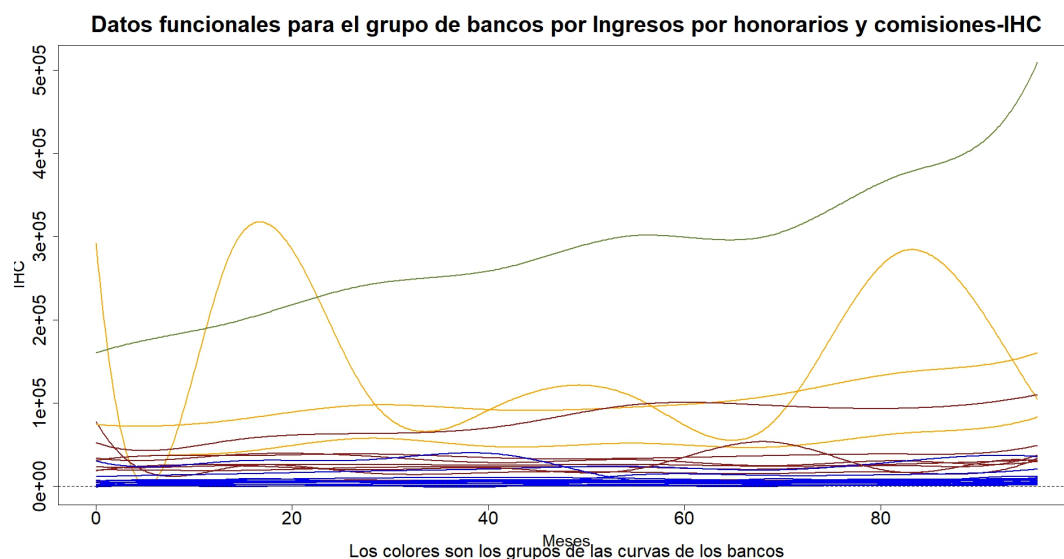
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

b) **Análisis por la variable ingresos por honorarios y comisiones IHC.**

Bancolombia, que se clasifica como banco de nivel alto, presenta un comportamiento con tendencia creciente que se intensifica al final de los 96 meses. Los bancos clasificados como de nivel medio alto muestran un comportamiento variable, en particular Davivienda, cuyos cambios son más pronunciados. En el grupo medio bajo resalta Scotiabank Colpatría, que al final del periodo de estudio presenta una fuerte tendencia de crecimiento. Finalmente, los bancos clasificados en el grupo bajo mantienen niveles de IHC estables a lo largo del periodo analizado. En la figura 24 se observa el comportamiento de los bancos durante los 96 meses de estudio.

Figura 24: Segmentación IHC - variable financiera multivariada.

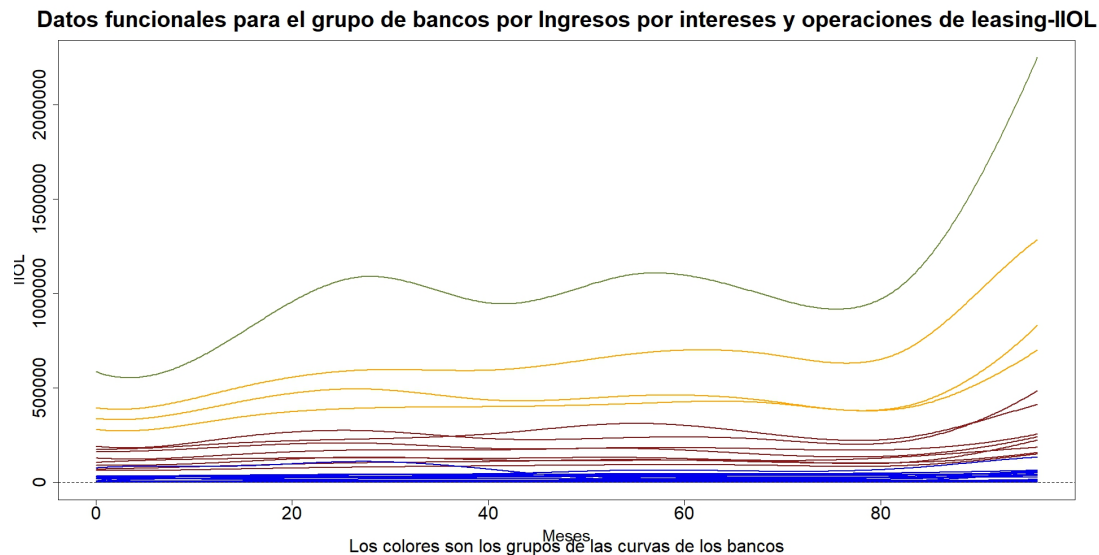
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

c) **Análisis por la variable ingresos por intereses y operaciones de leasing IIOL.**

Para la variable IOL, la conformación de los grupos es muy clara, los bancos agrupados en el nivel alto y medio alto presentan una fuerte tendencia de crecimiento de los ingresos. En la figura 25 se observa el comportamiento de los bancos durante el periodo de estudio.

Figura 25: Segmentación IOL -variable financiera multivariada.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



4.4.3. Análisis de clúster funcional variables transaccionales (univariado).

a) Gastos por riesgo operacional (semestral) GRO-S.

Los gastos se describen de la misma forma que los gastos mensuales, variando únicamente la periodicidad del cálculo. Mediante el ACPF univariado y el agrupamiento por la metodología K-means se conforman los clústeres. En la tabla 17 se observa cómo se agrupan las entidades, mientras que en la tabla 18 se presentan los bancos que conforman cada grupo. Cabe resaltar que, en la figura antes citada, los puntos que más se alejan del cero representan un mayor gasto.

Tabla 17: Clúster GRO semestral.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC.

Elaboración: Propia.

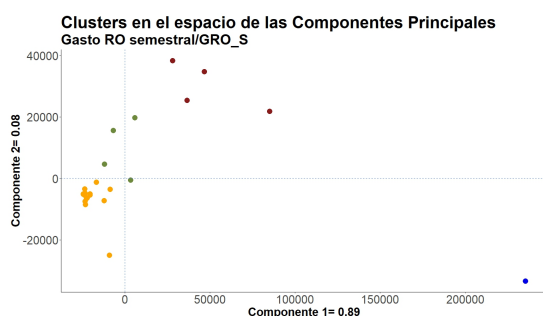


Tabla 18: Clúster GRO semestral - entidad.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

Bajo	Bajo	Medio bajo	Medio alto	Alto
Banco GNB	Coopcentral	Banco Popular	Banco de Bogotá	Bancolombia
Sudameris			BBVA Colombia	
Banco Caja Social	Banco Santander	Banco de Occidente	Banco Davivienda	
AV Villas	Banco Mundo Mujer	Banco Agrario	Scotiabank Colpatría	
Bancien	Mibanco	Banco Itaú		
Bancamía	Banco Serfinanza			
Banco W	Banco J.P			
Bancoomeva	Lulo Bank			
Finandina	Banco BTG Pactual			
Banco Falabella	Banco Unión			
Banco Pichincha	Citibank			

b) Número de transacciones no presenciales NNP.

La variable número de transacciones no presenciales (NNP) recoge la cantidad de transacciones monetarias que realizan los clientes a través de canales como banca móvil, ACH, Internet, débito automático y audio respuesta, los cuales se catalogan como no presenciales. En la tabla 19 se observa cómo se agrupan los bancos, y en la tabla 20 se detalla la conformación de los grupos. De lo anterior, se destaca lo siguiente:

Los bancos Popular, Occidente y Banagrario se clasificaron como medio bajo por gasto RO y como bajo por NNP, generando más gasto RO y realizando menos transacciones que el grupo de gasto RO.

El grupo medio bajo, conformado por 8 bancos clasificados como medio bajo por NNP, se agrupa en la categoría de bajo por gasto RO, lo que indica que realizan un mayor número de transacciones y se agrupan con los bancos de gasto RO bajo.

Los bancos Bogotá y Scotiabank Colpatria se agrupan como medio alto por gasto RO, pero como bajo por NNP, interpretándose como bancos con altos gastos y poca transaccionalidad.

Tabla 19: Clúster NNP.

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

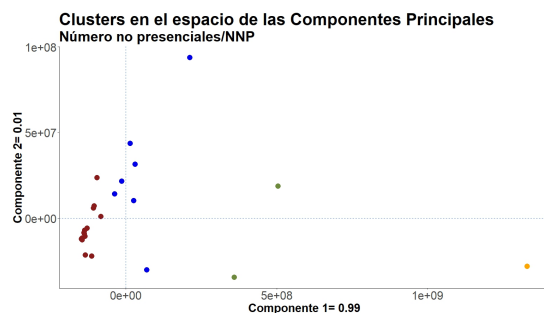


Tabla 20: Clúster NNP - entidad.

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

Bajo	Bajo	Medio bajo	Medio alto	Alto
Banco GNB Sudameris Bancien	Banco Itaú Banco Mundo Mujer Mibanco	Banco de Bogotá Banco Popular Banco de Occidente Banco Caja Social Scotiabank Colpatria Banco Agrario AV Villas	BBVA Colombia Banco Davivienda	Bancolombia
Bancamía Banco W Bancoomeva Finandina Banco Falabella Banco Pichincha Coopcentral Banco Santander	 Banco Serfinanza Banco J.P. Lulo Bank Banco BTG Pactual Banco Unión Citibank			

c) Número de transacciones presenciales NP.

La variable número de transacciones presenciales (NP) describe la cantidad de operaciones monetarias que se realizan a través de los canales de oficinas, cajeros automáticos y datáfonos, los cuales se catalogan como presenciales. En la tabla 21 se observa cómo se agrupan los bancos, y en la tabla 22 se detalla la conformación de los grupos.

De lo anterior, se destaca lo siguiente: Los bancos Bogotá, BBVA, Popular, Occidente y Banagrario se clasificaron por nivel de gasto como medio alto y medio bajo, mientras que por nivel de NP se agrupan en bajo, clasificándose como bancos de altos gastos con baja transaccionalidad en los canales presenciales.

Tabla 21: Clúster NP.

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

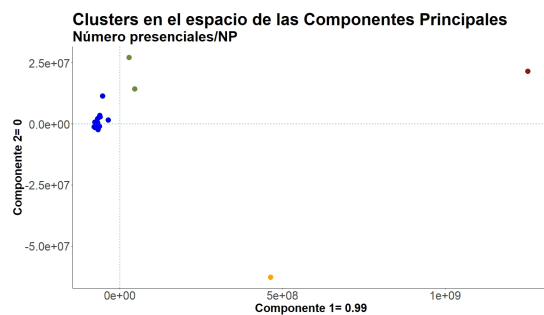


Tabla 22: Clúster NP - entidad.

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

Bajo	Bajo	Medio bajo	Medio alto	Alto
Banco GNB Sudameris	Banco Pichincha	Banco de Bogotá	Banco Davivienda	Bancolombia
Banco Popular	Coopcentral	BBVA Colombia		
Banco de Occidente	Banco Santander			
Banco Caja Social	Banco Itaú			
Scotiabank	Banco Mundo			
Colpatría	Mujer			
Banco Agrario	Mibanco			
AV Villas	Banco Serfinanza			
Bancien	Banco J.P			
Bancamía	Lulo Bank			
Banco W	Banco BTG			
	Pactual			
Bancoomeva	Banco Unión			
Finandina	Citibank			
Banco Falabella				

4.4.4. Agrupación multivariada variables transaccionales.

Tomando como vectores propios (scores) funcionales de las variables antes descritas y agrupando con la metodología K-means, se conforman los grupos en un escenario multivariado, estos considerando su relación con las cinco variables, en términos de gastos por RO, ingresos por cartera, ingresos y gastos de operación (servicios y productos) y los saldos de la cartera, donde 16 entidades se clasifican como nivel bajo, 8 entidades en medio bajo, 4 en medio alto y una en alto, como se puede apreciar en la tabla No. 23.

Respecto a la clasificación que arroja con las variables financieras, suben de nivel solamente el banco Citibank y Occidente, manteniendo el resto el mismo grupo que la clasificación con las variables financieras.

Tabla 23: Clúster multivariado variables transaccionales.

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

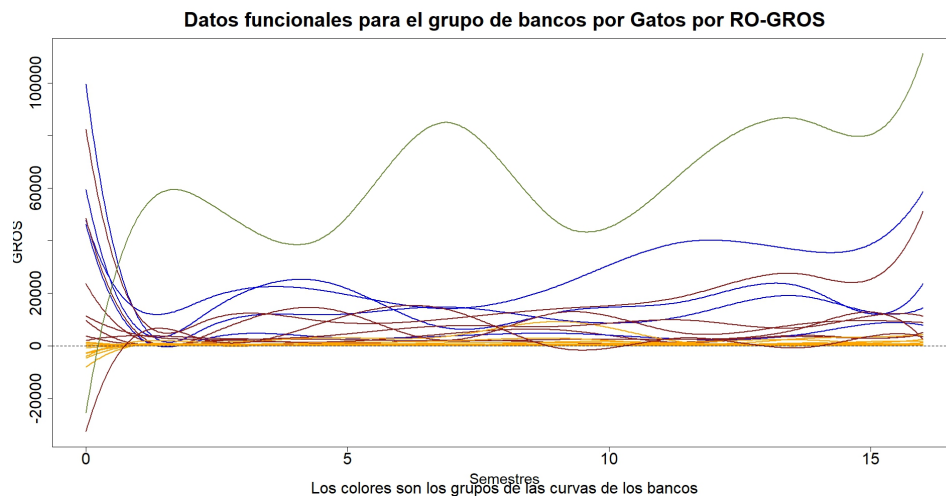
Bajo	Bajo	Medio Bajo	Medio alto	Alto
Bancien	Banco Santander	Banco GNB Sudameris	Banco de Bogotá	Bancolombia
Bancamía	Banco Mundo Mujer	Banco Popular	BBVA Colombia	
Banco W	Mibanco	Banco Caja Social	Banco de Occidente	
Bancoomeva	Banco Serfinanza	Scotiabank Colpatría	Banco Davivienda	
Finandina	Banco J.P	Banco Agrario		
Banco Falabella	Lulo Bank	AV Villas		
Banco Pichincha	Banco BTG Pactual	Banco Itaú		
Coopcentral	Banco Unión	Citibank		

a) Análisis por la variable gastos por riesgo operacional semestral GRO-S.

El comportamiento de la variable gasto por RO semestral (GRO-S) no difiere mucho del mensual. El grupo de entidades clasificadas en alto y medio alto se mantiene, y Scotiabank Colpatría conserva el nivel de gasto del grupo medio alto, aunque originalmente pertenece al grupo medio bajo. En la figura 26 se observa el comportamiento de las variables y la agrupación de los bancos por grupos.

Figura 26: Segmentación GRO semestral -variables transaccional.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

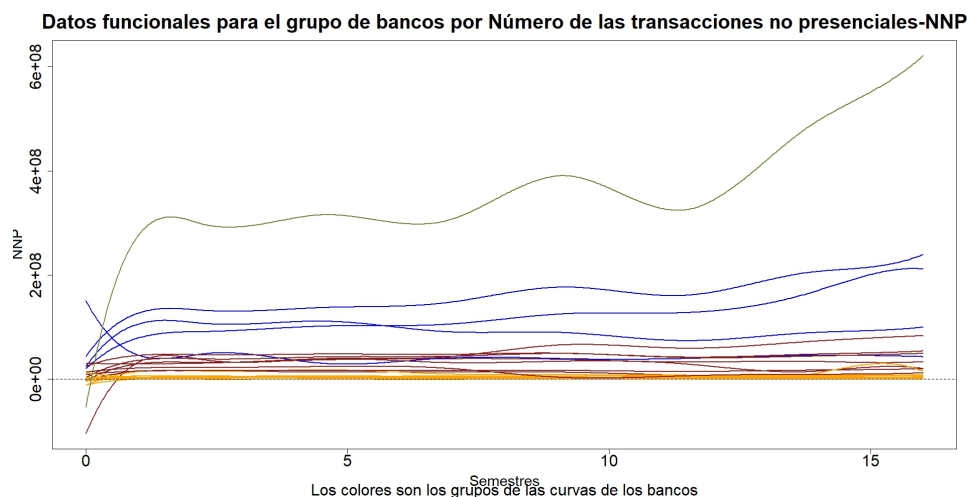
**Análisis de la variable número de transacciones no presenciales NNP.**

En la figura 27 se observa el comportamiento del número de transacciones no presenciales (NNP), donde Bancolombia muestra una tendencia creciente que se acentúa al final del periodo de estudio, siendo clasificada como alta.

De los bancos clasificados como medio altos destacan Davivienda y BBVA, cuyos datos presentan poca variación y una leve tendencia creciente durante los 16 semestres analizados. Las entidades pertenecientes a los grupos medio bajo y bajo muestran poca variabilidad en sus datos a lo largo del periodo de estudio.

Figura 27: Segmentación NNP -variables transaccional.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

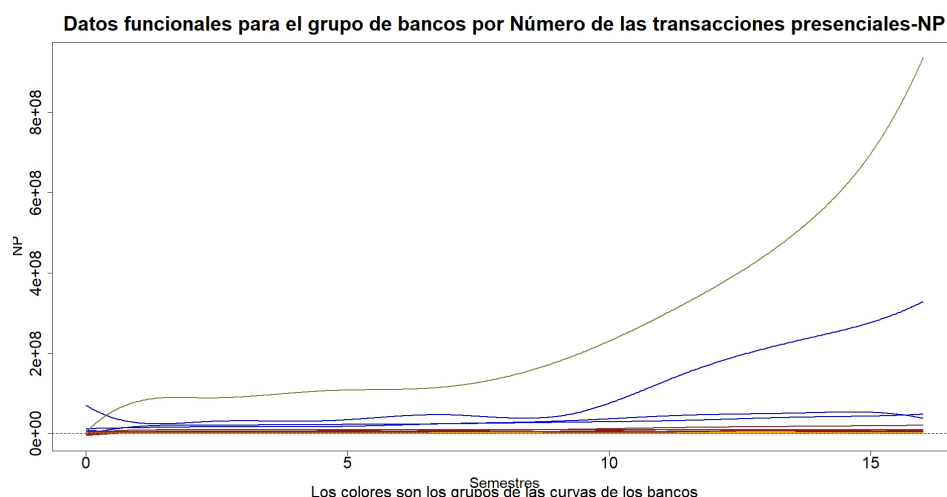
**b) Análisis de la variable número de transacciones presenciales NP.**

En la figura 28 se aprecia el comportamiento del número de transacciones presenciales (NP) y la segmentación de los cuatro grupos identificados. Bancolombia se clasifica como el único

banco en el grupo alto, liderando claramente en el volumen de transacciones presenciales. Entre las entidades clasificadas como medio altas destacan Occidente y Davivienda, mostrando una clara tendencia de crecimiento.

Los grupos clasificados como medio bajo y bajo presentan una tendencia estable a lo largo del periodo de estudio. En la gráfica No. 4.62 se observa el comportamiento de cada grupo durante los 16 semestres analizados.

Figura 28: Segmentación NP -variables transaccional.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.



4.5. Indicadores mediante Análisis de Componentes Principales Funcional (ACPF).

Los scores obtenidos con la metodología de análisis de componentes principales funcionales (ACPF), indican la alineación o proyección de cada función individual con respecto a las principales direcciones de variación capturadas en los datos.

Para generar los indicadores se seleccionó el score en la primera componente principal, que refleja cuán alineada está una observación con la dirección de variación que captura. El score en esta componente, que contiene la mayor variabilidad de los datos, permite identificar observaciones que muestran un patrón similar al promedio de las curvas en el conjunto de datos. Las observaciones con scores altos en esta primera componente indican una fuerte alineación con la tendencia general de los datos, mientras que las observaciones con scores bajos (o negativos) sugieren variaciones en sentido opuesto a la tendencia dominante.

Para mejor análisis e interpretación, los scores fueron estandarizados de la siguiente manera:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad (34)$$

donde x es el score obtenido del ACPF, $\bar{x}$ es la media de los scores, s es la desviación estándar de los scores y z es el valor estandarizado.

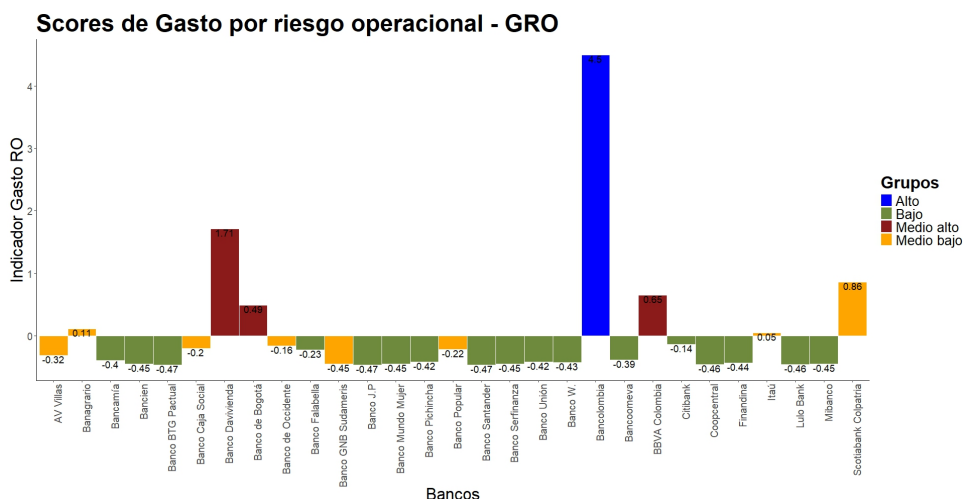
4.5.1. Indicadores variables financieras.

a) Gasto por riesgo operacional GRO

En la gráfica 29 se aprecia el comportamiento del gasto por riesgo operacional (GRO) y la segmentación de los cuatro grupos identificados. Bancolombia absorbe la mayor variabilidad de los datos. Los bancos del grupo medio alto tienen una relación positiva, destacándose Scotiabank Colpatría, Banagrario y Santander del grupo medio bajo. El resto de las entidades de los grupos medio bajo y bajo presentan valores negativos. En el contexto del indicador, mientras los bancos catalogados como alto y medio alto incrementan sus gastos, los bancos medio bajo y bajo reducen en proporción sus gastos por RO. En la gráfica citada se observa el comportamiento de cada grupo respecto a la variable analizada.

Figura 29: Indicador funcional GRO.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

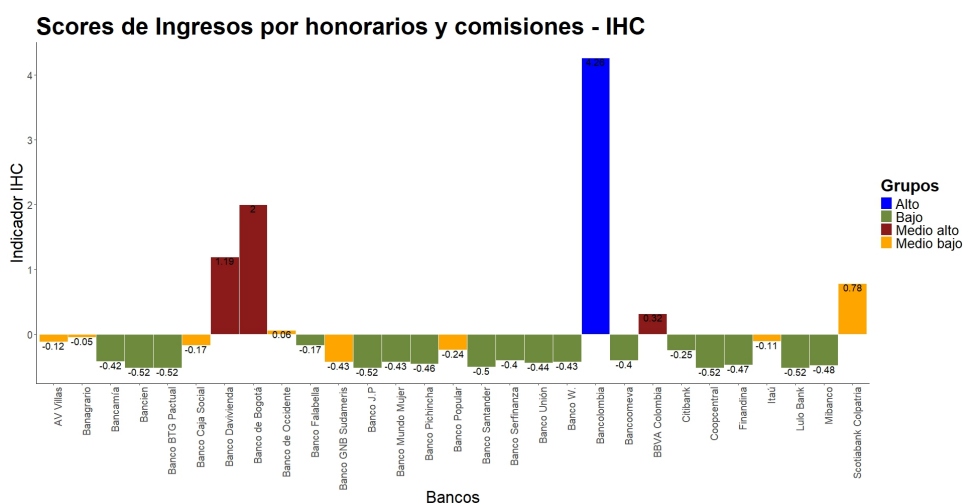


b) Ingresos por honorarios y comisiones IHC.

El indicador de IHC está relacionado con los ingresos del banco, donde las entidades de los grupos alto, medio alto y Scotiabank Colpatría y Occidente del grupo medio bajo son positivas. En este orden, las calificaciones positivas absorben la mayor parte de los ingresos, mientras las negativas crecen menos relativamente, con un menor gasto por riesgo operacional. En la figura 30 se pueden apreciar las calificaciones de las entidades.

Figura 30: Indicador funcional IHC.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

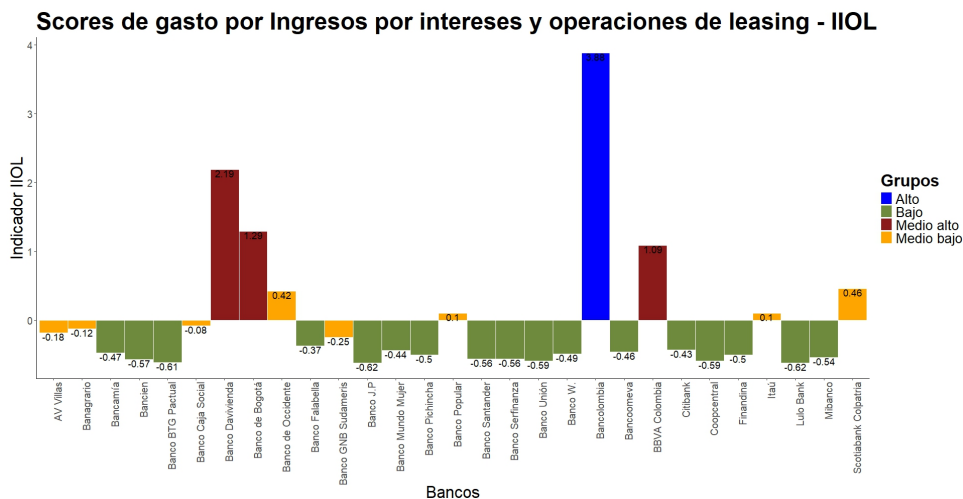


c) Ingresos por intereses y operaciones de leasing IIOL

El indicador IIOL muestra los ingresos producto de la gestión de la cartera de créditos, donde las calificaciones positivas son las más grandes con un menor gasto por riesgo operacional. En la figura 31 se muestran las calificaciones del indicador.

Figura 31: Indicador funcional IIOL.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.



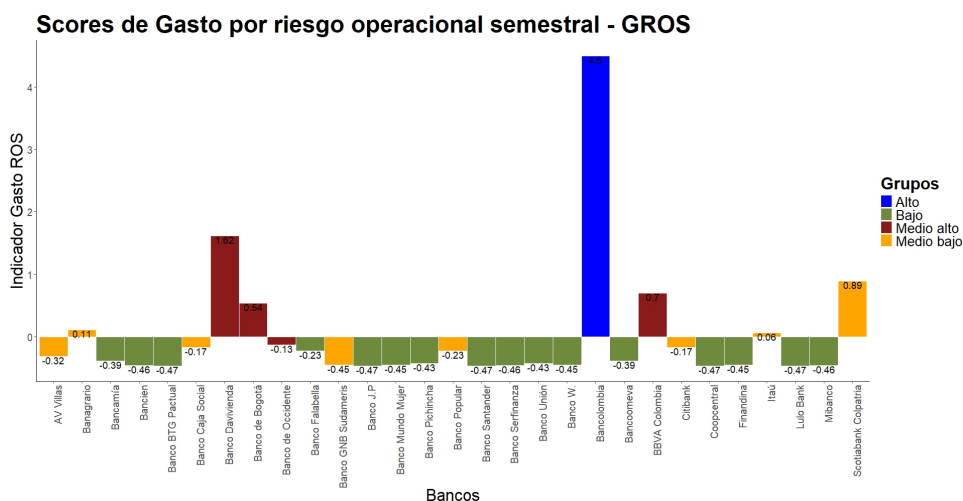
4.5.2. Indicadores variables transaccionales.

a) Gasto por riesgo operacional semestral GRO-S.

El indicador de gasto por RO semestral se comporta de manera similar al mensual. Los grupos clasificados como alto y medio alto se comportan de manera directa con la dirección de la variación, mientras que los grupos medio bajo y bajo lo hacen de manera inversa, con poco grado de variabilidad. La gráfica 32 muestra los resultados del indicador.

Figura 32: Indicador funcional GRO semestral.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.



b) Número de transacciones no presenciales NNP y presenciales NP.

La variable número de transacciones comprende la transaccionalidad de los canales presenciales y no presenciales. Las figuras 33 y 34 muestran los resultados del indicador, donde Bancolombia y Davivienda son las entidades que mejor explican la variabilidad de los datos. Esto se observa en el contexto de un menor gasto por RO semestral.

Figura 33: Indicador funcional NNP.
Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

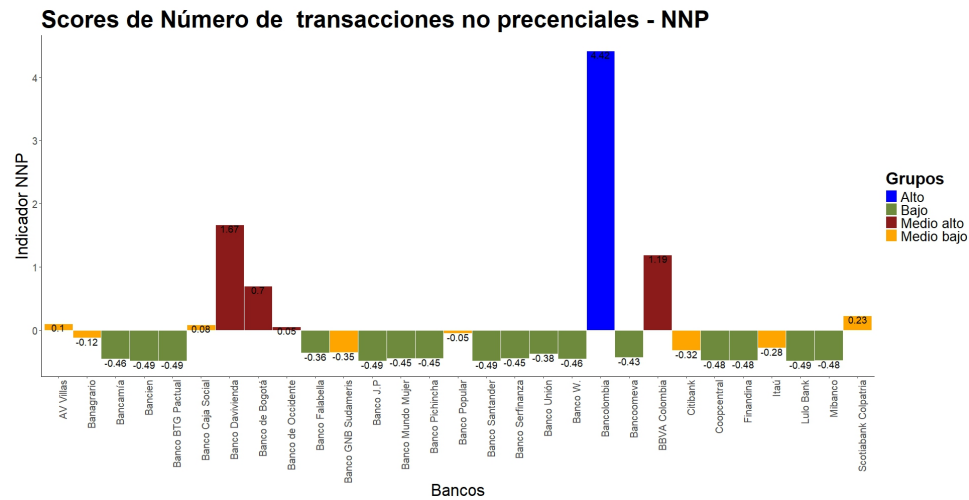
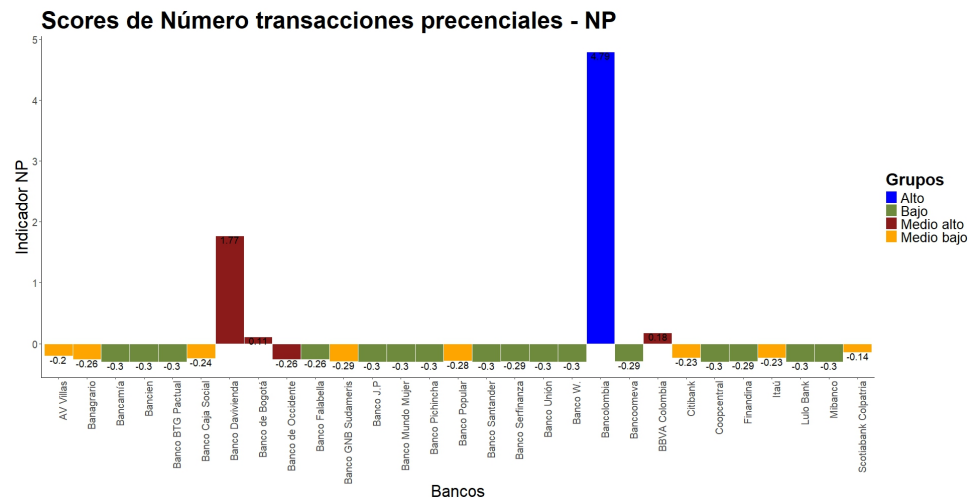


Figura 34: Indicador funcional NP.
Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.



4.6. Regresión lineal de los gastos por riesgo operacional.

Finalmente se desarrolla una regresión lineal funcional donde los gastos por riesgo operacional es la variable dependiente y serán explicados por; cuatro variables financieras que mostraron mayor correlación funcional de Spearman y las cuatro variables transaccionales segmentadas por canales presenciales y no presenciales, la regresión de los gastos explicados por las variables financieras tendrá una periodicidad mensual y las transaccionales serán semestral, en la tabla 24 se muestra las variables junto con la correlación funcional respecto a los gastos por riesgo operacional.

Tabla 24: Correlación funcional de Spearman respecto al Gasto por RO y las variables financieras.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

Variables	Correlación funcional Spearman	Tipo variable
Ingresos por honorarios y comisiones (IHC)	0.97	Financiera
Ingresos por intereses y operaciones de leasing (IIOL)	0.95	Financiera

Continúa en la siguiente página...

Variables	Correlación funcional Spearman	Tipo variable
Gastos por honorarios y comisiones (GHC)	0.94	Financiera
Activos que devengan intereses (ADI)	0.93	Financiera
Número de transacciones no presencial (NNP)	0.94	Transaccional
Número de transacciones presencial (NP)	0.91	Transaccional
Monto de las transacciones no presenciales (MNP)	0.88	Transaccional
Monto de transacciones presencial (MP)	0.84	Transaccional

Regresión funcional.

Para la estimación de las curvas de los bancos se ajustó el modelo de regresión funcional en los siguientes términos:

- **Modelo matemático general de regresión funcional ajustado por individuo.**

$$\hat{Y}_i(t) = \hat{\beta}_0(t) + \sum_{k=1}^4 \int_{s \in D_k} X_{ik}(s) \hat{\beta}_k(s, k) ds \quad (35)$$

Donde los son las estimaciones de los coeficientes funcionales obtenidas a partir del ajuste del modelo y la integral se evalúa numéricamente sin los datos discretos.

Ahora bien, utilizaremos la medida de Error Cuadrático Medio (ECM) para datos funcionales que evalúa la precisión del modelo ajustado comparando las predicciones del modelo con los valores observados. Es una extensión del ECM tradicional para modelos funcionales, donde las variables explicadas y explicativas son funciones en lugar de valores escalares.

- **Error cuadrático medio (ECM) para datos funcionales.**

Para un modelo funcional con n observaciones, una variable explicada funcional y predicciones funcionales , el se calcula como:

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \int (Y_i(t) - \hat{Y}_i(t))^2 dt \quad (36)$$

Donde:

n es el número de individuos

$Y_i(t)$ valor observado de la variable explicada para el individuo i en el dominio funcional t .

$\hat{Y}_i(t)$ predicción del modelo para el individuo i en el dominio funcional t .

La integral se calcula sobre el dominio funcional ($t = tiempo$).

- **La utilidad de la herramienta en el presente trabajo.**

Evalúa qué tan bien el modelo, para cada una de las entidades, captura la relación funcional entre $Y = gastoRO$ y las $X_k = variables$ e identificar las curvas específicas $\hat{Y}_i(t)$ o intervalos de (t) con mayores errores.

4.6.1. Análisis de los coeficientes ($\hat{\beta}$) respecto a los gastos por RO.

4.6.1.1. Grupo 1 variables financieras. De la segmentación realizada en el numeral 4.4.2, agrupación multivariada de variables financieras, se obtuvieron dos grupos con el fin de evitar que las regresiones se vean afectadas por las diferencias en los valores de las variables de las entidades. En este contexto, el grupo 1, como lo muestra la tabla 25, está conformado por los siguientes bancos:

Tabla 25: G1 Variables financieras.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

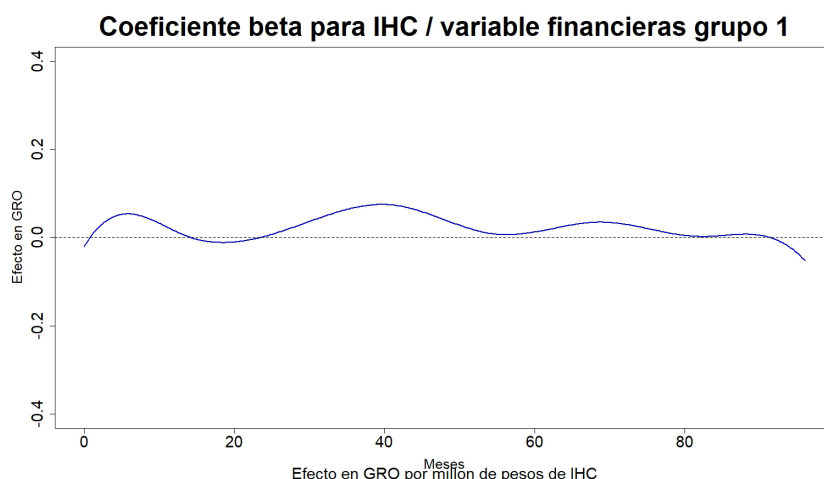
Grupo 1	Entidad
1-7	Bancolombia
1-1	Banco de Bogotá
1-13	BBVA Colombia
1-39	Banco Davivienda

En el contexto de datos funcionales, el análisis de los valores beta para cada variable se evalúa de forma continua durante el periodo de tiempo objeto de estudio (enero 2015 a diciembre 2022).

a) **Coefficiente beta grupo 1 para ingreso por honorarios y comisiones - IHC.**

El GRO inicia con un valor de -20.000 pesos por millón de pesos de IHC, subiendo en abril de 2018 (mes 40) hasta 80.000 pesos por millón de IHC, con una tendencia marcada a decrecer a partir de agosto de 2021 (mes 80), terminando el año 2022 (a partir del mes 85) con -40.000 pesos de GRO por millón de IHC. En la figura 35 se observa el comportamiento de la variable.

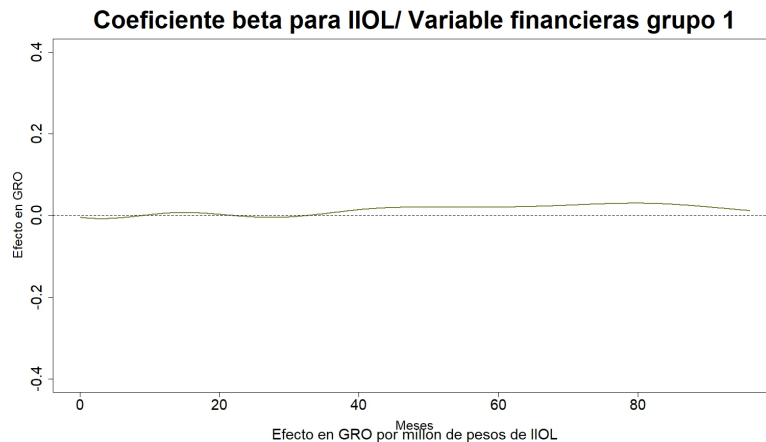
Figura 35: β para IHC grupo 1 variables financieras.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



b) **Coefficiente beta grupo 1 para ingresos por intereses y operaciones de leasing IIOL.**

El comportamiento del GRO inicia en enero de 2015 (mes 1) con un valor negativo muy cercano a cero pesos por millón de pesos de IIOL, tomando su mayor valor en agosto de 2021 (mes 80) hasta 30.000 pesos por millón de IIOL aproximadamente. A partir de enero de 2022 (mes 85), comienza a decrecer hasta llegar aproximadamente a 10.000 pesos de GRO por millón de IIOL. En la figura 36 se observa el comportamiento de la variable.

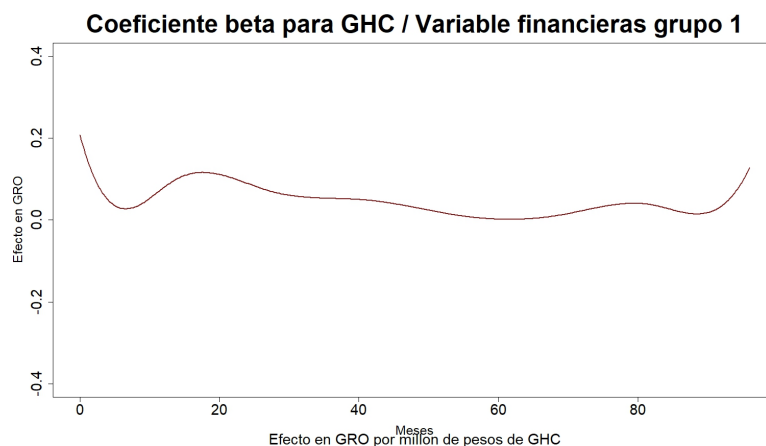
Figura 36: β para IIOL grupo 1 variables.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



c) **Coefficiente beta grupo 1 para gasto por honorarios y comisiones GHC.**

La relación inicia con 20.000 pesos de GRO por millón de pesos GHC, decreciendo hasta 5.000 pesos para finales del año 2015. Sube nuevamente hasta 12.000 pesos de GRO por millón de GHC en agosto de 2016, luego muestra una tendencia decreciente en la relación GRO y GHC para finalmente, en el año 2021 (mes 80), subir nuevamente hasta 12.000 pesos de GRO por millón de GHC. En la figura 37 se observa el comportamiento de la variable.

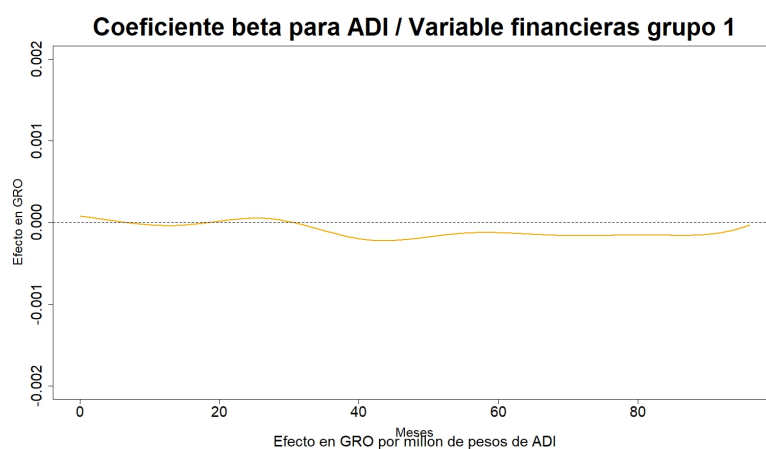
Figura 37: β para GHC grupo 1 variables.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



d) **Coefficiente beta grupo 1 para los activos que devengan intereses ADI.**

La variación para el ADI es muy poca, sin embargo, la tendencia para los 90 meses del estudio es que por cada millón de pesos ADI, el GRO decrece en 200. Para el inicio del año 2021, la relación se acerca a cero rápidamente. En la figura 38 se observa el comportamiento de la variable

Figura 38: β para ADI grupo 1 variables financieras.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



4.6.1.2. Grupo 2 variables financieras. Continuando con la segmentación realizada en el numeral 4.4.2, agrupación multivariada de variables financieras, se establece el segundo grupo de entidades, como se observa en la tabla 26, así:

Tabla 26: G2 variables financieras.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

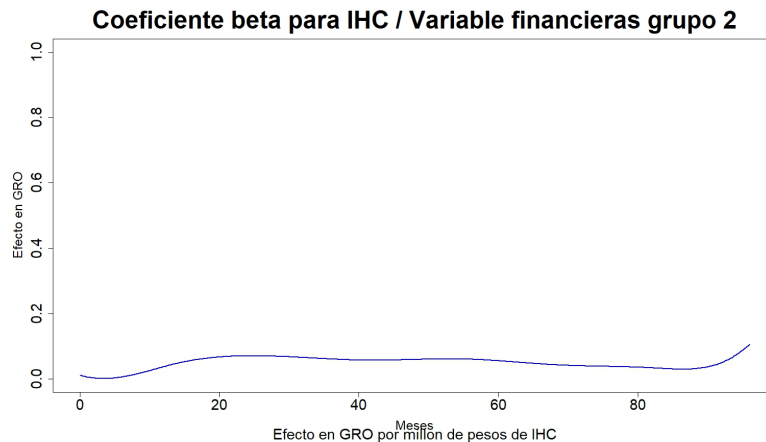
Grupo 2	Entidad	Grupo 2	Entidad	Grupo 2	Entidad
1-51	Bancien	1-60	Banco Mundo Mujer	1-12	Banco GNB Sudameris
1-52	Bancamía	1-62	Mibanco	1- 2	Banco Popular
1-53	Banco W	1-63	Banco Serfinanza	1-23	Banco de Occidente
1-54	Bancoomeva	1-64	Banco J.P	1-30	Banco Caja Social
1-55	Finandina	1-65	Lulo Bank	1- 42	Banco
1-56	Banco Falabella	1-66	Banco BTG Pactual	1-43	Banco Agrario
1-57	Banco Pichincha	1-67	Banco Unión	1-49	AV Villas
1-58	Coopcentral	1-9	Citibank	1-6	Banco Itaú
1-59	Banco Santander				

a) **Coefficiente beta grupo 2 para ingreso por honorarios y comisiones IHC.**

El coeficiente beta para el grupo 2 tiene un comportamiento con tres etapas: la primera con una tendencia creciente a lo largo de los años 2015 y 2016, alcanzando un máximo de 60.000 pesos de GRO por millón de IHC; la segunda con una tendencia decreciente que va hasta el año 2021, con una relación mínima de GRO por millón de IHC de aproximadamente 30.000 pesos; y la tercera, con un fuerte crecimiento de la relación durante el año 2022, llegando a 100.000 pesos de GRO por millón de IHC. En la figura 39 se observa el comportamiento de la variable.

Figura 39: β para IHC grupo 2 variables.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.

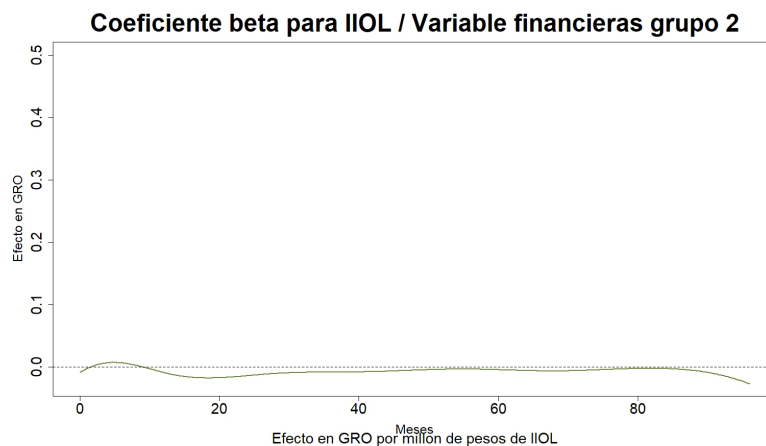


b) **Coefficiente beta grupo 2 para ingresos por intereses y operaciones de leasing IIOL.**

Para la variable IIOL del grupo 2 tiene un comportamiento decreciente a lo largo de los 96 meses del periodo de estudio, incrementándose durante los años 2021 y 2022. El valor más representativo es cuando por cada 25.000 pesos de GRO, el IIOL crece por millón de pesos. En la figura 40 se observa el comportamiento de la variable.

Figura 40: β para IIOL grupo 2 variables.

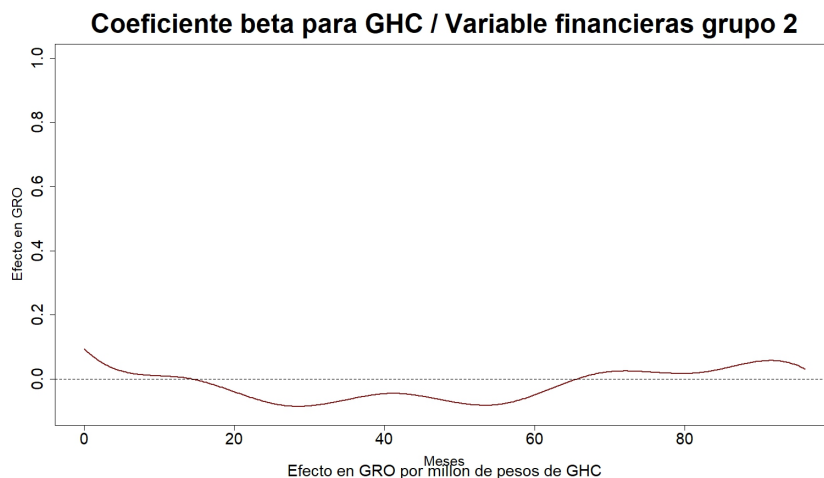
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.



c) **Coefficiente beta grupo 2 para gasto por honorarios y comisiones GHC.**

La variable GHC presenta dos claras tendencias: la primera va desde el año 2015 hasta el año 2019, donde por cada 100.000 pesos de GRO, el GHC decrece en un millón. La segunda, que abarca desde el año 2020 hasta el 2022, invierte la relación, donde el mayor valor es de 5.000 pesos de GRO, el GHC crece en un millón. En la figura 41 se observa el comportamiento de la variable.

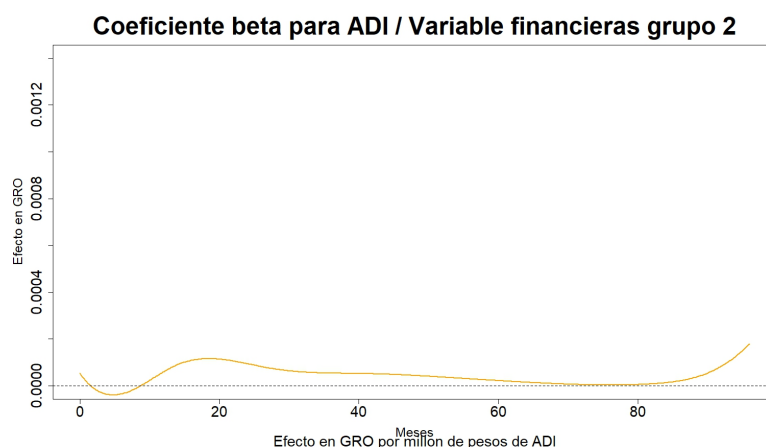
Figura 41: β para GHC grupo 2 variables.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



d) **Coefficiente beta grupo 2 para los activos que devengan intereses ADI.**

La variación para el ADI del grupo 2 es poca, ya que el valor de mayor impacto es de 150 pesos por millón de pesos del ADI. En la figura 42 se observa el comportamiento de la variable.

Figura 42: β para ADI grupo 2 variables financieras.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



4.6.1.3. Grupo 1 Variables transaccionales Del numeral 4.4.4 se arma la segmentación para las variables transaccionales. De estas, se divide en dos grupos a fin de que las regresiones no se vieran afectadas por las diferencias en los valores de las variables y de las entidades. En este orden la tabla 27 muestra como se conforma el grupo 1.

Tabla 27: G1 Variables financieras.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

Grupo 1	Entidad
1-7	Bancolombia
1-1	Banco de Bogotá
1-13	BBVA Colombia
1-39	Banco davivienda
1-23	Banco de Occidente

a) **Coefficiente beta grupo 1 para el monto (MNP) y número (NNP) de transacciones no presenciales.**

En los canales no presenciales, el MNP frente al NNP están en ciclos diferentes del tiempo en relación con el GRO S. Para el MNP existe una relación positiva, el beta crece hasta 15 pesos por millón de pesos transados, mientras que el número transado no tiene efecto en el beta en el año 2015. Luego, se invierte la relación: para el MNP decrece 15 pesos del GRO S por millón de pesos transado, y para el NNP, por cada 4 transacciones se genera un millón de pesos de GRO S. Así se comporta a lo largo de los 16 semestres de estudio. En las figuras 43 y 44 se observan el comportamiento de las variables.

Figura 43: β para MNP grupo 1 variable transaccional.

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

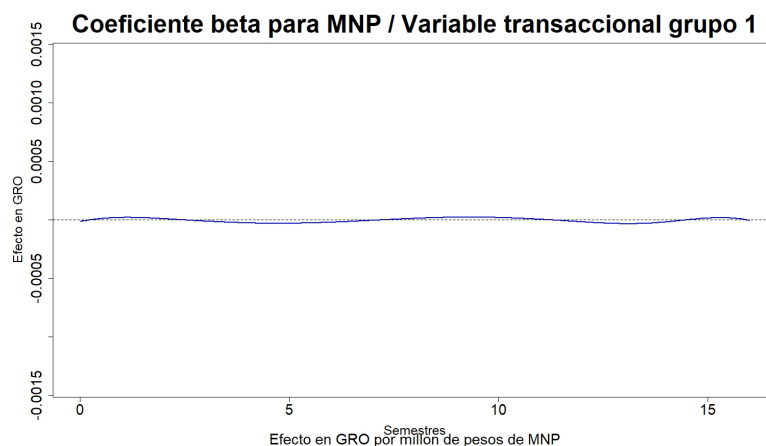
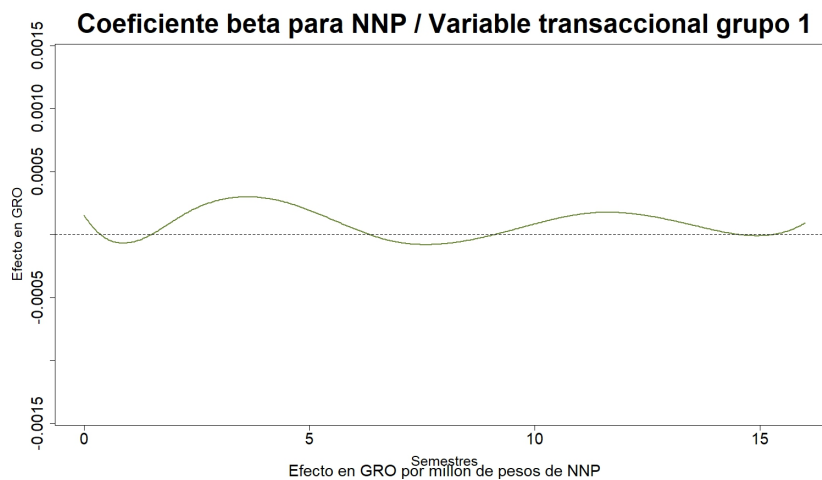


Figura 44: β para NNP grupo 1 variable transaccional.

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.



b) **Coefficiente beta grupo 1 para el monto (MP) y número (NP) de transacciones presenciales.**

En los canales presenciales, los montos y número de transacciones tienen características generales. A partir del primer semestre de 2019, la relación con el GRO S es casi constante. Para el MP, por cada 50 pesos transados se genera un millón de gasto, y para el NP, por

cada 200 transacciones se genera un millón de GRO S. En las figuras 45 y 46 se observan el comportamiento de las variables.

Figura 45: β para MP grupo 1 variable transaccional..

Fuente: Formato 444-SFC. **Elaboración:** Propia.

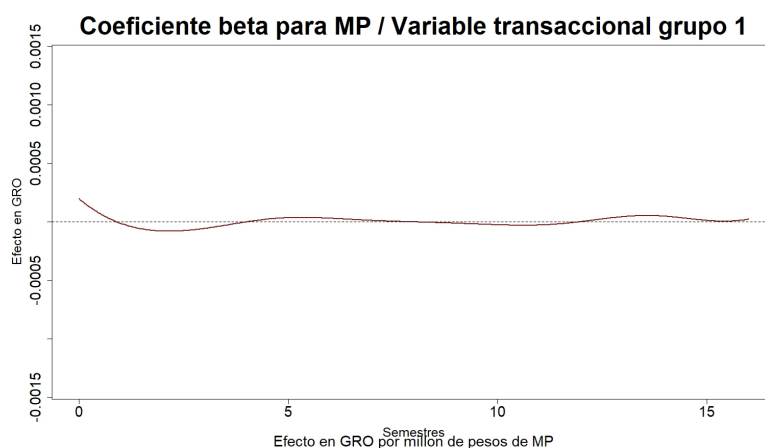
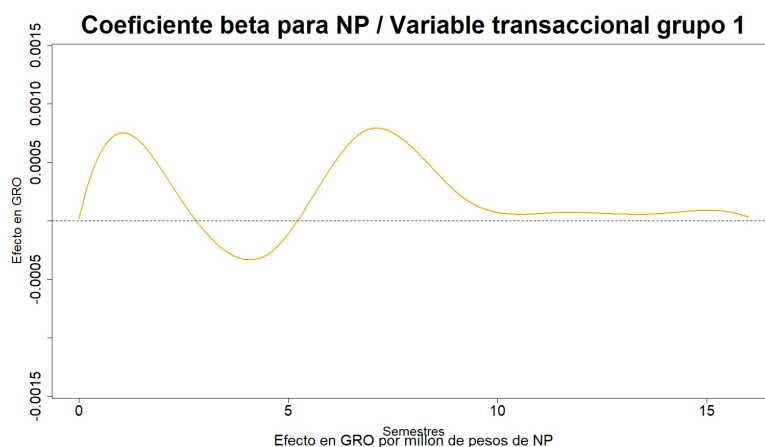


Figura 46: β para NP grupo 1 variable transaccional.

Fuente: Formato 444-SFC. **Elaboración:** Propia.



4.6.1.4. Grupo 2 Variables transaccionales. Continuando con la segmentación realizada en el numeral 4.4.4, agrupación multivariada de variables transaccionales, se establece el segundo grupo de entidades, como lo muestra la tabla 28:

Tabla 28: G2 variables transaccionales.

Fuente: Formato 444-SFC. **Elaboración:** Propia.

Grupo 2	Entidad	Grupo 2	Entidad	Grupo 2	Entidad
1-51	Bancien	1-60	Banco Mundo Mujer	1-2	Banco Popular
1-52	Bancamía	1-62	Mibanco	1-30	Banco Caja Social
1-53	Banco W	1-63	Banco Serfinanza	1-42	Scotiabank Colpatría
1-54	Bancoomeva	1-64	Banco J.P	1-43	Banco Agrario
1-55	Finandina	1-65	Lulo Bank	1-49	AV Villas
1-56	Banco Falabella	1-66	Banco BTG Pactual	1-6	Banco Itaú
1-57	Banco Pichincha	1-67	Banco Unión		
1-58	Coopcentral	1-9	Citibank		

Continúa en la siguiente página

Grupo 2	Entidad	Grupo 2	Entidad	Grupo 2	Entidad
1-59	Banco Santander	1-12	Banco GNB Sudameris		

a) **Coefficiente beta grupo 2 para el monto (MNP) y número (NNP) de transacciones no presenciales.**

Al igual que en el grupo 1, en el grupo 2 el MNP frente al NNP están en ciclos diferentes del tiempo en relación con el GROS. Para el MNP existe una relación negativa y para el NNP la relación es positiva en la mayoría de los 16 semestres de estudio. Además, frente al volumen del monto y número transado, el valor de beta es relativamente bajo en el impacto de GRO S. En las figuras 47 y 48 se observan el comportamiento de las variables.

Figura 47: β para MNP grupo 2 variable transaccional.

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

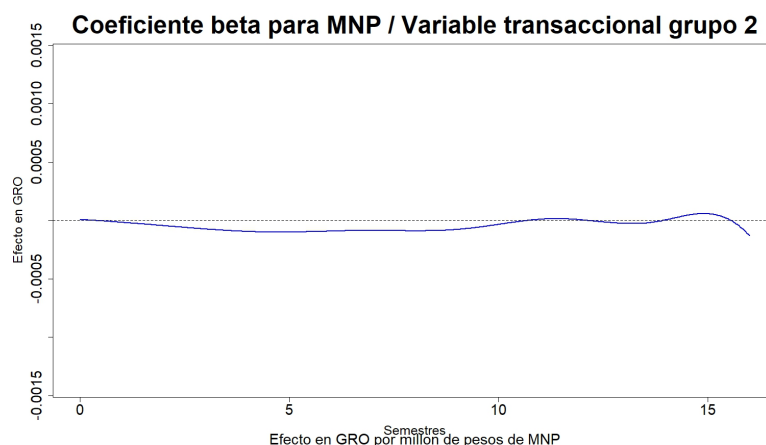
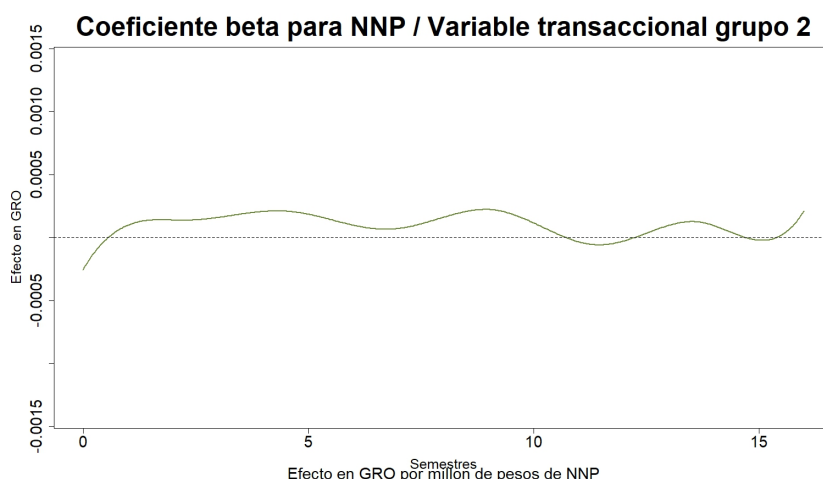


Figura 48: β para NNP grupo 2 variable transaccional.

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.



b) **Coefficiente beta grupo 2 para el monto (MP) y número (NP) de transacciones presenciales.**

En los canales presenciales del grupo 2, los valores que toma beta para explicar el GRO S son bajos. El MP se divide en dos ciclos: el primero va hasta el año 2018 con una tendencia creciente con un valor de 250 pesos de GRO S por millón de pesos transado, luego hasta 2021 con una tendencia decreciente donde casi no tiene impacto. En cambio, el NP a lo largo de los

16 semestres ha mostrado una tendencia creciente, tomando valores de 1.000 transacciones por cada millón de gasto. En las figuras 49 y 50 se observan el comportamiento de las variables.

Figura 49: β para MP grupo 2 variable transaccional.

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

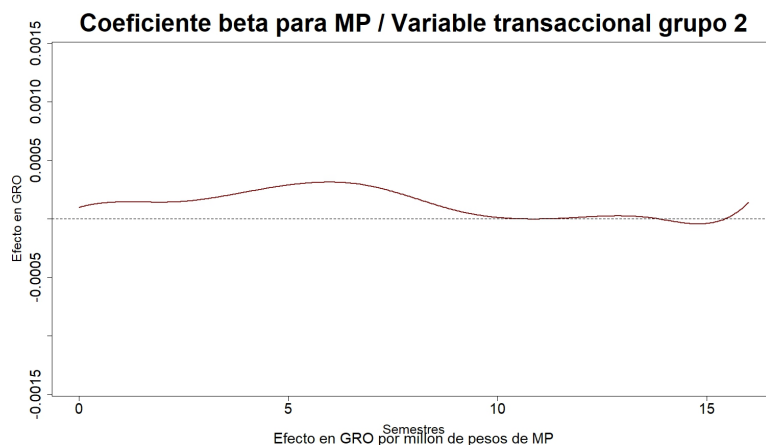
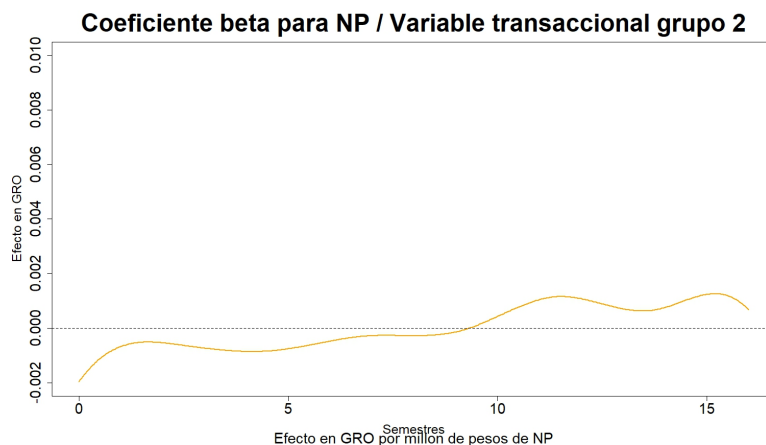


Figura 50: β para NP grupo 2 variable transaccional.

Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.



4.6.2. Análisis de los resultados de la regresión lineal funcional.

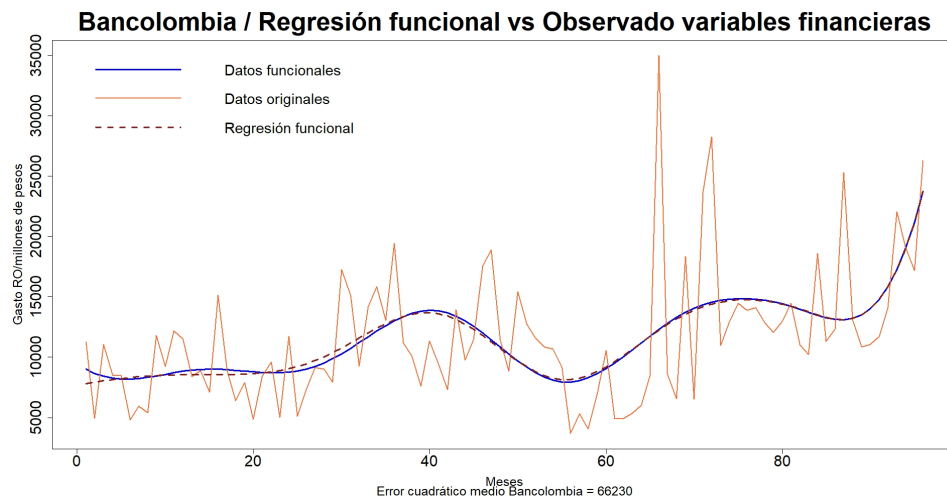
Veremos cómo se comportan los cuatro bancos calificados por importancia media alta y alta, en razón a las segmentaciones dadas en los numeral 4.4.2 y 4.4.4, donde, según el gasto por riesgo operacional, ingresos por honorarios y comisiones, ingresos por intereses y operaciones de leasing, gasto por honorarios y comisiones, y los activos que devengan intereses, se identifican dos grupos. Por un lado, los bancos se segmentan según estas variables financieras, y, por otro lado, según el monto y el número de transacciones presenciales y no presenciales, lo que prioriza a las entidades de mayor importancia según los criterios antes mencionados. Es así como tomaremos los valores reales observados ajustados por el filtro de Kalman, los datos funcionales generados de los valores observados y ajustados, y la predicción funcional que se obtiene de los datos funcionales con el fin de evaluar la tendencia y la precisión de las predicciones.

4.6.2.1. Análisis para Bancolombia.

Variables financieras: La curva de datos funcionales y la curva de regresión funcional muestran un grado de precisión muy importante, encontrando de manera efectiva la tendencia de los datos observados. El error cuadrático medio (ECM) es de 66.230, siendo este muy bajo y reflejando el grado de precisión respecto a los datos funcionales. En la figura 51 se observa el comportamiento de las curvas.

Figura 51: Regresión funcional variables financieras Bancolombia.

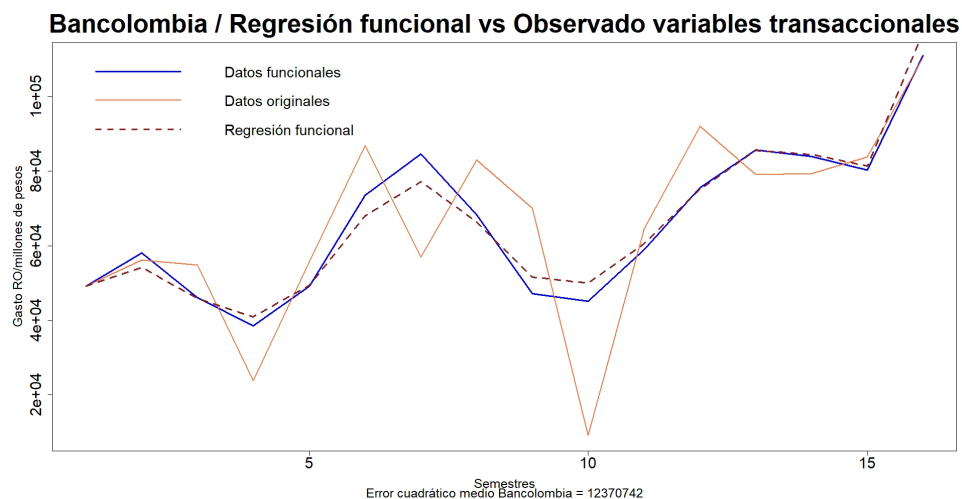
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



Variables transaccionales: La línea de datos y regresión funcionales muestran una fuerte coincidencia indicando que la predicción captura la tendencia y la variabilidad general de los datos observados. El ECM es de 12.370.742, mostrando que la predicción utilizando las variables transaccionales es más errática, tal vez explicado por la escala de tiempo que es semestral. En la gráfica 52 se observa el comportamiento de las curvas.

Figura 52: Regresión funcional variables transaccionales Bancolombia.

Fuente: Formato 444-SFC. **Elaboración:** Propia.



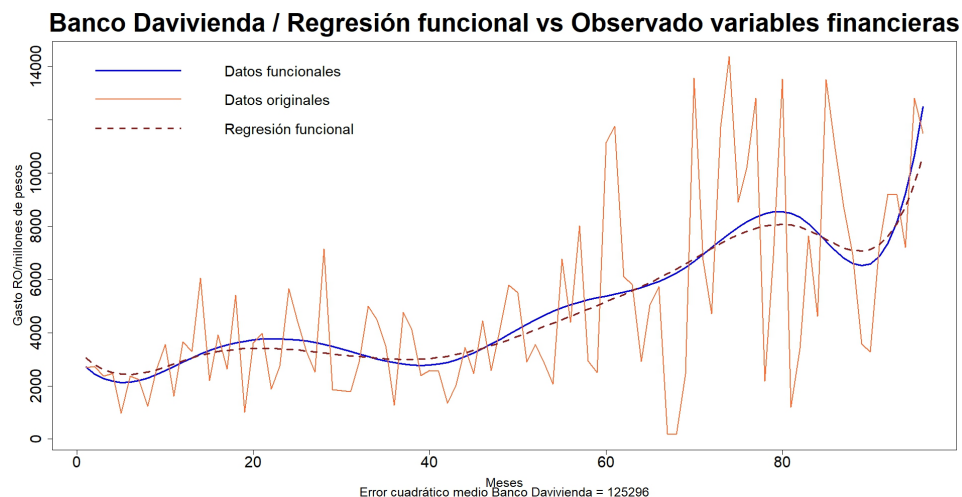
4.6.2.2. Análisis para Davivienda.

Variables financieras: La curva de datos funcionales y la curva de regresión funcional tienen un buen nivel de coincidencia, encontrando de manera efectiva la tendencia de los datos

observados. El error cuadrático medio (ECM) es de 125.296, reflejando un buen grado de precisión respecto a los datos funcionales. En la figura 53 se observa el comportamiento de las curvas.

Figura 53: Regresión funcional variables financieras Banco Davivienda.

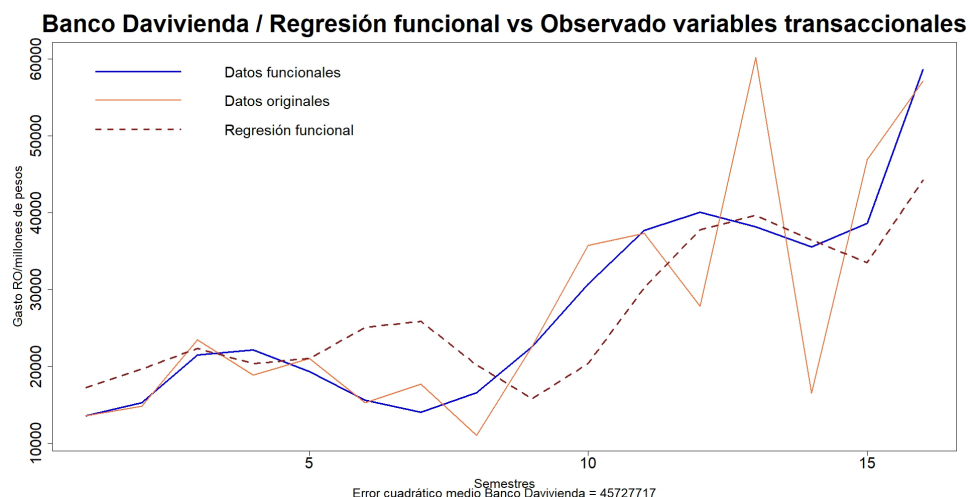
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.



Variables transaccionales: La línea de datos y regresión funcionales muestran una fuerte similitud, reflejando un ajuste a la predicción bueno y detectando la tendencia de los datos observados. El ECM es de 45.727.717, mostrando que la predicción utilizando las variables transaccionales es más errática, como se mencionó en el análisis de Bancolombia, lo cual puede deberse a la escala de tiempo. En la figura 54 se observa el comportamiento de las curvas.

Figura 54: Regresión funcional variables transaccionales Banco Davivienda.

Fuente: Formato 444-SFC. **Elaboración:** Propia.

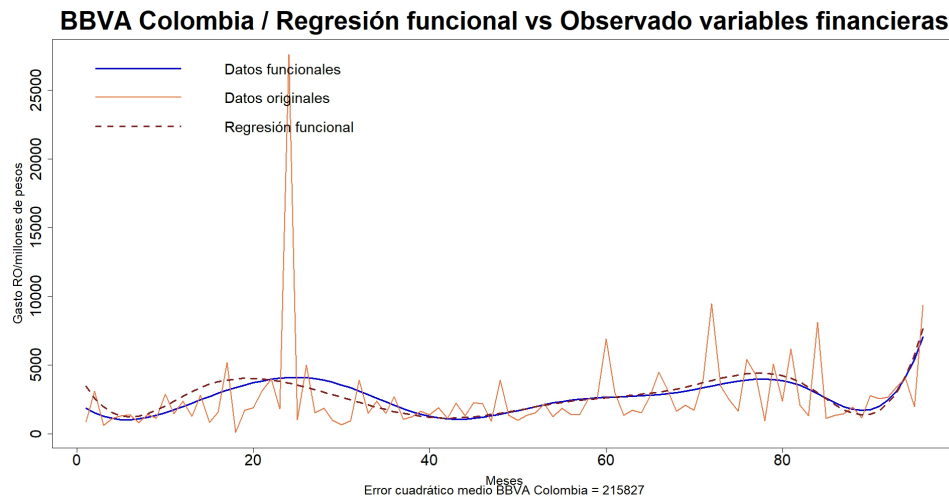


4.6.2.3. Análisis para BBVA.

Variables financieras: La curva de datos funcionales y la curva de predicción funcional tienen un buen nivel de coincidencia, encontrando de manera efectiva la tendencia de los datos observados donde estos muestran cierta estabilidad en el tiempo. El error cuadrático medio

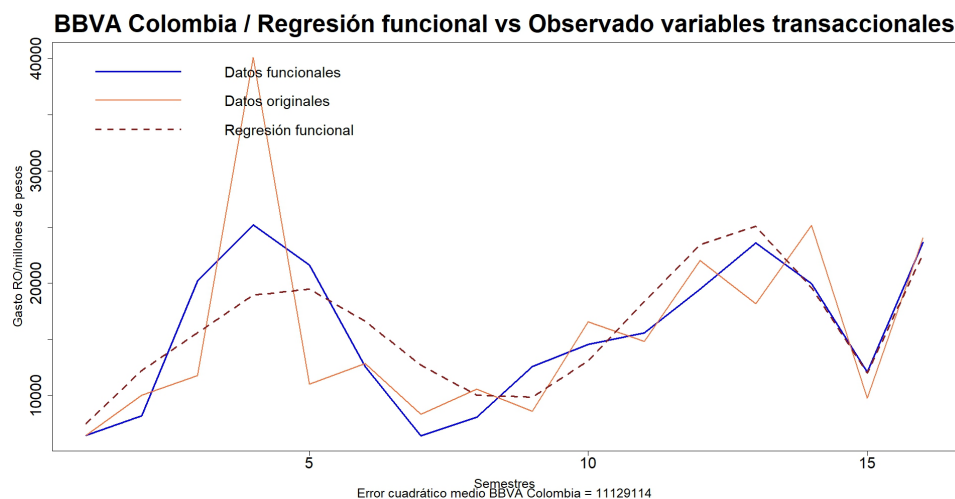
(ECM) es de 215.827, reflejando un buen grado de precisión respecto a los datos funcionales. En la figura 55 se observa el comportamiento de las curvas.

Figura 55: Regresión funcional variables financieras BBVA.
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.



Variables transaccionales: La línea de datos funcionales y predicción muestran una buena similitud, detectando la tendencia de los datos observados, en especial al final del periodo de estudio. El ECM es de 11.129.114, mostrando que la predicción utilizando las variables transaccionales es buena, sobre todo al final del periodo de estudio para el banco BBVA. En la figura 56 se observa el comportamiento de las curvas.

Figura 56: Regresión funcional variables transaccionales BBVA.
Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.

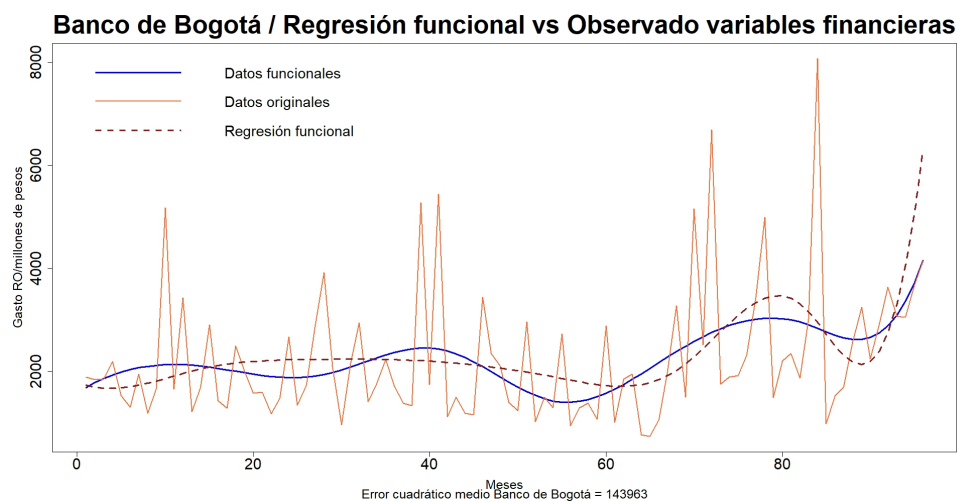


4.6.2.4. Análisis para Banco de Bogotá.

Variables financieras: La curva de datos funcionales y la curva de predicción funcional tienen un buen nivel de coincidencia, encontrando de manera efectiva la tendencia de los datos observados. El error cuadrático medio (ECM) es de 143.963, reflejando un buen grado de precisión respecto a los datos funcionales. En la figura 57 se observa el comportamiento de las curvas.

Figura 57: Regresión funcional variables financieras Banco de Bogotá.

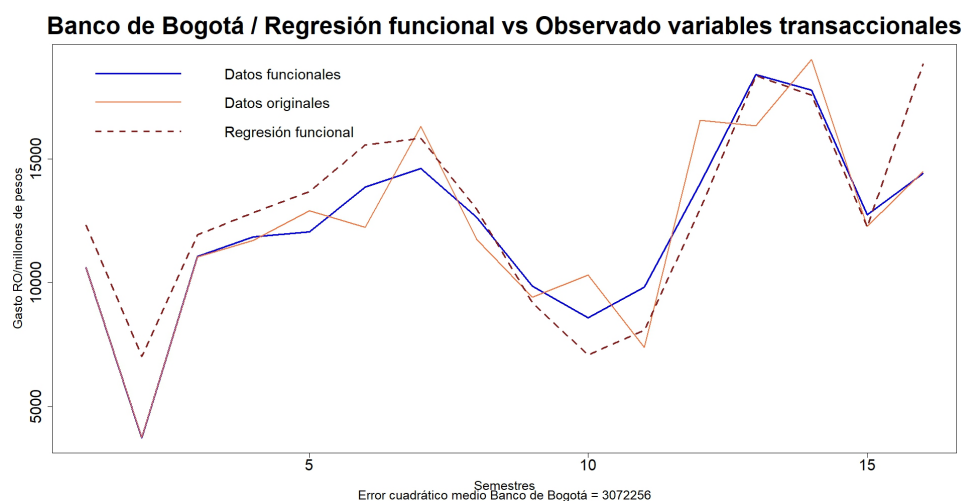
Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. Elaboración: Propia.



Variables transaccionales: La línea de datos funcionales y predicción muestran una buena similitud, detectando la tendencia de los datos observados. El ECM es de 30.722.256, mostrando que la predicción utilizando las variables transaccionales es consistente. En la figura 58 se observa el comportamiento de las curvas.

Figura 58: Regresión funcional variables transaccionales Banco de Bogotá.

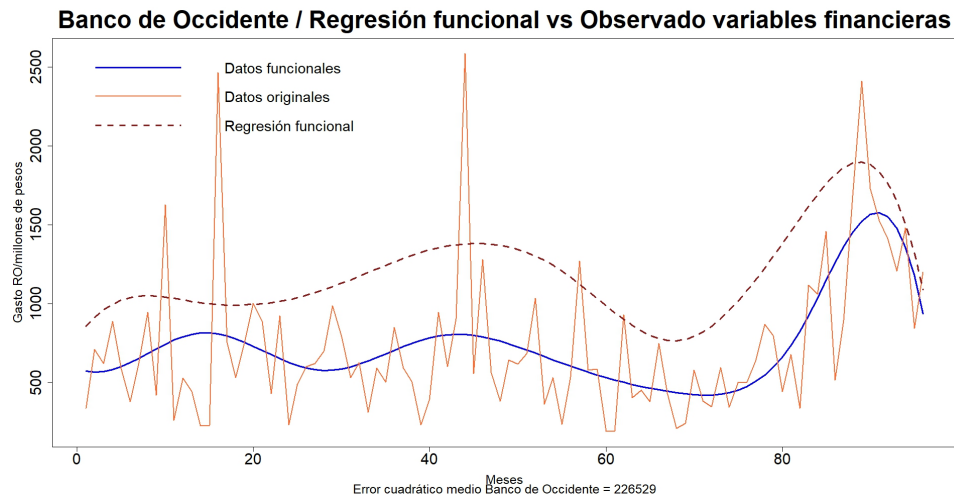
Fuente: Formato 444-SFC. Elaboración: Propia.



4.6.2.5. Análisis para Banco de Occidente.

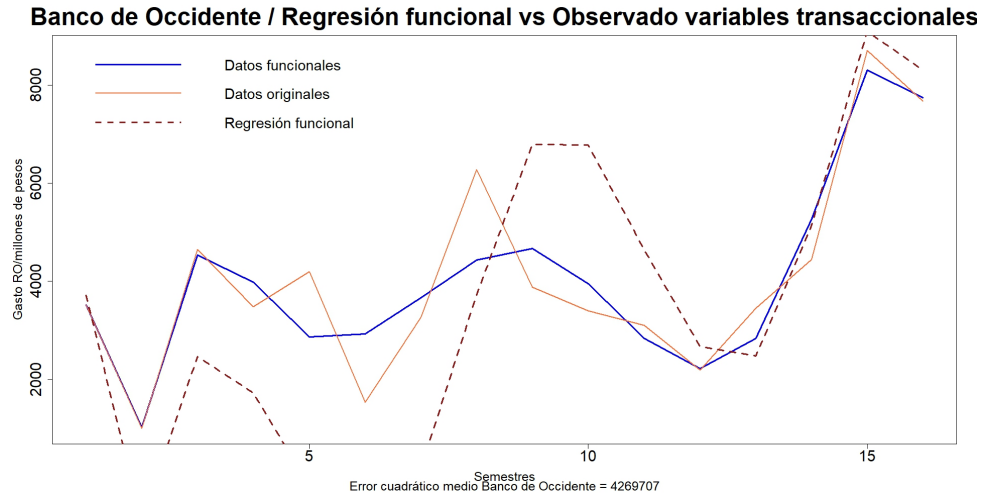
Variables financieras: La curva de datos funcionales y la curva de predicción funcional tienen un buen nivel de coincidencia, en particular al final del periodo de estudio, donde se acorta la diferencia entre los datos funcionales y la predicción, encontrando de manera efectiva la tendencia de los datos observados. El error cuadrático medio (ECM) es de 226.529, reflejando un buen grado de precisión respecto a los datos funcionales. En la figura 59 se observa el comportamiento de las curvas.

Figura 59: Regresión funcional variables financieras Banco de Occidente.

Fuente: Cuentas CUIF para bancos-SFC. **Elaboración:** Propia.

Variables transaccionales: La línea de datos funcionales y predicción muestran una buena similitud, detectando la tendencia de los datos observados, en especial al final del periodo de estudio. El ECM es de 42.269.707, mostrando que la predicción utilizando las variables transaccionales es buena, sobre todo al final del periodo de estudio para el Banco de Occidente. En la figura 60 se observa el comportamiento de las curvas.

Figura 60: Regresión funcional variables transaccionales Banco de Occidente.

Fuente: Formato 444-SFC. **Elaboración:** Propia.

5. Conclusiones

En el marco de sus operaciones, las entidades bancarias enfrentan constantemente desafíos relacionados con el riesgo operacional. Los efectos del mismo se reflejan en los estados financieros como gastos derivados directamente cuando ocurren eventos que se materializan y que están asociados a este tipo de riesgo.

El objetivo del estudio fue analizar y explicar cómo los eventos registrados como gastos varían según los grupos de: (i) variables financieras vinculadas directamente con los estados financieros y (ii) variables transaccionales, que corresponden al número y monto de las transacciones que realizan los clientes y que cursan por los canales digitales y presenciales.

A continuación, se presentan las conclusiones basadas en estos análisis, destacando los hallazgos importantes:

Análisis descriptivo funcional.

La correlación funcional de Spearman permitió identificar cinco variables financieras con una relación muy fuerte (superior a 0.90) con los gastos por riesgo operacional. Estas variables están estrechamente ligadas a la operativa de los bancos y coinciden con los criterios de solvencia establecidos por Basilea. Esto significa que pueden servir como indicadores clave para monitorear el riesgo operacional y diseñar estrategias de mitigación más efectivas dentro del marco regulatorio.

En cuanto a las variables transaccionales, el análisis mostró que el número de transacciones (presenciales y no presenciales) tiene una correlación más alta con los gastos por riesgo operacional que el monto transado. Este último mostró relaciones más débiles (menores a 0.90), posiblemente porque los montos varían de manera aleatoria, mientras que los gastos operacionales dependen en gran medida del volumen de operaciones. Este hallazgo sugiere que, para gestionar el riesgo operacional, es más relevante el número de transacciones que el monto que se transa, lo que puede ayudar a definir mejores estrategias de supervisión.

El uso de la correlación funcional de Pearson permitió analizar cómo ha evolucionado la relación entre los gastos por riesgo operacional y las variables explicativas (financieras y transaccionales) a lo largo de 96 meses y 16 semestres. Se observaron periodos en los que la correlación disminuye, lo que indica que la relación entre estas variables no es constante en el tiempo. Esto refuerza la importancia de revisar y actualizar periódicamente los modelos de riesgo, ya que los factores que influyen en los gastos operacionales pueden cambiar según el contexto y la dinámica del negocio.

Las herramientas funcionales, como la media, la desviación estándar y las correlaciones, permitieron analizar las variables de manera continua en el tiempo, en lugar de tratarlas como valores fijos. Esto facilitó la identificación de momentos específicos en los que se dieron cambios importantes y permitió buscar explicaciones para esos movimientos. Al enfocarse en tendencias y variaciones a lo largo del tiempo, estas herramientas ayudan a mejorar la toma de decisiones en la gestión bancaria y a anticiparse a posibles riesgos.

El análisis funcional también permitió detectar entidades con comportamientos atípicos (outliers) y entender en qué se diferencian del resto de la industria bancaria. Este tipo de información es clave para diseñar estrategias de supervisión más precisas, centrándose en aquellas instituciones que presentan mayor riesgo o desviaciones significativas en su operación.

Segmentación funcional.

El ACPF permitió agrupar las entidades en cuatro segmentos según cada variable analizada. Esto ayudó a identificar patrones y relaciones clave entre las variables explicativas y los gastos por riesgo operacional. Gracias a esta clasificación, es posible entender mejor cómo se comportan las entidades y qué factores tienen mayor impacto en el riesgo.

La combinación de metodologías como *k-means* y ACPF permitió clasificar las entidades tanto de manera individual (por cada variable) como considerando múltiples variables al mismo tiempo. Esto ofrece una visión más completa del comportamiento de las entidades y permite adaptar mejor las estrategias de gestión del riesgo.

Los resultados de la segmentación facilitaron un análisis más detallado, integrando tanto las variables financieras como las transaccionales que influyen en los gastos por riesgo operacional. Dado que estos gastos están asociados a eventos con impacto económico, la segmentación permite tomar decisiones más informadas y diseñar estrategias más específicas para mitigar el riesgo en cada grupo identificado.

Indicadores asociados al riesgo operacional y las variables explicativas.

Los *scores* obtenidos a través del Análisis de Componentes Principales Funcionales (ACPF) permitieron generar indicadores que ayudan a entender la relevancia de cada banco en función de las principales variables que influyen en el gasto por riesgo operacional. Estos indicadores pueden ser una herramienta útil para clasificar a las entidades según su nivel de exposición al riesgo, facilitando la toma de decisiones en materia de gestión y supervisión bancaria.

Los resultados de estos indicadores también evidenciaron que las entidades atípicas se diferencian claramente del resto de la industria bancaria, confirmando lo observado en el análisis exploratorio funcional. Esto refuerza la importancia de monitorear de cerca a estas entidades y adaptar estrategias específicas para su control y gestión del riesgo.

Predicción del gasto por riesgo operacional.

Al comparar los modelos de regresión funcional, se observó que las variables financieras permiten un mejor ajuste que las transaccionales. Esto tiene sentido, ya que hay más información disponible sobre cómo se generan los gastos por riesgo operacional y su relación con las distintas áreas del negocio. Este resultado sugiere que, para mejorar la predicción del riesgo, es clave contar con datos financieros bien estructurados y detallados.

Los modelos también mostraron que el error cuadrático medio (ECM) es menor en los grupos de entidades más grandes. Esto podría deberse a que estas entidades reflejan una mayor diversidad de datos, lo que mejora la precisión de las estimaciones. Por otro lado, en entidades más pequeñas, el modelo puede requerir ajustes o complementarse con otros enfoques para obtener resultados más precisos.

En términos de ajuste del modelo, las variables financieras explican mejor los gastos por riesgo operacional que las variables transaccionales. Esto confirma que los indicadores financieros deben ser un eje central en la predicción del riesgo, aunque no descarta que las variables transaccionales puedan aportar valor si se analizan con mayor detalle o se combinan con otros métodos.

Aspectos que considerar en próximos estudios.

Dado que el sector financiero colombiano está altamente concentrado en unos pocos bancos, se propone realizar el análisis por grupos, como se evidenció en las regresiones funcionales.

Dado que, a partir de 2023, la información de las transacciones se reporta con periodicidad mensual, se sugiere unificar los datos financieros y transaccionales para garantizar coherencia temporal y mejorar el análisis.

Se recomienda evaluar la inclusión de variables económicas, como la inflación, el desempleo y el producto interno bruto (PIB), entre otras, con el objetivo de identificar si existe relación con el comportamiento de los gastos por riesgo operacional y mejorar la segmentación y la precisión de su estimación.

Se recomienda que futuros trabajos realicen comparaciones entre las metodologías tradicionales y el análisis de datos funcionales, con el objetivo de evaluar cuál ofrece un mejor rendimiento utilizando los mismos datos.

En conclusión, la metodología de Análisis de Datos Funcional resulta efectiva para modelar y predecir los gastos por riesgo operacional en las entidades bancarias, especialmente al emplear variables financieras. Sin embargo, se identifican áreas de mejora para capturar con mayor precisión las fluctuaciones y comportamientos atípicos, particularmente en las variables transaccionales.

Referencias

- Ali Bayrakdarolu and Nee Yalçın. A Fuzzy Multi-Criteria Evaluation of the Operational Risk Factors for the State-Owned and Privately-Owned Commercial Banks in Turkey. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 19(2):443–461, March 2013.
- International Accounting Standards Board. Marco conceptual para la información financiera. *IFRS Foundation*, 2018.
- Laura Borrajo López. Aplicación de análisis de datos funcionales en medios de pago, January 2017.
- Sergio Castillo-Paez, Miguel Flores, and Giovanni Herrera-Enrquez. Análisis de Datos Funcionales Aplicado al Riesgo Financiero: Un Caso de Estudio en Cooperativas de Ahorro y Crédito Ecuatorianas. *Latin American Journal of Computing*, 4(Issue 1):9–16, May 2017.
- Cristina O. Chávez Chong, Jesús E. Sánchez García, and José DelaCerdea Gastélum. Análisis de componentes principales funcionales en series de tiempo económicas. *GECONTEC: Revista Internacional de Gestión del Conocimiento y la Tecnología.*, Vol.3(2):13–25, 2015.
- Comité de Supervisión Bancaria de Basilea. Convergencia internacional de medidas y normas de capital. *Banco de Pagos Internacionales*, pages 171–184, June 2006.
- Danna Cruz. Aprendizaje automático de datos Colombianos, September 2020.
- Superintendencia Financiera de Colombia. Capítulo XXXI Sistema Integral de Administración de Riesgos (SIAR), September 2021.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Norma técnica de calidad del proceso estadístico (NTC PE 1000:2020). *DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE)*, Icontec(NTC PE 1000), 2020.
- SOLVENTA Calificadora de Riesgos. Metodología de Calificación de EEFF, March 2017.
- Comité de Supervisión Bancaria de Basilea. Basilea III: Finalización de las reformas poscrisis. *Banco de Pagos Internacionales*, pages 147–156, December 2017.
- Manuel Febrero, Pedro Galeano, and Wenceslao González-Manteiga. A functional analysis of NOx levels: location and scale estimation and outlier detection. *Computational Statistics*, 22(3):411–427, August 2007.
- Manuel Febrero-Bande and Manuel Oviedo De La Fuente. Statistical Computing in Functional Data Analysis: The R Package fda.usc. *Journal of Statistical Software*, 51(4), 2012.
- Frederic Ferraty and Philippe Vieu. Nonparametric Functional Data Analysis: Theory and Practice. *Springer Series in Statistics*, 51, January 2006.
- Suné Ferreira and Zandri Dickason-Koekemoer. A conceptual model of operational risk events in the banking sector. *Cogent Economics & Finance*, 7(1):1706394, January 2019.
- J. A. Hartigan and M. A. Wong. Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28(1):100–108, 1979. Publisher: [Royal Statistical Society, Oxford University Press].
- Rob J. Hyndman and Han Lin Shang. Rainbow Plots, Bagplots, and Boxplots for Functional Data. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 19(1):29–45, January 2010.
- Ander Fernández Jauregui. Qué es y cómo programar Kmeans desde 0 en R, June 2020.

- Oliver Kley, Claudia Klüppelberg, and Sandra Paterlini. Modelling extremal dependence for operational risk by a bipartite graph. *Journal of Banking & Finance*, 117:105855, August 2020.
- Javier Yesid Ladino Santamaría. *Ajuste de un modelo funcional para medir el efecto de la tasa de cambio sobre el precio del petróleo WTI en el periodo (2000-2015)*. bachelor thesis, Universidad Santo Tomás, 2018. Accepted: 2018-02-14T13:48:24Z.
- J. MacQueen. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1:281–297, 1967.
- Camilo Micán, Gabriela Fernandes, Madalena Araújo, and Enrique Ares. Operational risk categorization in project-based organizations: A theoretical perspective from a project portfolio risk lens. *Procedia Manufacturing*, 41:771–778, January 2019.
- Pedro A. Morettin, Aluísio Pinheiro, and Brani Vidakovic. *Wavelets in Functional Data Analysis*. SpringerBriefs in Mathematics. Springer Cham, 2017.
- J. O. Ramsay and B. W. Silverman, editors. *Functional data analysis*. Springer, New York, NY, (2nd ed) edition, 2005.
- James Ramsay, Giles Hooker, and Spencer Graves. *Functional Data Analysis with R and MATLAB*. Springer, New York, NY, 2009.
- James O. Ramsay. *Applied Functional Data Analysis: Methods and Case Studies*. Springer Series in Statistics Ser. Springer, New York, NY, 2002.
- Romy Rodríguez-Ravines. Modelización en R, 2019.
- Jian Qing Shi and Taeryon Choi. *Gaussian Process Regression Analysis for Functional Data*. Chapman and Hall/CRC, New York, June 2011.
- Ying Sun and Marc G Genton. Functional Boxplots. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 20(2):316–334, October 2010.
- Chi Xu, Chunling Zheng, Donghua Wang, Jingru Ji, and Nuan Wang. Double correlation model for operational risk: Evidence from Chinese commercial banks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 516:327–339, February 2019.

Anexos

.1. Cuentas CUIF asociadas a los Gastos riesgo operacional GRO

Cuenta	Descripción
513305	Pérdidas por siniestros
513310	Construcciones en curso
513315	Edificios
513320	Maquinaria muebles y enseres
513325	Equipo de computación
513330	Vehículos
513335	Efectivo y canje
513340	Títulos valores
513345	Cartera de créditos
513395	Otros activos
517205	Multas y sanciones superintendencia financiera de Colombia - desencaje
517210	Multas y sanciones superintendencia financiera de Colombia - apalancamiento
517215	Multas y sanciones superintendencia financiera de Colombia - posición propia
517220	Multas y sanciones superintendencia financiera de Colombia - otras
517225	Multas y sanciones otras autoridades administrativas
517230	Indemnizaciones a clientes
517235	Otras indemnizaciones
517240	Demandas laborales
517245	Demandas por incumplimiento de contratos
517250	Litigios en proceso ejecutivo
517255	Otros litigios en proceso administrativo judicial o arbitral
517295	Otras
510297	Riesgo operativo
510397	Riesgo operativo
510497	Riesgo operativo
510597	Riesgo operativo
511397	Riesgo operativo
511497	Riesgo operativo
511597	Riesgo operativo
511697	Riesgo operativo
511797	Riesgo operativo
511897	Riesgo operativo

Cuenta	Descripción
512097	Riesgo operativo
512197	Riesgo operativo
512297	Riesgo operativo
512497	Riesgo operativo
512597	Riesgo operativo
512697	Riesgo operativo
512797	Riesgo operativo
513097	Riesgo operativo
513197	Riesgo operativo
514097	Riesgo operativo
514597	Riesgo operativo
514997	Riesgo operativo
515097	Riesgo operativo
515197	Riesgo operativo
515297	Riesgo operativo
515397	Riesgo operativo
515497	Riesgo operativo
515597	Riesgo operativo
515697	Riesgo operativo
515797	Riesgo operativo
516097	Riesgo operativo
516397	Riesgo operativo
516597	Riesgo operativo
516997	Riesgo operativo
517497	Pagos siniestros sin recuperación-riesgo operativo
519097	Riesgo operativo
570597	Riesgo operativo

.2. Cuentas CUIF asociadas a los Ingresos por intereses y operaciones de leasing (IIOL)

Cuenta	Descripción
410202	Créditos comerciales
410204	Créditos de consumo
410206	Cartera de tarjetas de crédito comercial
410208	Sobregiros créditos comerciales

Cuenta	Descripción
410210	Créditos de vivienda y leasing habitacional
410212	Microcréditos
410214	Cartera de tarjetas de crédito consumo
410216	Sobregiros créditos consumo
410218	Operaciones factoring
410220	Conceptos reputados intereses
410222	Operaciones de descuento de cartera comercial
410224	Operaciones de descuento de cartera de consumo
410228	Operaciones de descuento de cartera de microcrédito
410230	Operaciones de redescuento de cartera consumo
410232	Operaciones de redescuento de cartera de vivienda y leasing habitacional
410234	Operaciones de redescuento de cartera comercial
410236	Operaciones de redescuento de cartera de microcrédito
410238	Moratorios cartera de consumo
410240	Moratorios cartera de vivienda y leasing habitacional
410242	Moratorios cartera comercial
410244	Moratorios cartera de microcrédito
410246	Líneas de crédito externas
410248	Deuda externa privada - resol. 33/84 y 17/87
410250	Cupos de liquidez sistema financiero
410295	Otros
410515	Aportes en organismos internacionales
410905	Intereses
411005	Depósitos a la vista
411010	Cartera de créditos
411015	Operaciones de leasing financiero
412700	Por venta de cartera
413005	Bienes recibidos en pago
413010	Bienes restituidos de contrato de leasing
413095	Otros activos no corrientes mantenidos para la venta
414505	Cajillas de seguridad
414510	Medios de pago
414515	Inmuebles
414595	Otros
418050	Propiedades y equipo en arrendamiento operativo
419605	Cánones de arrendamiento de leasing operativo

Cuenta	Descripción
419610	Utilidad en venta de activos en leasing financiero
419615	Utilidad en venta de activos en leasing operativo
419620	Sanciones por incumplimiento en contratos de leasing financiero
419625	Componente financiero de leasing financiero -consumo
419630	Componente financiero de leasing financiero -comercial
419635	Componente financiero de leasing financiero -microcrédito
419640	Componente financiero de leasing habitacional

.3. Cuentas CUIF asociadas a los Gastos por intereses y operaciones de leasing (GIOL)

Cuenta	Descripción
510205	Depósitos de ahorro ordinario
510210	Depósitos de ahorro de valor constante
510215	Certificados de ahorro a termino
510220	CDT o certificados de ahorro de valor constante emitidos a menos de 6 meses
510225	CDT o certificados de ahorro de valor constante emitidos igual a 6 meses y menor a 12 meses
510230	CDT o certificados de ahorro de valor constante emitidos igual o superior a 12 meses
510235	Pérdida de poder adquisitivo - cesantías
510240	Intereses doceavas partes estimadas
510295	Otros intereses
510305	Créditos ordinarios y extraordinarios Banco de la República
510310	Créditos bancos
510315	Redescuentos Banco de la República
510320	Redescuentos otras entidades
510325	Bancos del exterior y líneas de redescuento en dólares
510330	Líneas de crédito externo
510335	Convenios internacionales
510340	Aportes en organismos internacionales
510345	Depósitos de contracción monetaria
510350	Intereses moratorios
510395	Otros créditos
510505	Bienes inmuebles
510510	Bienes muebles
511005	Cuentas de ahorro de valor constante

Cuenta	Descripción
511010	Certificados de ahorro de valor constante hasta 6 meses
511015	Certificados de ahorro de valor constante entre 6 y 12 meses
511020	Certificados de ahorro de valor constante más de 12 meses
511025	Créditos
511030	Bonos de fomento urbano
511035	Bonos de garantía general
511095	Otros
512605	Inmuebles
512610	Terrenos
512705	Pérdida en venta de cartera
513115	Cartera de créditos
519075	Pérdida en venta de activos en leasing

.4. Cuentas CUIF asociadas a los Activos que devenguen intereses (ADI)

Cuenta	Descripción
111000	Banco de la República
111500	Bancos y otras entidades financieras
140400	Cartera de vivienda y operaciones de leasing habitacional
140800	Cartera y operaciones de leasing de consumo
141000	Cartera y operaciones de leasing comerciales
141200	Cartera y leasing de microcréditos
141400	Préstamos a empleados
141600	Derechos de transferencia de cartera de crédito por operaciones de apoyo transitorios de liquidez.
141800	Cartera de créditos entregadas en operaciones repo (derechos de transferencia)
160510	Categoría A riesgo normal, vivienda
160520	Categoría A riesgo normal, consumo
160522	Categoría B riesgo aceptable, consumo
160530	Categoría A riesgo normal, microcrédito
160540	Categoría A riesgo normal, comercial
160542	Categoría B riesgo aceptable, comercial
160810	Categoría A riesgo normal, leasing habitacional
160820	Categoría A riesgo normal, consumo
160822	Categoría B riesgo aceptable, consumo
160830	Categoría A riesgo normal, microcrédito
160840	Categoría A riesgo normal, comercial
160842	Categoría B riesgo aceptable, comercial
161305	Categoría A crédito normal, consumo
161310	Categoría B crédito aceptable, consumo
161330	Categoría A crédito normal, comercial
161335	Categoría B crédito aceptable, comercial
161355	Categoría A crédito normal, microcrédito
163605	Categoría A riesgo normal
163705	Categoría A riesgo normal
163710	Categoría B riesgo aceptable
163805	Categoría A riesgo normal
163905	Categoría A riesgo normal
163910	Categoría B riesgo aceptable
181605	Maquinaria y equipo
181610	Vehículos

Cuenta	Descripción
181615	Muebles y enseres
181620	Barcos, trenes, aviones y similares
181625	Equipo de computación
181630	Bienes inmuebles
181635	Semovientes
181640	Programas para computador-software
181695	Otros
181696	Revaluación

.5. CUIF asociadas a los Ingresos por dividendos (ID)

Cuenta	Descripción
411415	Dividendos.
414005	Matriz, filiales, subsidiarias.
414010	Otras personas jurídicas.
415005	En subsidiarias
415010	En asociada
415015	En negocios conjuntos
415020	En operaciones conjuntas
415500	Actividades en operaciones conjuntas
415800	Ingresos participación no controladoras

.6. Cuentas CUIF asociadas a los Ingresos por honorarios y comisiones (IHC)

411325	Inscripción de títulos
411330	Custodia de valores
411335	Operaciones martillo
411340	Servicio de transferencia de valores o títulos
411345	Administración de valores
411350	Transacciones
411375	Gravámenes, certificaciones y constancias
411382	De información
411385	Por servicios de compensación y liquidación de divisas
411387	Por servicios de negociación y registro de operaciones sobre divisas
411395	Otros
411502	Aceptaciones (bancarias)
411504	Cartas de crédito
411506	Avales
411508	Garantías bancarias
411510	Servicios bancarios
411512	Negocios fiduciarios (comisiones y honorarios)
411514	Establecimientos afiliados a tarjetas de crédito y débito
411516	Uso medios de pago diferentes de efectivo
411518	Servicio red de oficinas
411520	De administración - fondo de cesantía portafolio de corto plazo
11522	De administración - fondo de cesantía portafolio de largo plazo
411524	Por retiros parciales - fondo de cesantía portafolio de corto plazo
411526	Por retiros parciales - fondo de cesantía portafolio de largo plazo
11528	De administración fondo de pensiones obligatorias

Cuenta	Descripción
411530	De administración pensiones por retiro programado
411532	De administración recursos afiliados cesantes
411534	Por traslado de afiliados
411536	Administración aportes voluntarios fondos de pensiones obligatorias
411538	De administración fondo de pensiones voluntarias
411540	De administración pasivos pensionales entidades territoriales y sus descentralizadas
411542	De administración FONPET
411544	De administración pasivos pensionales por reactivación económica
11546	De seguros previsionales
411548	Por giros
411550	De administración de riesgos laborales
411552	Privatizaciones
411554	Capital garantía
411556	Cuotas de manejo de tarjetas de crédito
11558	Cuotas de manejo de tarjetas débito
411560	Por productos derivados
411561	Por garantías - FNG
11562	Corretaje de valores
411563	Corretaje de productos agropecuarios
411564	Contrato de comisión
411565	Contrato de comisión títulos sobre y productos agropecuarios
411566	Contratos de colocación de títulos
411567	Contratos de futuros
411568	Contratos de opciones
411569	Administración de fondos de inversión colectiva
411570	Administración de valores
411571	Administración de portafolios de valores de terceros
411572	Administración fondos de capital extranjero
411573	Contratos de corresponsalía
411574	Contratos de liquidez
411575	Precio por transferencia temporal de valores
411576	Por calificación de valores
11577	Asesorías
411578	Compra-venta de divisas
411579	Honorarios por fundición y ensaye metales preciosos
411580	Comisiones líneas de crédito externas

Cuenta	Descripción
411595	Otras
411700	Ingresos por retrogarantes
419505	Venta de chequeras
419510	Información comercial
419595	Otros

.7. Cuentas CUIF asociadas a los gastos por honorarios y comisiones (GHC)

511305	De bolsas de valores
511310	De bolsas de bienes y productos agropecuarios y agroindustriales
511315	Administración de valores o títulos
511320	Transferencia de valores o títulos
511325	Custodia de valores o títulos
511330	De información
511335	Gravámenes, certificaciones y constancias
511340	De incumplimiento
511345	Servicios sistemas de negociación
511395	Otros
511503	Aceptaciones bancarias
511506	Cartas de crédito
511509	Avales
511512	Servicios bancarios
511515	Garantías bancarias
511518	Negocios fiduciarios
511521	Servicio red de oficinas
511524	Por afiliaciones al fondo de cesantía
511527	Por afiliaciones a los fondos de pensiones
511530	Servicio de procesamiento de información a los operadores
511533	Servicio de recaudo de aportes a las instituciones financieras
511536	De administración de riesgos laborales
511539	Por garantías FNG
511542	Administradoras de fondos de pensiones seguro previsional
511545	Precio por transferencia temporal de valores
511548	Administración de fondo de inversión colectiva
511551	Comisiones por ventas y servicios
511554	Administración y manejo de fondos en el exterior
511557	Corresponsales en el exterior

.8 Cuentas CUIF asociadas a los Beneficio (pérdida) neto(a) en el portafolio de inversiones a valor razonable (BNPIVR)83

Cuenta	Descripción
511560	Por compromiso líneas de crédito externas
511563	Por crédito líneas de crédito externas
511566	Por prepago líneas de crédito externas
511569	Operaciones de metales preciosos
511595	Otros

.8. Cuentas CUIF asociadas a los Beneficio (pérdida) neto(a) en el portafolio de inversiones a valor razonable (BNPIVR)

410705	Por aumento en el valor razonable
410805	Por incremento en el valor de mercado
411205	Por compromisos de compra
411210	Por compromisos de venta
412505	A valor razonable - instrumentos de deuda
412510	A valor razonable - instrumentos de patrimonio
412520	Instrumentos de patrimonio con efectos en el ori
412805	Contratos de compra de divisas
412810	Contratos de venta de divisas
412815	Contratos de compra de títulos
412820	Contratos de venta de títulos
412895	Contratos - otros
412905	Forwards de monedas (peso/dólar)
412907	Forwards de monedas (diferente peso/dólar)
412910	Forwards de tasas de interés
412912	Forwards de títulos
412915	Forwards - otros
412917	Futuros de monedas
412920	Futuros de tasas de interés
412922	Futuros de títulos
412925	Futuros de índices
412927	Futuros - otros
412930	Swaps de monedas
412932	Swaps de tasas de interés
412935	Swaps - otros
412937	Opciones calls monedas
412940	Opciones put de monedas
412942	Opciones calls de tasas de interés

Cuenta	Descripción
412945	Opciones puts de tasas de interés
412947	Opciones calls de títulos
412950	Opciones puts de títulos
412952	Opciones calls de índices
412955	Opciones puts de índices
412957	Opciones call - otros
412960	Opciones puts - otras
413505	Por reexpresión de activos de la posición propia
413510	Por realización de activos de la posición propia
413515	Por reexpresión de otros activos
413520	Por realización de otros activos
413525	Por reexpresión de pasivos de la posición propia
413530	Por liquidación de pasivos de la posición propia
413535	Por reexpresión de otros pasivos
413540	Por liquidación de otros pasivos
413905	Forwards de monedas (peso/dólar)
413907	Forwards de monedas (diferentes peso/dólar)
413910	Forwards de tasas de interés
413912	Forwards de títulos
413915	Forwards - otros
413917	Futuros de monedas
413920	Futuros de tasas de interés
413922	Futuros de títulos
413925	Futuros de índices
413927	Futuros - otros
413930	Swaps de monedas
413932	Swaps de tasas de interés
413935	Swaps - otros
413937	Opciones calls monedas
413940	Opciones put de monedas
413942	Opciones calls de tasas de interés
413945	Opciones puts de tasas de interés
413947	Opciones calls de títulos
413950	Opciones puts de títulos
413952	Opciones calls de índices
413955	Opciones puts de índices

.8 Cuentas CUIF asociadas a los Beneficio (pérdida) neto(a) en el portafolio de inversiones a valor razonable (BNPIVR)85

Cuenta	Descripción
413957	Opciones call - otros
413960	Opciones puts - otras
510605	Por disminución en el valor razonable
510805	Por disminución en el valor razonable
511205	Por compromisos de compra
511210	Por compromisos de venta
512505	A valor razonable - instrumentos de deuda
512510	A valor razonable - instrumentos de patrimonio
512520	Instrumentos de patrimonio con efectos en el ori
512805	Contratos de compra de divisas
512810	Contratos de venta de divisas
512815	Contratos de compra de títulos
512820	Contratos de venta de títulos
512895	Contratos - otros
512905	Forwards de monedas (peso/dólar)
512907	Forwards de monedas (diferentes peso/dólar)
512910	Forwards de tasas de interés
512912	Forwards de títulos
512915	Forwards - otros
512917	Futuros de monedas
512920	Futuros de tasas de interés
512922	Futuros de títulos
512925	Futuros de índices
512927	Futuros - otros
512930	Swaps de monedas
512932	Swaps de tasas de interés
512935	Swaps - otros
512937	Opciones calls monedas
512940	Opciones put de monedas
512942	Opciones calls de tasas de interés
512945	Opciones puts de tasas de interés
512947	Opciones calls de títulos
512950	Opciones puts de títulos
512952	Opciones calls de índices
512955	Opciones puts de índices
512957	Opciones call - otros

Cuenta	Descripción
512960	Opciones puts - otras
513505	Por reexpresión de pasivos de la posición propia
513510	Por liquidación de pasivos de la posición propia
513515	Por reexpresión de otros pasivos
513520	Por liquidación de otros pasivos
513525	Por reexpresión de activos de la posición propia
513530	Por realización de activos de la posición propia
513535	Por reexpresión de otros activos
513540	Por realización de otros activos
513905	Forwards de monedas (peso/dólar)
513907	Forwards de monedas (diferentes peso/dólar)
513910	Forwards de tasas de interés
513912	Forwards de títulos
513915	Forwards - otros
513917	Futuros de monedas
513920	Futuros de tasas de interés
513922	Futuros de títulos
513925	Futuros de índices
513927	Futuros - otros
513930	Swaps de monedas
513932	Swaps de tasas de interés
513935	Swaps - otros
513937	Opciones calls monedas
513940	Opciones put de monedas
513942	Opciones calls de tasas de interés
513945	Opciones puts de tasas de interés
513947	Opciones calls de títulos
513950	Opciones puts de títulos
513952	Opciones calls de índices
513955	Opciones puts de índices
513957	Opciones call - otros
513960	Opciones puts - otras

.9. Cuentas CUIF asociadas a los Beneficio (pérdida) neto(a) en el portafolio a costo amortizado (BNPCA)

410305	Depósitos a la vista
--------	----------------------

.9 Cuentas CUIF asociadas a los Beneficio (pérdida) neto(a) en el portafolio a costo amortizado (BNPCA) 87

Cuenta	Descripción
410310	Fondos interbancarios vendidos ordinarios
410315	Títulos de inversión en circulación
410320	Mora en traslado de cesantías al FNA
410325	Créditos con garantía hipotecaria
410330	Sobre títulos de capitalización
410335	Créditos con garantía prendaria
410340	Sobre pólizas
410345	Moratorios por recaudo de cotizaciones
410350	Rendimientos por compromisos de transferencia en operaciones repo
410355	Rendimientos por compromisos de transferencia en operaciones simultáneas
410360	Rendimientos por compromisos en operaciones de transferencia temporal de valores
410365	Diferencial de tasas
410370	Rendimientos financieros por la ejecución de proyectos
410375	Intereses ganados FOGAFIN
410380	Depósitos de contracción monetaria
410385	Utilidad por participación en la formación del IBR
410390	Otros conceptos
410395	Otros intereses
410605	En títulos de deuda
410610	En títulos participativos
411105	Por incremento en el valor presente
411405	Rendimientos financieros, compromisos de reventa - repos - simultáneas y carruseles
411410	Reajuste monetario - UVR
411420	Diferencia en cambio
411495	Otros rendimientos financieros
412305	Operaciones repo abierto
412310	Operaciones simultáneas
412315	Operaciones de transferencia temporal de valores
412515	Inversiones a costo amortizado
412525	Productos agropecuarios
412530	Productos agroindustriales
412535	Insumos agropecuarios y agroindustriales
412540	Documentos sobre productos agropecuarios y agroindustriales
412545	Otras especies agrícolas y agroindustriales
412595	Otros
413505	Por reexpresión de activos de la posición propia

Cuenta	Descripción
413510	Por realización de activos de la posición propia
13515	Por reexpresión de otros activos
413520	Por realización de otros activos
413525	Por reexpresión de pasivos de la posición propia
413530	Por liquidación de pasivos de la posición propia
413535	Por reexpresión de otros pasivos
413540	Por liquidación de otros pasivos
510405	Fondos interbancarios comprados ordinarios
510410	Fondos interasociadas pasivos
510415	Prima amortizada de cartera
510420	Intereses y amortización descuento títulos de inversión
510425	Intereses y amortización descuento boceas
510430	Moratorios en pago de siniestros
510435	Moratorios en pago de mesadas pensionales
510440	Rendimientos por compromisos de transferencia en operaciones repo
510445	Rendimientos por compromisos de transferencia en operaciones simultáneas
510450	Por compromisos en operaciones de transferencia temporal de valores
510460	Diferencial de tasas
510465	Aporte contractual por la ejecución de proyectos
510470	Intereses devengados a favor de Fogafin
510475	Pérdida por participación en la formación del IBR
510495	Otros intereses
510705	Por disminución en el valor presente
511905	En títulos de deuda
511910	En títulos participativos
512305	Operaciones repo
512310	Operaciones simultáneas
512315	Operaciones de transferencia temporal de valores
512515	A costo amortizado
513505	Por reexpresión de pasivos de la posición propia
513510	Por liquidación de pasivos de la posición propia
513515	Por reexpresión de otros pasivos
513520	Por liquidación de otros pasivos
513525	Por reexpresión de activos de la posición propia
513530	Por realización de activos de la posición propia
513535	Por reexpresión de otros activos

.9 Cuentas CUIF asociadas a los Beneficio (pérdida) neto(a) en el portafolio a costo amortizado (BNPCA) 89

Cuenta	Descripción
513540	Por realización de otros activos

