



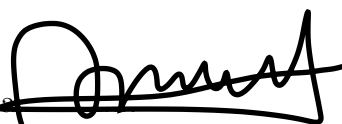
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

INGENIERÍA ESTADÍSTICA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERÍA ESTADÍSTICA

COMPARACIÓN DE MODELOS DE EFECTOS FIJOS Y EFECTOS MIXTOS APLICADOS EN EL ÁREA BANCARIA

Profesor Guía:	Guillermo Ferreira Cabezas	Firma 
Profesor Colaborador:	Nora Serdyukova	Firma..... <i>Nora Serdyukova</i>
Profesor Consejero:	Manuel Caro Riveros	Firma... <i>Manuel Caro</i>
Nombre Memorante:	Daniel Salas Valdés	Firma.....

Concepción, Chile 2020

Índice general

Lista de figuras	6
1 Introducción	1
1.1 Crisis financieras	1
1.1.1 Crisis del petróleo. 1973	2
1.1.2 Crisis Lunes Negro. 1987	3
1.1.3 Crisis económica en México. 1994	3
1.1.4 Crisis Asiática. 1997	4
1.1.5 Crisis Burbuja Tecnológica. 2000	5
1.1.6 Crisis Hipotecas <i>Subprime</i> . 2008	6
1.2 Comité de Basilea o Comité de Supervisión Bancaria de Basilea	7
1.3 Principios de Basilea	9
1.3.1 Basilea I	9
1.3.2 Basilea II	10
1.3.2.1 Pilar I: el cálculo de los requisitos mínimos de capital	10
1.3.2.2 Pilar II: el proceso de supervisión de la ges- tión de los fondos propios	11
1.3.2.3 Pilar III: la disciplina de mercado	11
1.3.3 Basilea III	12
1.4 Ley General de Bancos (LGB)	14
1.5 Comisión para el Mercado Financiero (CMF)	15
1.5.1 Instituciones fiscalizadas por la CMF	16
2 Marco Teórico	18
2.1 Riesgo	18
2.1.1 Las Tres Líneas de Defensa para una efectiva gestión del riesgo	21
2.1.1.1 Primera Línea de Defensa: Gestión Operativa	21
2.1.1.2 Segunda Línea de Defensa: Funciones de Ges- tión de Riesgos y de Cumplimiento	22

2.1.1.3	Tercera Línea de Defensa: Auditoría Interna	22
2.2	Riesgos Bancarios	23
2.2.1	Riesgo diversificable	24
2.2.1.1	Riesgo Económico	25
2.2.2	Riesgo no diversificable	25
2.2.2.1	Riesgo de Mercado	26
2.2.2.2	Riesgo Operacional	27
2.2.2.3	Riesgo de Liquidez	29
2.2.2.4	Riesgo de Crédito	30
2.3	Modelos	33
2.3.1	Proceso de Modelamiento	35
2.3.2	Riesgo de Modelos	38
2.3.3	Validación de Modelos	41
3	Normativa Local	46
3.1	Evaluación Individual	46
3.1.1	Cartera Normal	47
3.1.2	Cartera Subestándar	47
3.1.3	Cartera en Incumplimiento	47
3.2	Evaluación Grupal	47
3.2.1	Metodologías Estándar de provisiones para cartera grupal	49
3.2.2	Pérdida Esperada	49
3.2.2.1	Probabilidad de Incumplimiento (PI)	49
3.2.2.2	Pérdida dado el Incumplimiento (PDI)	51
3.2.2.3	Exposición en el momento de Incumplimiento (EAD)	52
4	Planteamiento del Problema	53
4.1	Segmentación	54
4.2	Tramos de <i>Score</i>	55
5	Metodologías a aplicar	57
5.1	Diseño no balanceado	57
5.2	Diseño jerárquico o anidado	58
5.3	Modelos de efectos Fijos	59
5.4	Modelos de efectos Aleatorios	60
5.5	Modelos de efectos Mixtos	61
5.6	Análisis de Varianza (ANOVA)	62
5.7	Comparaciones Múltiples	63
5.7.1	Test de Tukey	64

5.8	Selección de modelos	64
5.8.1	Criterio de Información de Akaike (AIC)	64
6	Objetivos	66
6.1	Objetivo Principal	66
6.2	Objetivos Específicos	66
7	Resultados	67
7.1	Modelo de Efectos Fijos	68
7.1.1	Análisis residual de Modelo de Efectos Fijos	68
7.1.1.1	Normalidad	68
7.1.1.2	Independencia	70
7.1.1.3	Homocedasticidad	72
7.1.2	Análisis de Varianza (ANOVA) para modelos de efectos fijos	73
7.2	Modelos de Efectos Mixtos	73
7.2.1	Elección de Estructura de Varianza - Covarianza	73
7.2.2	Análisis Residual de Modelo de Efectos Mixtos	75
7.2.2.1	Normalidad	75
7.2.2.2	Independencia	77
7.2.2.3	Homocedasticidad	78
7.2.3	Tabla Anova	79
7.2.4	Comparación Múltiple segmentos	80
7.2.4.1	Tasas de <i>Default</i> observadas para segmentos iguales	81
7.2.5	Comparación Múltiple tramos de <i>score</i> de S1	82
7.2.5.1	Tasas de <i>Default</i> observadas para tramos de <i>score</i> iguales S1	84
7.2.6	Comparación Múltiple tramos de <i>score</i> S2	85
7.2.6.1	Tasas de <i>Default</i> observadas para tramos de <i>score</i> iguales S2	86
7.2.7	Comparación Múltiple tramos de <i>score</i> S3	87
7.2.7.1	Tasas de <i>Default</i> observadas para tramos de <i>score</i> iguales segmento 3	87
7.2.8	Comparación Múltiple tramos de <i>score</i> S4	88
7.2.8.1	Tasas de <i>Default</i> observadas para tramos igua- les segmento 4	89
7.2.9	Comparación Múltiple tramos de <i>score</i> S5	90
7.2.9.1	Tasas de <i>Default</i> observadas para tramos de <i>score</i> iguales segmento 5	90
7.2.10	Comparación Múltiple tramos de <i>score</i> S6	91

7.2.10.1	Tasas de <i>Default</i> Observadas para tramos de <i>score</i> distintos segmento 6	94
7.2.11	Comparación Múltiple tramos de <i>score</i> S7	94
7.2.11.1	Tasas de <i>Default</i> Observadas para tramos de <i>score</i> iguales segmento 7	96
7.2.12	Comparación Múltiple tramos de <i>score</i> S8	96
7.2.12.1	Tasas de <i>Default</i> Observadas para tramos de <i>score</i> iguales segmento 8	97
7.2.13	Comparación Múltiple tramos de <i>score</i> S9	98
7.2.13.1	Tasas de <i>Default</i> Observadas para tramos de <i>score</i> iguales segmento 9	99
7.3	Comparación de Modelos de efectos fijos y mixtos	99
8	Conclusión	101
9	Anexos	102



Índice de figuras

Figura 2.1	Diagrama de la clasificación de Riesgos	24
Figura 2.2	Proceso KDD	36
Figura 2.3	Sistemas de validación	42
Figura 2.4	Principios de Validación	43
Figura 2.5	Ciclo de Validación	44
Figura 4.1	Diagrama Segmentos Cartera Y	54
Figura 4.2	Tramos de <i>score</i> segmento “1” de cartera Y	56
Figura 5.1	Diseño experimental anidado y desbalanceado de una cartera Z	58
Figura 7.1	Diseño experimental Cartera “X”	67
Figura 7.2	Histograma de residuos de modelo de efectos fijos . . .	69
Figura 7.3	Q-Q Plot de residuos de modelo de efectos fijos	70
Figura 7.4	Función de Autocorrelación parcial (ACF) para los re- siduos del modelo de efectos fijos	71
Figura 7.5	Residuos vs Ajustados Modelo de efecto fijo	72
Figura 7.6	Histograma de residuos de modelo de efectos mixtos . .	75
Figura 7.7	Q-Q Plot de residuos de modelo de efectos mixtos . .	76
Figura 7.8	Función de Autocorrelación parcial (ACF) para los re- siduos del modelo de efectos fijos	77
Figura 7.9	Residuos vs Ajustados Modelo de efectos mixtos	79
Figura 7.10	Tasas de <i>Default</i> Observadas para segmentos iguales . .	82
Figura 7.11	Tasas de <i>Default</i> Observadas para los tramos de <i>score</i> iguales en el segmento 1	85
Figura 7.12	Tasas de <i>Default</i> Observadas para los tramos de <i>score</i> iguales en el segmento 2	86
Figura 7.13	Tasas de <i>Default</i> Observadas para los tramos de <i>score</i> iguales en el segmento 3	88
Figura 7.14	Tasas de <i>Default</i> Observadas para los tramos de <i>score</i> iguales en el segmento 4	89

Figura 7.15 Tasas de <i>Default</i> Observadas para los tramos de <i>score</i> iguales en el segmento 5	91
Figura 7.16 Tasas de <i>Default</i> Observadas para los tramos de <i>score</i> distintos en el segmento 6	94
Figura 7.17 Tasas de <i>Default</i> Observadas para los tramos de <i>score</i> iguales en el segmento 7	96
Figura 7.18 Tasas de <i>Default</i> Observadas para los tramos de <i>score</i> iguales en el segmento 8	98
Figura 7.19 Tasas de <i>Default</i> Observadas para los tramos de <i>score</i> iguales en el segmento 9	99

Índice de cuadros

Tabla 2.1 Problemas que generan riesgo de modelo	39
Tabla 7.1 Test de Normalidad K-S para residuos del modelo de efectos fijos	70
Tabla 7.2 Test de Rachas para residuos del modelo de efectos fijos	71
Tabla 7.3 Test de Levene para residuos del modelo de efecto fijo .	73
Tabla 7.4 AIC para modelos de efectos mixtos	75
Tabla 7.5 Test de Normalidad K-S para residuos del modelo de efectos mixtos	77
Tabla 7.6 Test de Rachas para residuos del modelo de efectos mixtos	78
Tabla 7.7 Test de Levene para residuos del modelo de efecto mixto	79
Tabla 7.8 ANOVA para el modelo de efectos mixtos	80
Tabla 7.9 Resumen Comparación Múltiple para los segmentos iguales	81
Tabla 7.10 Resumen Comparación Múltiple para los tramos de <i>score</i> iguales segmento 1	83
Tabla 7.11 Resumen Comparación Múltiple para los tramos de <i>score</i> iguales segmento 2	85
Tabla 7.12 Resumen Comparación Múltiple para los tramos de <i>score</i> iguales segmento 3	87
Tabla 7.13 Resumen Comparación Múltiple para los tramos de <i>score</i> iguales segmento 4	88

Tabla 7.14 Resumen Comparación Múltiple para los tramos de <i>score</i> iguales segmento 5	90
Tabla 7.15 Resumen Comparación Múltiple para los tramos de <i>score</i> distintos segmento 6	93
Tabla 7.16 Resumen Comparación Múltiple para los tramos de <i>score</i> iguales segmento 7	95
Tabla 7.17 Resumen Comparación Múltiple para los tramos de <i>score</i> iguales segmento 8	97
Tabla 7.18 Resumen Comparación Múltiple para los tramos de <i>score</i> iguales segmento 9	98
Tabla 7.19 Comparación de modelos fijos y mixtos	100



Capítulo 1

Introducción

1.1. Crisis financieras

Las crisis financieras han estado presente a lo largo de la historia de la humanidad. Girón (2002) menciona que desde el siglo XVII se han producido diversas crisis financieras, entre las que se encuentran la crisis de los tulipanes¹ o la crisis de 1929², donde más de mil bancos estadounidenses se declararon en quiebra.

En la misma línea, desde los años setenta del siglo pasado han existido distintas crisis financieras que han afectado a un número importante de países alrededor del mundo.

El origen de una crisis financiera puede ser muy variado, aunque suele estar relacionado con el riesgo inherente al funcionamiento incierto de los precios, de los tipos de interés o de cambio, del crédito o de la liquidez. Además, pueden estar asociadas a problemas provocados en el sistema bancario, en los mercados de divisas, en la bolsa y la cotización de las acciones, en la deuda pública y en la capacidad de pago de uno o varios países, o incluso en algunos mercados específicos que provoquen subsiguientes problemas en los mecanismos de financiación de la economía.

Cuando se desencadena una crisis financiera sus efectos pueden ser muy diversos, circunscritos al ámbito financiero o extendidos, pero, en cualquier caso, suelen estar acompañadas de un incremento del riesgo y la incertidumbre, del racionamiento o encarecimiento del crédito, de una pérdida de

¹Señalada como la primera gran burbuja económica. Fue un período donde la explotación de las flores tulipanes produjo un fenómeno especulativo sobre el precio de sus bulbos. Fuente: <https://www.queeseconomia.site/la-crisis-de-los-tulipanes/>

²Fue una recesión económica mundial grave que se inició en Estados Unidos, pero que como una epidemia se propagó en cascada por todo el mundo. Fuente: <https://mundoantiguo.net/gran-depresion-crisis-1929/>

su calidad, lo que posteriormente lleva consigo morosidad y quebrantos patrimoniales y, en consecuencia de todo ello, de insuficiente, más costosa o inadecuada oferta de financiación al conjunto del sistema económico.

Mendoza et al. (2009) mencionan que las crisis financieras se relacionan con el mal manejo de los bancos, combinado con shocks económicos internos y externos. Los bancos tienen incentivos para exponerse a niveles de riesgo excesivos: entre menos reservas mantenga el banco, mayores son sus préstamos y ganancias; entre más riesgoso sea un proyecto, mayor es la tasa a la que se presta.

A continuación se mencionan algunas de las crisis financieras más conocidas desde 1970 a la fecha, con el fin de conocer diferentes situaciones que han provocado una crisis financiera y como afectó a los países involucrados. Posteriormente, se presenta en que consiste el Comité de Basilea, el cual se originó producto de una crisis en particular. Luego, se menciona a la nueva ley general de bancos aprobada en nuestro país y finalmente se menciona la Comisión para el Mercado Financiero.

1.1.1. Crisis del petróleo. 1973

La Crisis del Petróleo tuvo su origen en 1973, a raíz de la decisión de varios países del golfo Pérsico de no exportar petróleo a países occidentales.

La determinación del bloque árabe de la OPEP³ a llevar a cabo un embargo petrolífero a las naciones occidentales fue un acto de represalia a los países que apoyaron a Israel en la Guerra del Yom Kippur⁴. Esta medida de castigo provocó un incremento de los precios del petróleo, provocando graves consecuencias, tales como:

- Problemas de suministro energético y presiones inflacionarias en los países importadores de crudo.
- Pese que el embargo duró seis meses, se produjo un aumento considerable de cesantía y muchos países entraron en una etapa de bajo crecimiento económico. Este período económico estuvo marcado por una elevada inflación y una economía estancada.

³OPEP es la sigla que identifica a la Organización de Países Exportadores de Petróleo, una entidad fundada en 1960. La asociación fue creada con el objetivo de coordinar las políticas de sus integrantes referidas al petróleo, de modo tal que puedan proteger sus intereses. Fuente: <https://definicion.de/ojep/>

⁴La guerra árabe-israelí Yom Kippur de 1973, enfrentó a Israel contra Egipto y Siria. Fue la cuarta de las guerras que enfrentaron al estado hebreo con los países árabes. Fuente: <http://www.historiasiglo20.org/GLOS/yomkippur.htm>

La mayoría de los países pertenecientes a la OPEP, que se encontraban en vías de desarrollo, nacionalizaron las empresas petrolíferas y vieron como sus ingresos públicos aumentaron notablemente, sin embargo, este crecimiento se experimentó sólo a corto plazo.

Ante el aumento desorbitado del precio del petróleo y los problemas de suministro, muchos países optaron por reducir su dependencia del crudo apostando por otras fuentes de energía. Por ejemplo, Francia apostó por la energía nuclear, mientras que Estados Unidos y Canadá optaron por la quema de residuos de madera.

1.1.2. Crisis Lunes Negro. 1987

Se denomina Lunes Negro al 19 de octubre de 1987, cuando los mercados de valores de todo el mundo se desplomaron drásticamente en un intervalo de tiempo muy breve. La caída comenzó en Hong Kong, rápidamente se propagó a Europa y, por último, llegó a Estados Unidos.

Esta crisis no fue duradera, pero sí grave, pues muchos inversores intentaron vender sus acciones sin éxito, lo que acentuó aún más la crisis. Aunque sus causas son debatibles, Sotomayor (2011) menciona que el Lunes Negro se pudo haber producido por tensiones entre los países más poderosos de ese entonces o por la reciente tecnología implantada en la Bolsa de Nueva York.

La Bolsa de Nueva York se hundió por la alta oferta de venta de acciones y se dieron pérdidas de hasta un 26 % de la caída de valor. Este hecho arrastró a las bolsas europeas y japonesas creando una enorme incertidumbre ya que se desconocía lo que estaba sucediendo en el mercado.

La consecuencia más grave fue la pérdida de más de 500.000 millones de dólares, los que serían la mayoría de las ganancias obtenidas en más de 5 años de subida constante de la bolsa, desestabilizando a la mayoría de los países del mundo y causando un pánico generalizado.

1.1.3. Crisis económica en México. 1994

Durante la década de los 80 y principios de los 90, México recibió un fuerte flujo de capitales, consecuencia de un programa de estabilización y reformas estructurales. Aquellas reformas llevaron a un crecimiento económico de esta nación.

México comenzó a atraer más inversión extranjera debido a la ausencia de mayores restricciones al ingreso de capitales y las bajas tasas de interés en Estados Unidos.

La importante liberación del sistema financiero implicó un aumento del crédito de tal proporción y velocidad que superó la capacidad de los supervi-

sores de turno. La desaceleración del crecimiento económico en 1993 provocó que comenzaran a crecer los malos préstamos aumentando rápidamente la cartera irregular.

Las principales causas del crecimiento de la deuda fueron un sector financiero sin restricciones ni control sobre las tasas, bancos privatizados sin una adecuada capitalización, respaldo ilimitado a las obligaciones de los bancos y supervisión bancaria débil. Estos factores hicieron un sistema financiero muy vulnerable.

Hacia fines de 1994, la reversión del flujo de capitales condujo a una brusca devaluación del peso mexicano. La devaluación causó efectos como la inflación disparada de las tasas de interés, colapso de la actividad económica, los servicios de deuda en moneda local y extranjera aumentaron al mismo tiempo que los indicadores de capitalización de los bancos se desmoronaron.

El gobierno mexicano pidió ayuda a Estados Unidos, su principal socio después del TLCAN⁵. En enero de 1995, Estados Unidos organizó un fondo de rescate de más de 50.000 millones de dólares, salvando la economía mexicana. Sin embargo, desde 1996 la mitad de la población había caído en la pobreza, pues México debía devolver el préstamo solicitado a Estados Unidos, el cuál fue devuelto en su totalidad en 1997.

Debido a estos acontecimientos, Valle (2002) menciona que la economía mexicana sufrió la crisis más severa ocurrida desde la década de los años treinta.

1.1.4. Crisis Asiática. 1997

Durante el segundo semestre de 1997 y hasta mediados del año siguiente, los precios de las divisas, acciones y bonos de un amplio grupo de países del sudeste asiático sufrieron graves convulsiones. La crisis comenzó en Tailandia con el colapso financiero del *baht* tailandés⁶. Tras ello, hubo una salida masiva de capitales y muchas fábricas cerraron, dejando sin trabajo a miles de personas. Luego de este suceso, los problemas llegaron a Malasia, Indonesia y Filipinas. Posteriormente, la crisis afectó a Corea del Sur. Por último Taiwán, Singapur y Hong Kong, aunque a otro nivel, también sufrieron ataques especulativos y caídas bursátiles.

Según Navarro (1998), una serie de factores han sido identificados por el

⁵El Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) es una zona de libre comercio entre Canadá, Estados Unidos y México. El Tratado permite reducir los costos para promover el intercambio de bienes entre los tres países. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Tratado_de_Libre_Comercio_de_Am%C3%A9rica_del_Norte

⁶El *baht* tailandés corresponde a la moneda oficial de Tailandia. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Baht_tailand%C3%A9s.

FMI⁷, como causantes de la crisis en el Este de Asia. Estas causas corresponden a la acumulación de presiones de sobrecalentamiento de la economía, mantención de un tipo de cambio fijo por varios años, que provocó una apreciación real de las monedas, débil manejo del sistema financiero y del control del riesgo, que condujeron a un marcado deterioro en la calidad de los portafolios de los bancos, problemas de gobernabilidad e incertidumbre política, que exacerbaban la crisis de confianza de los inversionistas extranjeros, fuertes movimientos de capitales privados de corto plazo y fuga de capitales acelerada principalmente por bancos e inversionistas extranjeros.

1.1.5. Crisis Burbuja Tecnológica. 2000

Esta crisis fue producida por una desmedida especulación en el precio de las acciones de empresas de internet, llamadas en aquella época Puntocom o Dotcom⁸.

Durante los años ochenta y noventa se dió el auge de las redes, la informática y las telecomunicaciones. Por este motivo, nacieron una multitud de nuevas empresas y se transformaron muchas otras para adaptarse a los nuevos tiempos. Así nació un nuevo sector formado por empresas vinculadas a Internet.

En la segunda mitad de los años noventa comenzó a producirse enormes entradas de capital en el sector de las nuevas tecnologías. Estas empresas operaban en la NASDAQ⁹.

Entre 1997 y 2000, el índice NASDAQ se multiplicó por tres y su capitalización bursátil por seis. Por ejemplo, las acciones de *Amazon* crecieron más de un 5.000%, mientras que empresas de reciente creación llegaban a alcanzar el mismo valor bursátil que las grandes empresas tradicionales ya consolidadas.

La burbuja siguió creciendo hasta el 10 de marzo de 2000, cuando el índice NASDAQ alcanzó su máximo valor histórico, superior a los 5.000 puntos.

⁷El Fondo Monetario Internacional (FMI) promueve la estabilidad financiera y la cooperación monetaria internacional. Asimismo, facilita el comercio internacional, promueve el empleo y un crecimiento económico sostenible y contribuye a reducir la pobreza en el mundo entero. Fuente: <https://www.imf.org/es/About/Factsheets/IMF-at-a-Glance>

⁸El término relaciona una empresa con un dominio de Internet.com, que es utilizado sobre todo por empresas comerciales. La mayoría de los negocios de estas empresas son realizados a través de Internet. Fuente: <https://economipedia.com/definiciones/burbuja-de-las-punto-com.html>

⁹Corresponde a la bolsa de valores electrónica automatizada más grande de Estados Unidos. Se caracteriza por comprender las empresas de alta tecnología en electrónica, informática, telecomunicaciones, biotecnología, etc. Fuente: <https://esbolsa.com/blog/bolsa-americana/que-es-el-nasdaq/>.

En ese momento se produjo el estallido de la burbuja. El pánico de los inversores y la venta masiva de acciones provocaron la caída en picada del índice NASDAQ y pérdidas millonarias para las empresas involucradas.

Entre los años 2000 y 2003, las empresas tecnológicas perdieron un valor superior a los 5 billones de dólares y aproximadamente 5.000 de ellas se vieron obligadas a desaparecer.

Uno de los factores que ayudaron a inflar la burbuja fue la falsa creencia de que las inversiones en el sector de las nuevas tecnologías no suponían ningún peligro.

Tras el estallido de la burbuja, la economía global se vio bastante afectada, sobre todo la economía estadounidense, pues el 11 de septiembre de 2001 ocurrió el atentado a las torres gemelas. Debido a estos sucesos, desde principios de 2002, el país norteamericano entró en recesión.

1.1.6. Crisis Hipotecas *Subprime*. 2008

La crisis financiera del 2008 tuvo su origen en el problema de las hipotecas *subprime*¹⁰ de Estados Unidos y se extendió después, afectando no sólo a toda la economía de ese país, sino también a las de otras naciones, de manera principal, miembros de la Unión Europea.

Aunque en un principio las economías emergentes casi no fueron afectadas, con el paso del tiempo, las repercusiones financieras y reales de la debacle las alcanzaron.

Hasta el año 2006, Estados Unidos experimentaba un ambiente de bonanza económica, con tasas de interés muy bajas e indicadores de vivienda con alzas sostenidas. Todo esto propició un aumento de los créditos hipotecarios y la competencia de los bancos por cuotas de mercado. Hubo un relajamiento en los criterios de evaluación, permitiendo que personas con una categoría crediticia dudosa pudieran adquirir viviendas.

Al mismo tiempo, surgió un aumento de créditos hipotecarios como método de inversión, lo que correspondía a la compra de un inmueble a través de ese tipo de créditos, para una posterior venta. Como el precio de las casas iba en alza, quienes realizaban la compra con este propósito, estimaban que lograrían prepagar el crédito y de paso obtener una ganancia.

En Estados Unidos la mayoría de estos créditos fueron otorgados a una tasa mixta (fija durante 2 ó 3 años y luego variable).

¹⁰Una hipoteca *subprime* es una hipoteca de alto riesgo y que por lo general no cuenta con ningún aval, por lo que la probabilidad de que el adquirente de la hipoteca no pague su deuda, es muy elevada. Fuente: <https://www.gerencie.com/hipotecas-subprime-o-basura.html>

Los bancos, por su parte, tras otorgar estos créditos buscaron liquidez en el mercado a través de la securitización (titularizaciones) de estos créditos.

La crisis comenzó a desatarse el año 2007 debido, principalmente, al alza progresiva de las tasas de interés por parte de la FED¹¹, así como la baja en el valor de las viviendas adquiridas. Esto hizo aumentar la tasa de morosidad y el nivel de ejecuciones, y no sólo respecto de las hipotecas de alto riesgo.

En 2008 el banco de inversión *Lehman Brothers* se declaró en bancarrota, producto del éxodo de la mayoría de sus clientes, pérdidas drásticas en el mercado de valores y la devaluación de sus activos por las principales agencias de calificación de riesgos ¹².

El pánico fue generado por el colapso de esta entidad, pues era considerada demasiado grande para caer. A partir de ese momento, Estados Unidos colapsó y luego le siguió el resto de economías desarrolladas.

La crisis de las hipotecas *subprime* se desarrolló hasta poner en riesgo real de quiebra a todo el sistema financiero y además provocó la mayor recesión a nivel mundial poniendo en riesgo no sólo al sistema financiero sino también al sistema productivo de cada país.

Tras el estallido de esta crisis financiera, la debilidad en las entidades financieras permaneció latente en los años siguientes. Restricciones al crédito y problemas de liquidez fueron algunas de las consecuencias causadas por una mala gestión de riesgos por parte de estas entidades.

1.2. Comité de Basilea o Comité de Supervisión Bancaria de Basilea

El Comité de Basilea nació en 1974, a raíz de la crisis ocurrida en Alemania, específicamente en el banco Herstatt Bank¹³. Esta crisis puso de manifiesto la necesidad de gestionar de forma coordinada los problemas de las entidades de crédito que operan en mercados internacionales.

¹¹El Sistema de Reserva Federal (FED), es el modelo de sistema bancario existente en EE.UU., que se ocupa de controlar la política monetaria del país y de ejercer el poder de supervisar al resto de instituciones bancarias con el objetivo de alcanzar estabilidad. Además, puede a veces proveer de depósitos a entidades financieras o al gobierno estadounidense. Fuente: <https://economipedia.com/definiciones/sistema-de-reserva-federal-fed.html>

¹²Estos fenómenos se produjeron principalmente por el involucramiento de Lehman Brothers en la crisis de las hipotecas *subprime*, asumiendo riesgos excesivos. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Lehman_Brothers

¹³Herstatt Bank quebró a mediados 1974, producto del desarrollo de operaciones especulativas en los mercados de cambio internacionales, a través de los cuales la entidad esperaba poder compensar las pérdidas que había experimentado con anterioridad, en el desarrollo de su actividad doméstica. Vea Garrido Torres (1991)

Con el propósito de restaurar la confianza y estabilidad del sistema financiero internacional, los gobernadores de los bancos centrales de los diez principales países occidentales (G-10¹⁴) emitieron un comunicado de total respaldo a la liquidez del sistema de pagos internacionales y crearon un comité permanente con sede en Basilea, en las oficinas del Banco de Pagos Internacionales o *Bank for International Settlements* (BIS¹⁵), el cual es mundialmente conocido como el Comité de Basilea.

Durante las dos últimas décadas el Comité de Basilea ha adquirido el papel de principal foro de debate y negociación multilateral para la adopción de acuerdos internacionales en materia de estándares de supervisión de riesgos bancarios.

El Comité de Basilea brinda orientación a nivel mundial en materia de regulación financiera y el objetivo de esta entidad es fortalecer, en general, los sistemas bancarios. Para alcanzar esa meta, se fomentan normas respecto a diversos temas como blanqueo de capitales, buen gobierno corporativo, manejo del riesgo crediticio, control interno, entre otros.

Este Comité, establece los estándares globales para la regulación prudencial de los bancos y ofrece un foro de cooperación en temas de supervisión bancaria, a fin de fortalecer la regulación y supervisión de los bancos, con el propósito de mejorar la estabilidad financiera.

El trabajo de esta entidad abarca tres áreas: la primera, responde a la idea de establecer un foro apropiado para la discusión de los problemas propios de la supervisión; la segunda, consiste en la coordinación de las responsabilidades de la supervisión entre las autoridades encargadas de dicha función con el fin de asegurar una supervisión efectiva a nivel mundial; y la tercera, radica en el señalamiento de estándares de supervisión relacionados con la solvencia de las entidades financieras. Vea González (2003).

El Comité no tiene autoridad para imponer recomendaciones. Esto significa que las recomendaciones son aplicadas a través de leyes y regulaciones nacionales, antes que como resultado de una recomendación internacional del Comité, de modo que es preciso un cierto período de tiempo desde que se

¹⁴G-10 se denomina al grupo de países que acordaron participar en los Acuerdos Generales para la Obtención de Préstamos (GAB) que se instauraron en 1962, cuando los gobiernos de ocho países miembros del Fondo Monetario Internacional (FMI), Estados Unidos, Francia, Reino Unido, Italia, Japón, Bélgica, Canadá, los Países Bajos y los bancos centrales de Alemania y Suecia, facilitaron recursos al FMI. Fuente: oroyfinanzas.com/2013/04/grupo-diez-g-10-quinze-g-15/

¹⁵El Banco de Pagos Internacionales es una organización internacional que asiste a los bancos centrales y otras autoridades financieras de todo el mundo para lograr una mejor comprensión colectiva de la economía mundial, además de promover la cooperación entre ellos y apoyarles en su trabajo en pro de la estabilidad monetaria y financiera global. Fuente: https://www.bis.org/about/profile_es.pdf

aprueba una recomendación hasta que esta es aplicable a nivel mundial.

Entre los acuerdos alcanzados por el Comité de Basilea destaca, en primer lugar, el Acuerdo de Capital (Basilea I) de 1988.

Posteriormente, en el Nuevo Acuerdo de Capital (Basilea II) del 2004 se constituyeron otras disposiciones. Entre ellas destaca el llamado a los bancos a preocuparse por su solvencia y la disciplina del mercado. Esto último quiere decir que las entidades financieras deben ser transparentes al informar sobre el nivel de riesgo de sus operaciones.

Finalmente, Basilea III fue publicado en el 2010. Su aspecto más relevante es el control de riesgo sistémico. En ese sentido, se refiere a la preservación constante de reservas, tanto en recesión como en expansión económica.

A continuación se presentan en detalle, los tres acuerdos mencionados.

1.3. Principios de Basilea

1.3.1. Basilea I

Con el nombre de Basilea I se conoce al acuerdo publicado en 1988, compuesto por los gobernadores de los bancos centrales de Alemania, Estados Unidos, Francia, Japón, Reino Unido, Suiza, entre otros.

Se trataba de un conjunto de recomendaciones para establecer un capital mínimo que debía tener una entidad bancaria en función de los riesgos que afrontaba.

Este capital debía ser suficiente para hacer frente a los riesgos de crédito, mercado y tipo de cambio. El acuerdo establecía también que el capital mínimo de la entidad bancaria debía ser el 8% del total de los activos de riesgo (crédito, mercado y tipo de cambio sumados).

Dos objetivos fundamentales estuvieron presentes en la elaboración de este acuerdo: fortalecer la solidez y estabilidad del sistema financiero internacional y ser aplicado en diferentes países para disminuir las desigualdades competitivas entre bancos internacionales.

El primer acuerdo de capital de Basilea ha jugado un papel muy importante en el fortalecimiento de los sistemas bancarios. La repercusión de ese acuerdo, en cuanto al grado de homogeneización alcanzado en la regulación de los requerimientos de solvencia, ha sido extraordinaria, pues entró en vigor en más de 130 países, aunque, desde sus inicios, fue blanco de críticas como el que no tuviera debidamente en cuenta la posible reducción de riesgos mediante la diversificación, la posibilidad de que ésta hiciera que los bancos restringieran sus préstamos y su evaluación arbitraria e indiferenciada de ciertos riesgos crediticios. Vea García (2004).

La principal limitación del acuerdo de Basilea I es que es insensible a las variaciones de riesgo y que ignora una dimensión esencial: la calidad crediticia, y por lo tanto, la diversa probabilidad de incumplimiento de los distintos prestatarios. Es decir, consideraba que los créditos tenían la misma probabilidad de incumplir.

Dado que el acuerdo contenía ciertas limitaciones en su definición, en junio de 2004 fue sustituido por el llamado acuerdo Basilea II.

1.3.2. Basilea II

El propósito de Basilea II es fortalecer la solidez y estabilidad del sistema financiero internacional y promover la adopción de prácticas de administración de riesgos más fuertes en las entidades bancarias. Asimismo, busca perfeccionar el acuerdo anterior; fomentar la competencia en igualdad de condiciones; determinar el capital mínimo regulatorio en base a criterios más sensibles al riesgo que permitan alinear éste con el capital económico; mejorar la eficiencia y el rendimiento de los procesos bancarios; y, mejorar la supervisión bancaria y la transparencia de la información.

El Comité argumenta que la medida anterior de capital regulador es una medida burda de la solvencia de un banco y no refleja con veracidad el perfil de riesgo de los bancos, especialmente de aquellos internacionalmente grandes y activos. Vea Gómez (2004).

El Acuerdo de Basilea II se estructura de tres pilares:

1.3.2.1. Pilar I: el cálculo de los requisitos mínimos de capital

En este pilar, el objetivo es cuantificar el riesgo de crédito, el riesgo de mercado y el riesgo operacional. De esta forma, permiten diferentes modelos propios de evaluación de riesgos existiendo incentivos a la mejora de estos modelos.

Para el caso del riesgo de crédito se calcula a través de tres parámetros fundamentales:

- Probabilidad de incumplimiento (PI) o *Probability of Default* (PD).
- Pérdida dado el incumplimiento (PDI) o *Loss Given Default* (LGD). También se conoce como "severidad", indicando la gravedad de la pérdida.
- Exposición en el momento del incumplimiento o *Exposure At Default* (EAD).

Teniendo en cuenta, la existencia de bancos con distintos niveles de sofisticación, el acuerdo propone distintos métodos para el cálculo del riesgo crediticio.

En el método estándar, la PI y la PDI se calculan implícitamente a través de las calificaciones de riesgo crediticio publicadas por empresas especializadas (agencias de *rating*) utilizando una serie de baremos.

En cambio, los bancos más sofisticados pueden, bajo cierto número de condiciones, optar por el método de *ratings* internos avanzado, que les permite utilizar sus propios mecanismos de evaluación del riesgo y realizar sus propias estimaciones.

En relación con riesgos de mercado no incorpora modificaciones respecto al Acuerdo de Basilea I.

En el caso del riesgo operacional, el cálculo del capital se realiza a través de modelos básicos y estándar. Estos modelos están basados en porcentajes sobre los ingresos relevantes o mediante modelos de distribución de pérdidas.

El riesgo de negociación y el riesgo de tipo de cambio se siguen calculando conforme a Basilea I.

1.3.2.2. Pilar II: el proceso de supervisión de la gestión de los fondos propios

Este pilar es un proceso en el que las entidades se autoevalúan y analizan su proyección de capital, es decir, como prevén el crecimiento y como afecta a los ratios de capital.

Está basado en cuatro principios relevantes:

1. Las entidades deben tener procesos de valoración del nivel de capital adecuado en relación a su perfil de riesgo.
2. Los supervisores han de evaluar este proceso.
3. Los supervisores deberán de asegurar que las entidades tienen capital por encima del mínimo requerido por el Pilar I.
4. Deberán de existir procesos para una temprana intervención de los supervisores, con el fin de evitar que el capital caiga por debajo del mínimo exigido.

1.3.2.3. Pilar III: la disciplina de mercado

El acuerdo estableció normas de transparencia y exigió la publicación periódica de información acerca de su exposición a los diferentes riesgos y la suficiencia de sus fondos propios. El objetivo es:

1. La generalización de las buenas prácticas bancarias y su homogeneización internacional.
2. La reconciliación de los puntos de vista financiero, contable y de la gestión del riesgo sobre la base de la información acumulada por las entidades.
3. La transparencia financiera a través de la homogeneización de los informes de riesgo publicados por los bancos.

Inicialmente la información debe incluir:

- Descripción de la gestión de riesgos: objetivos, políticas, estructura, organización, alcance, políticas de cobertura y mitigación de riesgos.
- Aspectos técnicos del cálculo del capital: diferencias en la consolidación financiera y regulatoria.
- Descripción de la gestión de capital.
- Composición detallada de los elementos del capital regulatorio disponible.
- Requerimientos de capital por cada tipo de riesgo, indicando el método de cálculo utilizado.

El requisito inicial es que se publique al menos anualmente, aunque es previsible que la frecuencia será mayor y a sus contenidos mínimos se irá añadiendo la información que el mercado exija en cada momento.

1.3.3. Basilea III

Basilea III es una iniciativa de cambios regulatorios coordinados a nivel internacional que trata de dar respuesta a algunas de las insuficiencias del marco regulatorio anterior a la crisis financiera de 2007-2011. Vea Solé (2011).

En esencia, el acuerdo de Basilea III requiere capital de mayor calidad que Basilea I-II y, además, discrimina los requerimientos según el riesgo sistémico que encierran las entidades bancarias a nivel internacional. Vea Clavijo et al. (2012).

El objetivo de Basilea III es fortalecer la regulación, supervisión y gestión de riesgos del sector bancario. Estas medidas persiguen:

- Mejorar la capacidad del sector bancario para afrontar perturbaciones ocasionadas por tensiones financieras o económicas de cualquier tipo.

- Mejorar la gestión de riesgos y el buen gobierno en los bancos.
- Reforzar la transparencia y la divulgación de información de los bancos.

Tras observar que la gravedad de la crisis *subprime* se explica en gran parte debido al crecimiento excesivo de los valores presentados en los balances de los bancos (y también fuera de ellos), al mismo tiempo cae el nivel y la calidad de los fondos propios previstos para riesgos. Además, muchas instituciones no contaban con reservas suficientes para hacer frente a una crisis de liquidez.

En este contexto, el sistema bancario se mostró, en un primer momento, incapaz de absorber las pérdidas que afectaban a los productos estructurados de titulización y tuvo que asumir, por tanto, la reintermediación de algunas de las exposiciones de fuera de balance.

En el peor momento de la crisis, las incertidumbres pesaban sobre la calidad de los balances, la solvencia de los bancos y de los riesgos relacionados con la interdependencia existente entre ellos, lo cual generó una crisis de confianza. Teniendo en cuenta el papel del sistema financiero en las finanzas y en la economía real, el carácter internacional de las instituciones financieras y las pérdidas que asumen los Estados principalmente a través de los planes de rescate con fondos públicos, se consideró legítima la intervención coordinada de los reguladores internacionales.

Las reformas están dirigidas a:

- La regulación de los bancos a título individual, para aumentar la capacidad de reacción de cada institución en periodos de tensión.
- Los riesgos sistémicos que puedan acumularse en el sector bancario en su conjunto, así como la amplificación procíclica de dichos riesgos a lo largo del tiempo.

Estos dos puntos son complementarios, ya que aumentando la resistencia de cada banco se reduce el riesgo de alteraciones en el conjunto del sistema.

Basilea III no sustituye los marcos anteriores (Basilea I y Basilea II), sino los complementa con un conjunto integral de medidas, algunas de las cuales corresponden a nuevos conceptos y herramientas. Tampoco es un replanteamiento o reconstrucción de Basilea II. Basilea III simplifica y fortalece el numerador del ratio de capital e introduce algunos componentes macroprudenciales.

1.4. Ley General de Bancos (LGB)

A nivel local, los cambios producidos en la LGB, provocó que desde el 1 junio de 2019, la Comisión para el Mercado Financiero (CMF) sea la principal entidad supervisora de los mercados financieros en Chile, tras integrarse la Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras (SBIF)¹⁶ y la Superintendencia de Valores y Seguros (SVS)¹⁷.

La integración de estas entidades permite la implementación de un nuevo modelo de supervisión y regulación para buena parte del mercado financiero, con un regulador que cuente con una visión general y sistémica de todo el mercado, y otorga a la industria bancaria, una institucionalidad moderna, independiente y de carácter colegiado. Así, las entidades que eran supervisadas por la SBIF (bancos, cooperativas de ahorro y crédito de mayor tamaño, emisores operadores de tarjetas, etc.), se incorporan al perímetro regulatorio y de supervisión de la CMF. Esta integración significa que se elevarán los estándares de regulación para la industria bancaria, contribuyendo también a lograr un sistema bancario más seguro.

Esta ley lleva a Chile a cumplir con los más altos estándares internacionales en regulación prudencial a la banca, cuyo objetivo principal es disminuir las probabilidades de ocurrencia y el impacto de las crisis bancarias, las que pueden tener costos económicos y fiscales muy elevados.

La nueva ley evita las insolvencias bancarias entregando a la CMF nuevas herramientas de intervención temprana, que están especialmente diseñadas para que este regulador pueda abordar problemas incipientes de un banco, antes de que estos deriven en insolvencia. Entre las herramientas que tiene la CMF está la restricción de operaciones admisibles o la presentación de un plan de regularización temprana, en el cual el banco deberá proponer una solución a la CMF y esta deberá fiscalizar su aplicación.

Los principales cambios que incorpora la nueva ley General de Bancos (LGB):

- Adapta los requerimientos de capital de los bancos a los estándares de

¹⁶La SBIF fue una institución del Estado de Chile, autónoma, con personalidad jurídica, a quien le correspondía la fiscalización de las empresas bancarias. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Superintendencia_de_Bancos_e_Instituciones_Financieras_de_Chile

¹⁷La SVS fue una institución pública, autónoma, que fiscalizaba tanto las actividades, como a las empresas que trabajaban o participaban en el mercado de valores y seguros, de tal forma que cada uno de ellos cumpla adecuadamente: leyes, reglamentos, estatutos y todo lo que concierne a lo debido a cada tarea específica, tanto en relación al actuar propio como en relación a terceros involucrados. Fuente: rankia.cl/blog/analisis-ipsa/3517374-que-superintendencia-valores-seguros

Basilea III.

- Aumenta las herramientas que tiene disponible el regulador para hacer frente a un banco que presenta problemas financieros incipientes, de tal forma que estos puedan ser resueltos antes de que deriven en insolvencia bancaria. Por otro lado, el proyecto también aumenta la garantía estatal a los depósitos a plazo para las personas naturales, elevando la cobertura de 90 % a 100 % y aumentando el límite de 120 a 200 UF por persona, por banco.
- Contempla que la CMF asuma las funciones de la SBIF y SVS.

1.5. Comisión para el Mercado Financiero (CMF)

La Comisión para el Mercado Financiero (CMF) es un servicio público descentralizado, de carácter técnico, dotado de personalidad jurídica y patrimonio propio, que se relaciona con el Presidente de la República a través del Ministerio de Hacienda.

La CMF tiene entre sus objetivos principales velar por el correcto funcionamiento, desarrollo y estabilidad del mercado financiero, facilitando la participación de los agentes de mercado y promoviendo el cuidado de la fe pública; además de velar porque las personas o entidades fiscalizadas, desde su iniciación hasta el término de su liquidación, cumplan con las leyes, reglamentos, estatutos y otras disposiciones que las rijan.

La CMF es responsable de cumplir con las siguientes funciones:

- **Función supervisora**

Corresponde al control y vigilancia del cumplimiento de las normas legales, reglamentarias y administrativas.

- **Función normativa**

Corresponde a la potestad de la CMF, de efectuar una función reguladora, mediante la dictación de normas o instrucciones propias para el mercado y las entidades que lo integran. Es decir, establecer el marco regulador para el mercado.

- **Función sancionadora**

Corresponde a la facultad de la CMF para aplicar sanciones frente al incumplimiento o violación del marco regulador como consecuencia de una investigación.

- **Función de desarrollo y promoción de los mercados**

Corresponde a la capacidad de promover diversas iniciativas para el desarrollo del mercado, mediante la elaboración y colaboración para la creación de nuevos productos e instrumentos, mediante la difusión de los mismos.

1.5.1. Instituciones fiscalizadas por la CMF

La CMF se encarga de supervisar a distintas instituciones, como Mercado de Valores, Mercado de Seguros, Bancos, Instituciones Financieras, entre otros.

A continuación, se presentan las entidades bancarias e instituciones financieras que son fiscalizadas por la CMF:

- Entidades de Bancos e Instituciones Financieras
- Administradoras de Mandato
- Almacenes Generales de Depósito
- Asesorías Financieras
- Bancos
- Clasificadoras de Riesgos
- Cooperativas de Ahorro y Créditos
- Empresas de Auditoría Externa
- Emisores de Tarjetas de Crédito
- Empresas de *Factoring*
- Firmas Evaluadoras de Sociedades de Garantía Recíproca
- Sociedades de *Leasing* inmobiliario
- Oficinas de Bancos Extranjeros
- Operadores de Tarjetas de Crédito
- Sociedades de Apoyo al Giro Bancario
- Sociedades de Apoyo al Giro de Cooperativas



- Sociedades de Cobranzas
- Sociedades de Garantía Recíproca
- Sociedades Evaluadoras

Posterior a esta sección introductoria, se presenta el marco teórico, en el cual se define el concepto de riesgo a nivel general, donde se mencionarán distintos tipos de riesgo que se encuentran en el sector bancario. Además, se definirá en qué consiste un modelo, con el fin de explicar los conceptos de riesgo de modelos y validación de modelos. En el Capítulo 3, se menciona la normativa que existe en Chile con respecto al riesgo de crédito. En el Capítulo 4, se plantea el problema a resolver en este proyecto. En el Capítulo 5, se explica las metodologías estadísticas que se aplicarán en este proyecto. En el Capítulo 6, se dan a conocer los objetivos de este proyecto. En el Capítulo 7, se exponen los resultados obtenidos en este proyecto. En el Capítulo 8, se muestra la conclusión a la que se llegó en el presente proyecto. En el Capítulo 9, se entrega los anexos utilizados para obtener los resultados. Finalmente se presenta la bibliografía utilizada en el proyecto.



Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Riesgo

Las crisis expuestas en el capítulo anterior se provocaron por distintas situaciones ya mencionadas, pero existió un denominador común que estuvo presente en dichas crisis. La mala gestión del riesgo se hizo presente en todas las naciones involucradas en cada crisis.

Para entender en qué consiste la gestión del riesgo, en primer lugar, es necesario definir el concepto de riesgo.

García Hanson and Salazar Escobar (2005) definen al riesgo como “la probabilidad que un peligro (causa inminente de pérdida), existente en una actividad determinada durante un período definido, ocasione un incidente de ocurrencia incierta pero con consecuencias factibles de ser estimadas”.

El riesgo se puede entender como la posibilidad de que una amenaza pueda ocasionar consecuencias financieras negativas o afecte de manera adversa la consecución de los objetivos de una organización.

Una entidad existe con el fin último de generar valor para sus grupos de interés. En su día a día se enfrentan con la falta de certeza en diversos ámbitos, por lo que el reto de toda organización consiste en determinar cuanta incertidumbre se puede y se desea aceptar mientras se genera valor. Las entidades operan en ambientes donde factores como la globalización, la tecnología, los mercados cambiantes y la competencia, crean incertidumbre, la que está representada por eventos, que a su vez implican riesgos, pero que también generan oportunidades para la entidad. Un evento con impacto negativo será un riesgo que la dirección deberá acotar para permitir la generación de valor. Por el contrario, un evento con impacto positivo, puede compensar los impactos negativos y/o generar oportunidades que ayuden a la creación o maximización de valor.

Por estos motivos, es que para las organizaciones es imprescindible identificar aquellos riesgos relevantes a los cuales se puedan ver enfrentados y que conlleven un peligro para lograr los objetivos, más aún cuando la rentabilidad de su negocio está íntimamente ligada a dichos riesgos.

En particular, Olarte (2006) menciona que en el ámbito financiero una inversión tiene riesgo cuando existe la posibilidad que el inversor no recupere los fondos que ha invertido en el negocio. Las inversiones con un alto riesgo tendrán que proporcionar una mayor rentabilidad para que el inversor le compense al invertir en ellas.

Las entidades financieras deben identificar, valorar y cuantificar su exposición al riesgo, optimizando al mismo tiempo la rentabilidad, que se traslada directamente al cliente mediante unos precios más competitivos y la generación de mayores beneficios.

Los riesgos siempre van a existir, pues son inherentes a toda función, es por ello la importancia de la gestión de los riesgos para prevenirlos o, en caso de que se materialicen, mitigarlos y con ello aprender de las experiencias.

El Banco Central Europeo menciona que una cultura del riesgo sólida a escala institucional es un elemento clave para una gestión de riesgo eficiente. Uno de los requisitos previos para crear esta cultura del riesgo es la instauración de una función integral de gestión de riesgos (que abarque todos los tipos de riesgo, líneas de actividad y riesgos correspondientes) e independiente que dependa directamente del administrador responsable de la gestión de riesgos o los altos directivos (en caso de no haberse asignado esta función)¹.

Ninguna entidad (independientemente de que sea con o sin fines lucro), opera en un ambiente libre de riesgos. La gestión de riesgos no crea un ambiente sin riesgos, sino permite operar a las distintas instituciones mucho más eficientemente en un ambiente colmado de riesgos, .

Sánchez (2015) menciona que de acuerdo al marco definido en el informe COSO² II o ERM³, la gestión de riesgos está conformada por ocho componentes relacionados entre sí, los cuales se describen brevemente a continuación:

¹Para más detalles vea <https://www.ecb.europa.eu/ecb/pdf/orga/ecareport2010es.pdf>

²El Informe COSO corresponde a un conjunto de prácticas de Auditoría, las cuales están estandarizadas. Además este documento contiene las principales directivas para la implementación, gestión y control de un sistema de control. Debido a la gran aceptación de la que ha gozado, desde su publicación en 1992, el Informe COSO se ha convertido en el estándar de referencia. Fuente: <https://blogconsultorasur.wordpress.com/2011/09/06/que-es-coso/>

³COSO II o COSO ERM es un proceso continuo realizado por el personal de todos los niveles de una organización y está diseñado para identificar eventos potenciales que puedan afectar a la organización, gestionar sus riesgos dentro del riesgo aceptado y proporcionar una seguridad razonable sobre la consecución de objetivos. Además, es un facilitador del proceso de la gestión de riesgos, este permite a los administradores de las empresas operar más eficazmente en un ámbito pleno de riesgo. Vea Sánchez (2015)

- **Ambiente interno**

Abarca el entorno de una empresa, influye en cómo se establecen las estrategias y los objetivos y, cómo se estructuran las actividades del negocio.

- **Establecimiento de objetivos**

Las empresas deberán establecer los objetivos a fin de que se pueda identificar potenciales eventos que afecten a su consecución.

- **Identificación de eventos**

Está relacionado con la identificación de los eventos potenciales que de ocurrir podrían afectar a la organización, también, determina si representan oportunidades o si, podrían afectar negativamente la capacidad de la entidad para implementar la estrategia y lograr los objetivos con éxito.

- **Evaluación de riesgos**

Los riesgos deben ser analizados considerando su probabilidad e impacto como base para determinar cómo deben ser gestionados y se evalúan desde una doble perspectiva, inherente y residual. Para ello se deben considerar realizar autoevaluaciones, elaborar mapas de riesgo y distribuciones de severidad y probabilidad.

- **Respuesta al riesgo**

Una vez identificados los riesgos y establecido el nivel de significancia, la dirección selecciona las posibles respuestas - evitar, aceptar, reducir o compartir los riesgos - desarrollando una serie de acciones para alinearlos con el riesgo aceptado y las tolerancias al riesgo de la entidad.

- **Actividades de control**

Son las políticas y procedimientos que se establecen e implantan para ayudar a asegurar que las respuestas a los riesgos se llevan a cabo eficazmente.

- **Información y comunicación**

La información relevante se identifica, capta y comunica en forma y plazo adecuado para permitir al personal afrontar sus responsabilidades. Una comunicación eficiente debe producirse en un sentido amplio, fluyendo en todas las direcciones dentro de la entidad.

■ Supervisión

La totalidad de la gestión de riesgos se supervisa, realizando modificaciones oportunas cuando se necesiten. Esta supervisión se lleva a cabo mediante actividades permanentes de la dirección, evaluaciones independientes o ambas actuaciones a la vez.

2.1.1. Las Tres Líneas de Defensa para una efectiva gestión del riesgo

En la actividad bancaria, la gestión del riesgo es muy relevante en general, tratándose del riesgo de crédito, contraparte, interés, liquidez, mercado, riesgos operacionales o de reputación, para nombrar las principales categorías de riesgos. Una gestión inadecuada de los riesgos puede llevar a la quiebra de una entidad y en el caso del sector bancario, una quiebra individual tiene el potencial de generar una crisis sistémica.

Cuando una entidad cuenta con un efectivo sistema de gestión de riesgos, tiene una mirada integral que une todos los niveles dentro de una organización para anticipar y administrar mejor el riesgo.

En este sentido, el modelo de las Tres Líneas de Defensa son necesarias para todas las organizaciones. Según el Instituto de Auditores Internos las Tres Líneas de Defensa proporcionan “una manera simple y efectiva para mejorar las comunicaciones en la gestión de riesgos y control mediante la aclaración de las funciones y deberes esenciales relacionados”, Internal Auditors (2013). Por ello la importancia de la comunicación e información entre todas las áreas de una entidad, sobre todo, los objetivos y estrategias que el gobierno corporativo establezcan en la planeación. A continuación, se presentan en detalle las tres líneas de defensa.

2.1.1.1. Primera Línea de Defensa: Gestión Operativa

Como primera línea de defensa, las gerencias operativas son propietarias de los riesgos y los gestionan. Estas gerencias también son responsables de la implementación de acciones correctivas para hacer frente a deficiencias de proceso y control.

La gerencia operativa es responsable de mantener un control interno efectivo y de ejecutar procedimientos de control sobre los riesgos de manera constante en el día a día. Además, identifica, evalúa, controla y mitiga los riesgos, guiando el desarrollo e implementación de políticas y procedimientos internos que aseguren que las actividades efectuadas son consistentes con las metas y objetivos. A través de una estructura de responsabilidad distribuida

en cascada, los gerentes de nivel medio diseñan e implementan procedimientos detallados que sirven como controles y supervisan la ejecución de tales procedimientos por parte de sus empleados.

La gerencia operativa sirve naturalmente como primera línea de defensa porque los controles están diseñados dentro de los sistemas y procesos bajo su dirección como administración operacional. Deberían estar implementados adecuados controles de gestión y supervisión para asegurar su cumplimiento y para destacar excepciones de control, procesos inadecuados y eventos inesperados.

2.1.1.2. Segunda Línea de Defensa: Funciones de Gestión de Riesgos y de Cumplimiento

En este nivel la gerencia establece diversas funciones de gestión de riesgos y cumplimiento para ayudar a crear y/o monitorear los controles de la primera línea de defensa.

Las funciones específicas varían según la organización y la industria, pero las funciones típicas de esta segunda línea de defensa son:

- Una función de gestión de riesgos (y/o comité) que facilita y supervisa la aplicación de la gestión eficaz de los riesgos, prácticas de gestión operativa y dar asistencia de riesgos a los dueños en la definición del objetivo de la exposición al riesgo y la notificación adecuada de riesgos relacionados con la información en toda la organización.
- Una función de supervisar el cumplimiento de diversos riesgos específicos como el incumplimiento de las leyes y reglamentos aplicables. Como tal, la función independiente rinde cuentas directamente a los altos directivos, y en algunos sectores de actividad, directamente a los órganos de gobierno.
- La contraloría como función de monitoreo de riesgos financieros y de la información financiera.

2.1.1.3. Tercera Línea de Defensa: Auditoría Interna

Cuando hablamos de los auditores internos, hay que resaltar que los mismos proporcionan a los organismos de gobierno corporativo y a la alta dirección un aseguramiento comprensivo basado en el más alto nivel de independencia que no existe en los otros niveles y una objetividad dentro de la entidad, los auditores internos proveen aseguramiento sobre la efectividad del gobierno corporativo, la gestión de riesgos y el control interno, incluyendo la

manera en que la primera y segunda línea de defensa alcanzan sus objetivos de gestión de riesgos y control.

Es de destacar que los auditores externos se encuentran fuera de la estructura de la organización, pero ellos pueden tener un rol en la estructura general de gobierno corporativo y control de la organización, los mismos también establecen requerimientos con la intención de fortalecer los controles de la entidad y en otras ocasiones realizan una función independiente y objetiva para evaluar la totalidad o una parte de la primera, segunda o tercera línea de defensa con respecto a esos requerimientos, si existe una real y armoniosa coordinación estos pueden ser considerados como adicionales líneas de defensa.

No importa si una entidad es pequeña, mediana o grande, lo cierto es que deben existir estas líneas de defensa de manera separada, pero con una coordinación. En definitiva los procesos de riesgo y control deben ser estructurados de acuerdo con este modelo, que si se aplica efectivamente traerá muchos beneficios a una organización.

2.2. Riesgos Bancarios

En los últimos años las instituciones financieras han potenciado las áreas de riesgo con profesionales capacitados en el control y detección de posibles factores que constituyan una pérdida para estas instituciones.

En particular, el sector bancario, se encuentra en un continuo proceso de cambio que requiere importantes esfuerzos de actualización en la búsqueda de soluciones ante los nuevos desafíos, relacionados a la regulación bancaria o a empresas *startup*⁴ (*FinTech*⁵, entre otros) a los que tiene que ir haciendo frente día a día.

Las instituciones bancarias se ven constantemente enfrentadas a diversos tipos de riesgo, los cuales varían dependiendo del tipo de actividades que realicen e influyen en todas las decisiones de la organización.

⁴*Startup* se definen como “empresas de reciente creación, normalmente fundadas por emprendedores, de base tecnológica, innovadoras y con una elevada capacidad de rápido crecimiento”. Fuente: <https://advancedigital.gob.es/es/Participacion/Documents/anteproyecto-ley-startups.pdf>

⁵*FinTech* económicamente es un dominio de actividad caracterizado por la prestación de servicios financieros mediante infraestructuras basadas en tecnologías de información y comunicaciones. Por extensión, el término *FinTech* se utiliza también para designar a las empresas que ofrecen productos y servicios dentro de este dominio, comúnmente empresas tecnológicas emergentes conocidas como *Startup*”. Fuente: https://www.sbif.cl/sbifweb3/internet/archivos/publicacion_11942.pdf

Todas las actividades que realizan los bancos entrañan riesgos determinados por la estructura de sus estados de situación financiera, sus actuaciones en las relaciones con sus clientes y acreedores y su inserción en un contexto macroeconómico determinado. La identificación de los riesgos a los que está expuesta la entidad requiere una dedicación continua, dado que aparte de los factores de riesgo existentes en un determinado momento pueden aparecer otros nuevos, fruto de cambios en la situación macroeconómica y en los mercados financieros (por la aparición de nuevos productos, por cambios en el comportamiento de los clientes o competidores, etc.).

En la Figura 2.1, se presentan una clasificación de algunos tipos de riesgo que se pueden identificar en una institución financiera, dando un énfasis mayor al riesgo de crédito, en el cual está enfocado este proyecto.

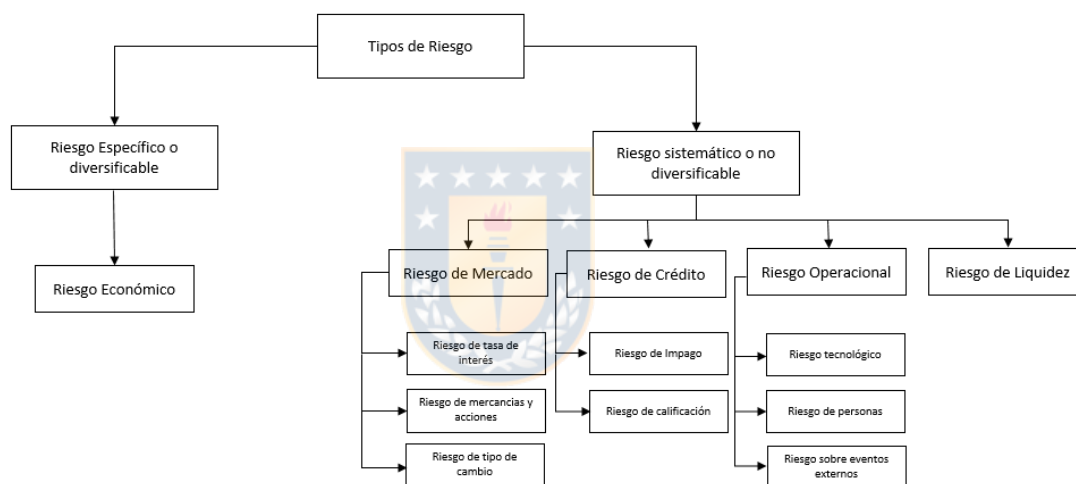


Figura 2.1: Diagrama de la clasificación de Riesgos
Fuente: Sotomayor (2012).

2.2.1. Riesgo diversificable

Gitman and Zutter (2012) mencionan que el riesgo diversificable (también conocido como riesgo específico o no sistemático) representa la parte del riesgo de un activo que se atribuye a causas fortuitas y puede eliminarse a través de la diversificación. Se atribuye a acontecimientos específicos de una empresa, como huelgas, demandas, acciones regulatoras y pérdida de una cuenta clave. El riesgo económico es un tipo de riesgo diversificable, puesto

que, depende de muchos factores dependientes de una empresa (balance de una empresa, gestión, *cash flows*⁶, perspectiva del negocio, etc.).

2.2.1.1. Riesgo Económico

Según Mascareñas (2008), el riesgo económico hace referencia a la incertidumbre producida en el rendimiento de una inversión, debido a los cambios producidos en la situación económica del sector en el que opera una empresa.

Este riesgo es una consecuencia directa de las decisiones de inversión, de manera que la estructura de los activos de la empresa es responsable del nivel y de la variabilidad de los beneficios de explotación.

Este tipo de riesgo puede producir grandes pérdidas en un corto espacio de tiempo; por ejemplo, la aparición en el mercado de una empresa con productos más avanzados y baratos puede hacer descender las ventas de otra, provocando grandes pérdidas en esta última. Además, si se produce una recesión económica, al reducirse los beneficios de las empresas también se reducen sus impuestos provocando con ello que los gobiernos centrales, autonómicos y locales vean reducida su capacidad financiera para servir a la comunidad. Así, el riesgo económico afecta a las instituciones gubernamentales de forma indirecta.

Una forma de evitarlo sería adquirir deuda pública, la cual no está sometida a este tipo de riesgo. Los activos financieros emitidos por empresas que tienen una amplia cartera de productos poco correlacionados entre sí, tendrán menos riesgo económico que los emitidos por empresas que los tienen muy correlacionados o cuya gama de productos es bastante corta. Incluso, los propios productos tienen diferentes riesgos económicos, puesto que hay bienes o servicios con demandas muy estables y otros, por el contrario, las tienen muy inestables (alta tecnología, industrias emergentes, etc.).

2.2.2. Riesgo no diversificable

El riesgo no diversificable (también conocido como riesgo sistemático) es el riesgo inherente a todo el mercado, atribuible a una combinación de factores económicos, sociopolíticos y relacionados con el mercado.

A diferencia del riesgo diversificable, el cual afecta a un grupo bastante particular de valores o incluso a un valor individual, el riesgo no diversificable afecta en una amplia gama de eventos, pues este riesgo engloba al conjun-

⁶Los *cash flows* corresponden a la acumulación neta de activos líquidos en un periodo determinado y, por lo tanto, constituye un indicador importante de la liquidez de una empresa.

to de factores económicos, monetarios, políticos y sociales que provocan las variaciones de la rentabilidad de un activo.

Gitman and Zutter (2012) menciona que este riesgo se atribuye a factores del mercado que afectan a todas las empresas y no se puede eliminar a través de la diversificación. Factores como la guerra, la inflación, el estado general de la economía, incidentes internacionales y acontecimientos políticos son responsables del riesgo no diversificable. Todas estas circunstancias pueden variar las expectativas de rentabilidad que tengan los inversores sobre los activos, que son los que en última instancia causan las variaciones en sus precios cuando se lanzan a comprarlos o a venderlos.

2.2.2.1. Riesgo de Mercado

Stupariu (2016) define al riesgo de mercado como la posibilidad de sufrir pérdidas ante movimientos adversos de los precios de los instrumentos líquidos negociados por los bancos en mercados financieros activos. En concreto, hace referencia al riesgo de posibles pérdidas de valor de un activo asociado a la fluctuación y variaciones en el mercado.

Chica et al. (2006) mencionan que la gestión de este riesgo se divide en tres actividades básicas (identificación, medición y control).

La identificación se basa en encontrar los factores que hacen que el precio de los activos financieros varíe.

La medición consiste en que el riesgo debe ser cuantificado. Para llevar a cabo esto, se utiliza el Valor en Riesgo (VaR)⁷.

Por último, en el control juega un papel determinante el Estado, pues es el encargado de vigilar, intervenir y asesorar a las instituciones financieras en la gestión del riesgo de mercado, obligándolas a mantener un adecuado margen de solvencia y, así, darle seguridad y eficiencia al sistema.

Las distintas fuentes del riesgo de mercado apuntan a situaciones extremas en los que las caídas de los precios pueden ser muy importantes y exacerbadas por expectativas de recesión y perspectivas económicas negativas asociadas a un contexto de crisis.⁸ El riesgo de mercado también está presente en condiciones normales de mercado, entendiéndose por ello movimientos diarios en situaciones de no crisis. Las expectativas de los y las operadoras que realizan todos los días las compras y ventas que constituyen “los

⁷En esta herramienta, el riesgo de mercado depende de la distribución de probabilidad a la que obedezca la rentabilidad del activo que se quiere medir, del tipo de título o activo, del monto invertido, del horizonte de tiempo en que se evalúe el riesgo y de la cantidad de títulos que componen el portafolio de inversiones.

⁸Entre las fuentes del riesgo de mercado se encuentran el aumento y pinchazo de burbujas financieras, las crisis bancarias, quiebras empresariales, factores políticos, etc.

mercados”, mueven los precios en direcciones y hacia niveles inciertos.

Sotomayor (2012) menciona que este tipo de riesgo, a su vez está constituido por otras subcategorías, que se mencionan a continuación:

■ **Riesgo de tasa de interés**

Olarte (2006) define este riesgo como “la contingencia de que ante cambios inesperados en las tasas de interés, la entidad vea disminuido el valor de mercado de patrimonio”. Para este tipo de riesgo es importante tener presente el efecto o impacto de la volatilidad, esto es la sensibilidad del precio en el mercado de un valor ante los cambios en tasa de interés del mercado.

■ **Riesgo de mercancías y acciones**

Sotomayor (2012) menciona que este tipo de riesgo refleja la variación de los precios de los activos financieros. La variación de los precios se refleja directamente en la inflación que es una variable que influye directamente en el riesgo de mercancías y acciones, es decir, la inflación genera una incertidumbre en el valor del precio final de los activos financieros.

■ **Riesgo de tipo de cambio**

Según Hinojosa and Ernst & Young (2014), el riesgo de tipo de cambio surge fundamentalmente cuando una empresa lleva a cabo actividades de exportación o importación en una moneda distinta a su moneda funcional (que generalmente suele ser la moneda del entorno económico principal en el que opera la entidad), o bien cuando mantiene saldos a cobrar o pagar (o inversiones) también en una moneda distinta a su moneda funcional. En otras palabras, dada una empresa con una moneda funcional determinada, el riesgo de tipo de cambio es el riesgo de que un cambio en el precio de una divisa extranjera impacte negativamente en:

- El valor de los activos o pasivos de la empresa (enfoque de balance).
- Los flujos de caja netos estimados correspondientes a las operaciones de la empresa.

2.2.2.2. Riesgo Operacional

BIS (2001), define al riesgo operacional como “el riesgo de pérdida directa o indirecta resultante de procesos internos, personas y sistemas inadecuados

o fallidos o de eventos externos”. Es decir, este riesgo es inherente a toda actividad en que intervengan personas, procesos y plataformas tecnológicas.

Este tipo de riesgo posee el potencial de generar millonarias pérdidas y en algunos casos llevar a la quiebra a una entidad que maneje a la perfección los riesgos de crédito, de mercado o sistémicos, pero que deje de lado el cuidado del riesgo operacional. Bajo esta perspectiva, Anziani and Giacomozzi (2015) mencionan como ejemplo el del Banco Daiwa, de Japón, que incurrió en pérdidas por USD \$1,1 billones, teniendo que declararse en quiebra debido a la mala gestión de este riesgo.

Las fuentes de posibles pérdidas que comprenden al riesgo operacional van desde errores de los sistemas informáticos u otros procesos que intervienen en el desarrollo de las actividades diarias, errores humanos (por ejemplo en el registro o seguimiento de las operaciones de negociación) o pérdidas por otros eventos como fraudes, robos, juicios y sentencias desfavorables (el riesgo derivado de juicios y otros trámites legales se trata a veces como una categoría aparte de “riesgo legal”).

En términos generales, para la clasificación del riesgo operacional, se consideran ocho líneas de negocio (finanzas corporativas, negociación y ventas, banca minorista, banca comercial, liquidación y pagos, servicios de agencia, administración de activos e intermediación minorista) y siete categorías de riesgo operacional que potencialmente impactan negativamente a cada una de esas líneas (fraude interno, fraude externo, daños en activos físicos, prácticas de los empleados, prácticas del negocio, interrupción del negocio, gestión del proceso).

A continuación, se presentan los siguientes componentes del riesgo operacional:

- **Riesgo tecnológico**

Cepparo (2007) define el riesgo tecnológico como las pérdidas potenciales de una institución como consecuencia de la materialización de una amenaza ante la vulnerabilidad de un sistema computarizado; implica la pérdida de datos debido a razones físicas o lógicas, cambio de datos sin autorización y diseminación de la información confidencial o privada mas allá de los límites autorizados. Puede provenir de factores físicos (caídas de los sistemas informáticos, desperfectos en los equipos de cómputo, etc.) errores, omisiones y mal uso de los equipos a través de la vulnerabilidad de los sistemas computarizados. Cubre en esencia aspectos de efectividad y seguridad de la información en el empleo de los sistemas computarizados.

El riesgo tecnológico ha adquirido una importancia relevante dentro de las entidades bancarias, pues una caída de los sistemas de un banco

puede traer serios perjuicios económicos e incluso si la falla pudiese ser muy prolongada, podría llevar a un banco a la quiebra.

- **Riesgo de personas**

Sotomayor (2012) menciona que el riesgo de personas es la posibilidad de pérdidas financieras asociadas con negligencias, error humano, sabotaje, fraude, robo, paralizaciones, apropiación de información sensible, lavado de dinero, inapropiadas relaciones interpersonales y ambiente laboral desfavorable, falta de especificaciones claras en los términos de contratación del personal, entre otros factores. También se puede incluir pérdidas asociadas con insuficiencia de personal o personal con destrezas inadecuadas, entrenamiento y capacitación inadecuada y/o prácticas débiles de contratación.

- **Riesgo sobre eventos externos**

Según Sotomayor (2012), el riesgo de eventos externos se remite a la posibilidad de pérdidas financieras que dependen de la ocurrencia de eventos ajenos al control de la institución, la misma que puede llegar a alterar el desarrollo normal de sus actividades, afectando a sus procesos internos, personas y tecnologías de información. Entre los factores que pueden ocurrir en este tipo de riesgo están los litigios legales, las fallas en los servicios públicos, desastres naturales atentados y actos delictivos, motines y en general fallas provistos por terceros.

2.2.2.3. Riesgo de Liquidez

El Comité de Supervisión Bancaria de Basilea define la liquidez como “la capacidad de una entidad para financiar aumentos de su volumen de activos y para cumplir sus obligaciones de pago al vencimiento, sin incurrir en pérdidas inaceptables”. Vea Basilea (2008).

En este sentido, según Capel Maiquez (2016) el riesgo de liquidez se puede expresar como “la probabilidad de obtener pérdidas por no disponer de la liquidez suficiente para cumplir con sus obligaciones de pago”.

Para el caso de este riesgo, es necesario diferenciar entre la solvencia de una entidad y la liquidez de la misma.

Vega (2015) define la solvencia como la capacidad de generar beneficios y pagar sus deudas a nivel básico; es decir, que los ingresos sean mayor que los gastos para garantizar el pago de las deudas. Si una entidad no cumple esta precondition durante un período prolongado de tiempo, estará en peligro de quebrar. Por otro lado, el riesgo de liquidez en una entidad, implica la posibilidad de no disponer de suficientes activos líquidos para

poder hacer frente a los pagos en un momento concreto. Esto no quiere decir que dicha entidad no sea solvente, sino que no dispone a tiempo, de los recursos o activos líquidos necesarios. Para ser líquido es necesario tener capital suficiente para hacer frente a las obligaciones en el momento preciso, tanto los pagos contractuales como las necesidades imprevistas de liquidez.⁹

El riesgo de liquidez se encuentra inherente a la actividad bancaria, dada la naturaleza de sus actividades, sin embargo, este riesgo había recibido menor atención que otros, puesto que hasta el 2010 la normativa existente consistía en una serie de principios no vinculantes sobre una adecuada gestión de la liquidez, tanto por parte de las entidades como de los reguladores.

A pesar de ello, en los últimos años, este hecho ha cambiado, dado que la última crisis financiera y las restricciones de liquidez provocaron que los reguladores y entidades iniciasen una reflexión profunda sobre la gestión del riesgo de liquidez, con el objetivo de garantizar la estabilidad financiera y prevenir nuevas situaciones de tensión.

2.2.2.4. Riesgo de Crédito

El riesgo de crédito es una rama de la Economía Financiera que ha despertado gran interés en profesionales de diferentes campos y las razones principales de este incremento en popularidad se pueden encontrar en la industria financiera. Vea Camara (2014).

Este riesgo tiene vital importancia en la actualidad, debido al control que están ejerciendo las agencias internacionales sobre los países en desarrollo, y por esto se ha intensificado su estudio e investigación.

Matus (2007) define al riesgo de crédito como “la probabilidad de que un deudor bancario no pueda cumplir con sus obligaciones contractuales de intereses y/o capital”.

Se puede entender al riesgo de crédito como la pérdida de dinero que es generada por la incapacidad de pagos de la contraparte involucrada. Por ejemplo, si una persona natural pide un préstamo bancario, celebra un contrato, donde establece acuerdos, pero dicha persona no puede cumplir dichos acuerdos por distintos motivos, el banco que otorgó el préstamo o el que invirtió sus flujos en bonos, es víctima de riesgo de crédito.

Además, este riesgo puede ser asumido por particulares, empresas e instituciones financieras. Si se considera que un banco otorga un crédito de consumo, existe la posibilidad de que el cliente en cuestión entre en morosidad. En el caso de un inversionista que adquiere un bono corporativo, el

⁹En el caso de entidades bancarias, podrían ser los retiros de depósitos, ejecución de las líneas de crédito concedidas, entre otros.

riesgo está en que existe la posibilidad de que el emisor no pueda pagar todos los flujos de caja prometidos.

Sobre el riesgo de crédito cae la posibilidad de incurrir en una pérdida económica de las contrapartes al no cumplir plenamente las obligaciones financieras acordadas en un contrato a su debido tiempo. El no cumplimiento de las obligaciones se puede dar por la disminución del valor de los activos de una de las partes debido al deterioro de la calidad crediticia del mismo.

En particular, el riesgo de crédito es un factor fundamental de la rentabilidad bancaria, ya que un mal manejo de esta, representa una de las causas principales del quebranto económico de un banco, y, de acuerdo con Reinhart and Rogoff (2011), las crisis bancarias suelen iniciarse cuando los problemas de riesgos de crédito se generalizan.

Caouette et al. (1998) afirman que el riesgo de crédito es el riesgo financiero más antiguo, pues citan al código de Hammurabi, en el cual se establecen una serie de normas que regulan el crédito, evidenciando constancia escrita del riesgo de crédito en la antigua Babilonia, 1800 años antes de la era común.

No obstante, a pesar de su antigüedad, el riesgo de crédito no despierta el interés en profesionales hasta mediados de la década de los setenta. Una muestra de ello es la escasez de publicaciones que existe sobre este riesgo hasta la fecha. Veá Kao (2000).

Según Saunders and Allen (2002), el creciente interés que el riesgo de crédito ha despertado en académicos, profesionales y los organismos de supervisión y control de la actividad financiera, se debe a las siguientes razones:

1. La legislación aplicable a las entidades financieras, que les obliga a tener en su estructura financiera unos recursos financieros que sean suficientes para absorber las pérdidas asociadas a los riesgos financieros a los que quedan expuestas en el desarrollo de su actividad.
2. El fenómeno de la desintermediación financiera.¹⁰
3. El incremento de la competencia entre los intermediarios financieros y, como consecuencia de ello, la reducción de los márgenes de intermediación.
4. El incremento estructural de los impagos.
5. Los cambios que han experimentado los activos que garantizan la devolución de los créditos, los cuales, en el ámbito del riesgo de crédito,

¹⁰Consiste en el establecimiento de una relación directa entre los usuarios del crédito y los proveedores de los fondos, eliminando la participación de intermediarios, logrando de esta forma, reducir los costos de transacción involucrados. Veá Contreras and Vera (2001).

reciben la denominación de colateral. En los últimos años el valor medio esperado de estos activos ha disminuido, incrementándose su dispersión.

6. El incremento, tanto en número como en cuantía, de las operaciones que no tienen representación en el balance de situación de las entidades financieras.
7. Los avances en la informática y las telecomunicaciones, los cuales facilitan el tratamiento automatizado de la información.

El riesgo de crédito cobra una gran importancia en el mundo bancario, dado que corresponde a uno de los principales motores económicos de un país. La creciente globalización y los cambios en el mercado financiero, conlleva a mejorar los mecanismos de regulación que busquen reducir este riesgo en todos los sentidos.

Todas las actividades que realiza una entidad bancaria, y que involucran un compromiso de pago, están expuestas a que la contraparte no pueda cumplir con sus obligaciones financieras en las condiciones definidas contractualmente, dando lugar a pérdidas. El incumplimiento suele estar motivado por una disminución en la solvencia de los agentes prestatarios por problemas de liquidez, pérdidas continuadas, quiebras, disminución de los ingresos, aumento de los tipos de interés y desempleo en el caso de las familias, o simplemente puede producirse por falta de voluntad de pago.

La necesidad de medir este riesgo y promover que las instituciones financieras hagan una correcta evaluación de ellos ha sido un esfuerzo de todos los bancos a nivel mundial. La mayoría de los países han establecido mecanismos de supervisión y regulación para controlar el riesgo de crédito en las instituciones. Sin embargo, a pesar de una regulación prudencial, la experiencia indica que cuando una crisis llega amenazante a la industria bancaria de un país, los fondos y las reservas que se tengan para tratar estos problemas se vuelven insuficientes para mantener la integridad del sistema.

▪ Modelos de riesgo de crédito

El motivo para crear modelos de riesgo de crédito radica en la necesidad de calcular cuánto capital económico es necesario para sustentar las actividades de toma de riesgo de un banco.

No existe un único modelo estándar para encontrar la probabilidad de *default* de una empresa, por ejemplo se puede encontrar en la literatura una amplia gama de modelos, sin que exista un claro consenso de cual es el óptimo. Esto puede deberse en parte porque no existe una teoría económica propiamente validada respecto al fracaso empresarial y en parte porque

todas las empresas son diferentes unas a otras, así como el contexto (social, económico, legal y cultural) en el que se desenvuelven. Vea Camara (2014).

Por otro lado, es especialmente relevante la data real y disponible que se tiene para la aplicación de cada modelo, ya que varios modelos no son posibles de aplicar principalmente porque no se cuenta con la información necesaria o porque no se cumplen las condiciones estadísticas y regulatorias necesarias para cada modelo.

Los modelos de riesgo de crédito, por lo general, se especifican de forma reducida con el propósito de estimar la probabilidad de incumplimiento, teniendo en cuenta la información de los balances generales de las compañías. La variable dependiente son las calificaciones de riesgo de crédito otorgadas a las empresas, por lo que es necesario emplear modelos econométricos que se ajusten a esta condición.

A la hora de modelar el riesgo crediticio es usual utilizar dos tipos de modelos: los modelos estadísticos y los modelos estructurales.

Los modelos estadísticos identifican variables entre los clientes que cumplieron sus acuerdos contractuales y los que no, con el fin de hacer un *credit scoring*¹¹ a partir de análisis econométricos. De esta manera, se obtienen conclusiones a partir de la evidencia empírica, usando métodos estadísticos, sin un fundamento teórico. Los modelos estadísticos más conocidos corresponden al indicador Z de Altman, más conocido como *Z-Score*, que ha servido de base para posteriores modelos y el modelo Logit, Ohlson (1980).

Los modelos estructurales, en cambio, se fundamentan en la teoría, es decir, ocupan principios económicos y financieros para estructurar un modelo que estime probabilidades de incumplimiento. El más conocido de estos modelos se fundamenta en la teoría de opciones de Merton (1974) que permite calcular un “índice ordinal de distancia a la insolvencia”, el cual trae aparejada una probabilidad de incumplimiento.

2.3. Modelos

Antes de entrar en conceptos importantes como el riesgo de modelos y la validación de modelos, es necesario entender en que consiste un modelo.

En palabras simples, un modelo se entiende como una representación sencilla de la realidad que a través de supuestos, argumentos y conclusiones explica una determinada proposición o un aspecto de un fenómeno más amplio.

¹¹Son todas las técnicas y modelos estadísticos que ayudan a los prestamistas para el otorgamiento de crédito principalmente de consumo. Estas técnicas deciden quién es sujeto de crédito, cuánto crédito se le otorgará y en que condiciones. Vea Dabós (2012)

Más formalmente, Reserve (2011) define un modelo como “un método cuantitativo, sistema o estrategias que aplica teorías, técnicas e hipótesis estadísticas, económicas, financieras o matemáticas para procesar datos y obtener estimaciones cuantitativas”.

Un modelo consta de tres componentes:

- La información de entrada (*input*) que necesariamente introduce hipótesis al modelo.
- El método que transforma la información de entrada en estimaciones, que en general empleará la estadística para producir estimaciones cuantitativas.
- El componente de reporte, que transforma las estimaciones en información útil para el negocio.

En los últimos años, las instituciones financieras le han otorgado una mayor importancia al uso de modelos para la toma de decisiones, que ha venido impulsada por parte de la regulación, pero que se manifiesta en todos los ámbitos de la gestión. En particular, la industria bancaria depende de la implementación de modelos, ya sea para transacciones de precios, análisis de riesgos y optimización de retornos, entre muchos otros usos.

El utilizar un modelo en las entidades bancarias proporciona una oportunidad para probar si el modelo está funcionando de manera efectiva y evaluar su rendimiento a lo largo del tiempo a medida que cambian las condiciones y aplicaciones del modelo.

Sirve como una fuente de retroalimentación productiva y conocimientos de una comunidad interna y experta con gran interés en tener modelos que funcionen bien y reflejen las realidades económicas y comerciales.

Los usuarios de un modelo pueden proporcionar valioso conocimiento del negocio durante el proceso de desarrollo. Además, los gerentes de negocios afectados por los resultados del modelo pueden cuestionar los métodos o supuestos subyacentes a los modelos, particularmente si se ven significativamente afectados y no están de acuerdo con el resultado. Tal cuestionamiento puede ser saludable si es constructivo y hace que los desarrolladores de modelos expliquen y justifiquen los supuestos y el diseño de cada modelo.

La utilización de modelos aporta beneficios importantes, entre los que se encuentran:

- La automatización en la toma de decisiones, que a su vez facilita la mejora de la eficiencia a través de la reducción de los costes asociados al análisis y la decisión manual.

- La objetividad en la toma de decisiones, garantizando que el resultado de las estimaciones sea la misma ante idénticas circunstancias.
- La capacidad de sintetizar cuestiones complejas, como el perfil de riesgo agregado de una entidad.

No obstante, la utilización de modelos también conlleva costes y riesgos, entre los que cabe mencionar:

- El coste directo en recursos (económicos y humanos) y tiempo para su desarrollo e implementación.
- El riesgo de confiar en los resultados de un modelo incorrecto o mal aplicado.

Ya se ha dicho que en la industria bancaria, es esencial utilizar modelos; aunque si un modelo sobre el cual se toman decisiones parte de la premisa incorrecta, o los datos usados son inadecuados, o el modelo es utilizado para tomar decisiones en ámbitos para lo cual el modelo no ha sido diseñado, podrían generar pérdidas financieras o afectar la reputación de la entidad. En el punto 2.3.2 se profundizará en este tema.

2.3.1. Proceso de Modelamiento

El proceso de modelamiento es vital para el éxito de una organización. Las características principales que debe tener un proceso de modelamiento es que debe ser ordenado y estandarizado, pues estas características son fundamentales para el crecimiento de una empresa. Existen distintos tipos de procesos, entre los que se encuentran el SEMMA¹² o el CRISP-DM¹³, entre otros.

Dado la necesidad de comprender en que consiste el proceso de modelamiento de forma general, a continuación se presenta el proceso KDD (*Knowledge Discovery in Databases o Descubrimiento del Conocimiento en Bases de Datos*).

¹²La metodología SEMMA se encuentra enfocada especialmente en aspectos técnicos, excluyendo actividades de análisis y comprensión del problema que se está abordando. Fue propuesta especialmente para trabajar con el software de minería de datos de la compañía SAS. Vea Moine et al. (2011).

¹³CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining), es un modelo de proceso de minería de datos que describe una manera en la que los expertos en esta materia abordan el problema. CRISP-DM incluye un modelo y una guía, estructurados en seis fases, algunas de las cuales son bidireccionales, es decir que de una fase en concreto se puede volver a una fase anterior para poder revisarla, por lo que la sucesión de fases no tiene porqué ser ordenada desde la primera hasta la última. Vea Galán Cortina (2016).

El KDD se refiere al proceso global de descubrimiento del conocimiento útil de los datos. Grinstein et al. (2002) definen el KDD como “el proceso no trivial de identificar patrones válidos, novedosos, potencialmente útiles y comprensibles a partir de los datos.”

Lagla et al. (2019) mencionan que el término proceso implica que KDD consta de muchos pasos, que involucran preparación de datos, búsqueda de patrones, evaluación del conocimiento, y refinamiento, todo repetido en múltiples iteraciones. Mientras que no trivial quiere decir que se trata de una búsqueda o inferencia, es decir, no es un cálculo directo de cantidades predefinidas como calcular el valor promedio de un conjunto de números.

Los patrones descubiertos deben ser válidos en nuevos datos con cierto grado de certeza. También queremos que los patrones sean novedosos (al menos para el sistema, y preferiblemente para el usuario) y potencialmente útil, es decir, conducir a algún beneficio para el usuario/tarea. Finalmente, los patrones deben ser comprensibles, si no inmediatamente, después de algún post-procesamiento.

El cumplimiento de los pasos del proceso KDD permite llegar a modelos con un mejor desempeño y evita incurrir en errores de modelación.

Bravo et al. (2010), explica los pasos del proceso KDD a través de la figura 2.2.

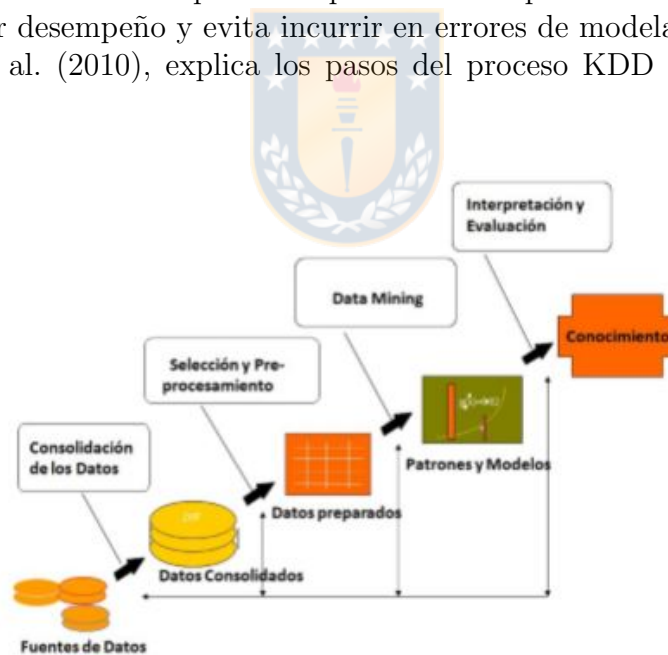


Figura 2.2: Proceso KDD
Fuente: Bravo et al. (2010)

- **Consolidación de datos**

Para poder comenzar a analizar y extraer información útil de los datos es preciso, en primer lugar, disponer de ellos. Esto en algunos casos puede parecer trivial, partiendo de un simple archivo de datos, sin embargo en otros, es una tarea muy compleja donde se debe resolver problemas de representación, de codificación e integración de diferentes fuentes para crear información homogénea.

- **Selección de atributos**

Para la construcción de modelos de clasificación se desea utilizar la menor cantidad de atributos posibles de manera de obtener un resultado considerado aceptable por el analista. Sin embargo, el problema radica en la elección y el número de atributos a seleccionar, debido a que esta elección determina la efectividad del modelo de discriminación construido. Este problema se conoce como selección de atributos y es combinatorial en el número de atributos originales

- **Pre-procesamiento de datos**

El propósito fundamental de esta fase es el de manipular y transformar los datos en bruto, de manera que la información contenida en el conjunto de datos pueda ser descubierta. En esta etapa se consideran pasos como limpieza de datos ausentes o incorrectos, reducción de la información y transformación de los datos con el fin de adecuarlos al método de minería de datos.

- **Aplicación del método de minería de datos**

La aplicación de un algoritmo de aprendizaje tiene como objetivo extraer conocimiento de un conjunto de datos y modelar dicho conocimiento para su posterior aplicación en la toma de decisiones.

- **Interpretación y evaluación**

En esta etapa se realizan distintas pruebas como análisis de sensibilidad y validación con distintas muestras para probar la robustez del modelo, así como la interpretación de los patrones minados.

En todas las etapas del proceso KDD es fundamental la cooperación con un experto del negocio.

2.3.2. Riesgo de Modelos

Existe una creciente necesidad de que las instituciones financieras cuenten con modelos sólidos que puedan medir y controlar con precisión el riesgo, detectar y prevenir de manera proactiva el fraude y evaluar de manera efectiva la reserva de capital, debido a que el fallo de un modelo puede ser catastrófico para la situación financiera de una empresa.

En este contexto, el riesgo de modelo es un tipo de riesgo que ocurre cuando un modelo financiero utilizado para medir los riesgos o las transacciones de valor de una empresa falla o tiene un desempeño inadecuado.

Reserve (2011) define el riesgo de modelo como “el conjunto de posibles consecuencias adversas derivadas de decisiones basadas en resultados e informes incorrectos de modelos, o de su uso inapropiado”.

El riesgo de modelos tiene gran relevancia en la actualidad. En los últimos años, se ha convertido en una alta prioridad para los bancos y las instituciones financieras, ya que los reguladores observan más de cerca cómo las organizaciones construyen, aprueban y mantienen los modelos. sin embargo, el uso de modelos incorrectos puede provocar grandes daños. Es por eso que desde la última crisis financiera de la década pasada, los reguladores han estado examinando cómo los bancos construyen, aprueban y mantienen modelos, y solicitan evidencia de que estos están administrando efectivamente el riesgo del modelo.

Rodríguez and Ariza (2015) mencionan algunos ejemplos de problemas comunes que pueden generar el riesgo de modelo, los cuales se presentan en el cuadro 2.1.

Datos	<ul style="list-style-type: none"> - Errores en la definición de los datos - Errores en el mapeo de los datos con las fuentes de información - Periodicidad de alimentación insuficiente - Problemas provenientes del aprovisionamiento de los datos - Precisión de los <i>proxies</i> (margen de error) - Muestra Insuficiente - Insuficiencia de profundidad histórica - Ausencia de variables críticas
Estimación	<ul style="list-style-type: none"> - Incertidumbre en los estimadores - Falta de reflejo o adecuación de la realidad - Hipótesis matemáticas inadecuadas - Elevada sensibilidad de los ajustes expertos - Uso de parámetros no observables - Ausencia de consenso de mercado - Dificultades computacionales - No utilización de intervalos de confianza - Modelo desactualizado por descalibración de parámetros - Ajustes expertos no actualizados - Variables sin capacidad discriminante - Falta de documentación exhaustiva - Capacidades analíticas insuficientes - Utilización de metodologías novedosas sin soporte académico
Uso	<ul style="list-style-type: none"> - Uso del modelo con fines para los que no fue diseñado - Divergencias entre usos regulatorios y de gestión - Extensión del alcance de uso del modelo - Falta de uso efectivo del modelo en la práctica - Modelos no reestimados ni recalibrados en largos períodos - Introducción de cambios no aprobados en el modelo - Diferencias en la definición y usos entre las áreas comerciales y riesgos - Reducida credibilidad del modelo por parte del usuario

Cuadro 2.1: Problemas que generan riesgo de modelo
Fuente: Rodríguez and Ariza (2015)

Al analizar todos estos problemas, se entiende que las entidades financieras siempre estarán sometidas a errores humanos y tecnológicos, tanto en el diseño, como en la carga de datos o en la interpretación de los mismos, de ahí la importancia de las tres líneas de defensa (mencionadas en el ítem 2.1.1) en la elaboración de los modelos, la validación, el uso y la necesidad de ser revisados todos estos procesos por la función de auditoría interna.

Un conocido ejemplo de riesgo de modelo, es el caso denominado “Ballena de Londres”. Este acontecimiento fue un escándalo financiero que ocurrió el año 2012.

La “Ballena de Londres” era el apodo de Bruno Iksil, un *trader*¹⁴ francés de una unidad de JPMorgan¹⁵ en Londres que causó pérdidas de unos 3.600 millones de euros para el banco, debido a las inversiones fallidas en derivados.

Estas pérdidas fueron producidas por un modelo VaR que contenía errores de fórmula y operativos.

En respuesta, el director de inversiones del banco hizo ajustes al modelo VaR, pero debido a un error de hoja de cálculo en el modelo, se permitió que las pérdidas se acumularan sin señales de advertencia del modelo.

Los reguladores acusaron a JPMorgan de carecer de sistemas de controles internos, así como de no informarle a su consejo de administración y a los reguladores sobre las deficiencias en sus sistemas de gestión de riesgos que habían sido identificadas por la dirección.

La pérdida ascendió a más de US\$ 6 mil millones para JP Morgan Chase lo que provocó una serie de investigaciones para examinar los sistemas de gestión de riesgos y los controles internos de la empresa. Finalmente, JPMorgan Chase acordó pagar US\$ 920 millones en multas.

Debido a problemas como el recién mencionado, es que las instituciones financieras se han dado cuenta de que la gestión de riesgo de modelo es una función importante para que el negocio sea sustentable.

La gestión del riesgo de modelo debe implicar un cambio en la cultura y en la adopción de mejores prácticas para medir y mitigar los impactos generados por la mala implementación de un modelo.

Con un adecuado desarrollo e implementación de modelos, además de la gestión efectiva del ciclo de validación y un proceso bien definido basado en una fuerte estructura de políticas, controles y gestión de gobierno se puede construir una fuerte estructura de gestión de riesgos que obedezca a los objetivos estratégicos de la organización.

¹⁴Los traders son tanto profesionales que trabajan en una institución financiera o una corporación por un salario o bono acordado contractualmente, como individuos independientes. Compran y venden los instrumentos financieros operados en los mercados bursátiles, los mercados de derivados y los mercados de productos básicos, que comprenden las bolsas de valores, los mercados de derivados y las bolsas de productos básicos. Muchos nuevos inversionistas recurren al mercado Forex con la esperanza de hacer una súbita fortuna. Fuente: <https://esfbs.com/glossary/trader-37>

¹⁵JPMorgan es una compañía financiera global que proporciona una amplia gama de servicios de banca mayorista, de banca de inversión y de acceso a mercados a empresas, gobiernos, instituciones financieras y clientes particulares en todo el mundo. Fuente: <https://www.jpmorgan.com/jpmpdf/1158585942310.pdf>

2.3.3. Validación de Modelos

La validación de modelos juega un papel fundamental dentro del marco de gestión del riesgo de modelos.

Reserve (2011) define la validación de un modelo como “el conjunto de procesos y actividades destinados a verificar de forma independiente que los modelos funcionan como se espera, en línea con sus objetivos de diseño y usos comerciales”.

La validación de modelos busca emitir una opinión técnica de carácter independiente cuyo alcance no solo incluye aspectos teóricos o metodológicos sino, también, sistemas tecnológicos y calidad de los datos en los que se apoya su funcionamiento efectivo, es decir, incluye todos los aspectos relevantes en la gestión: controles, *reporting*, usos, implicación de la alta dirección, entre otros.

Una entidad financiera debe determinar el sistema de validación, cuya finalidad es comprobar que las variables fundamentales en la medición del riesgo de crédito y las medidas de dicho riesgo que proporciona a priori el sistema de medición del riesgo de crédito coinciden con los valores empíricos que éstas presentan a posteriori, las cuales, lógicamente, a priori no son observables.

Los sistemas de validación pueden clasificarse de dos maneras distintas (sistema de validación interna y regulatoria). A continuación, se presenta una figura que explica en que consiste cada sistema de validación:

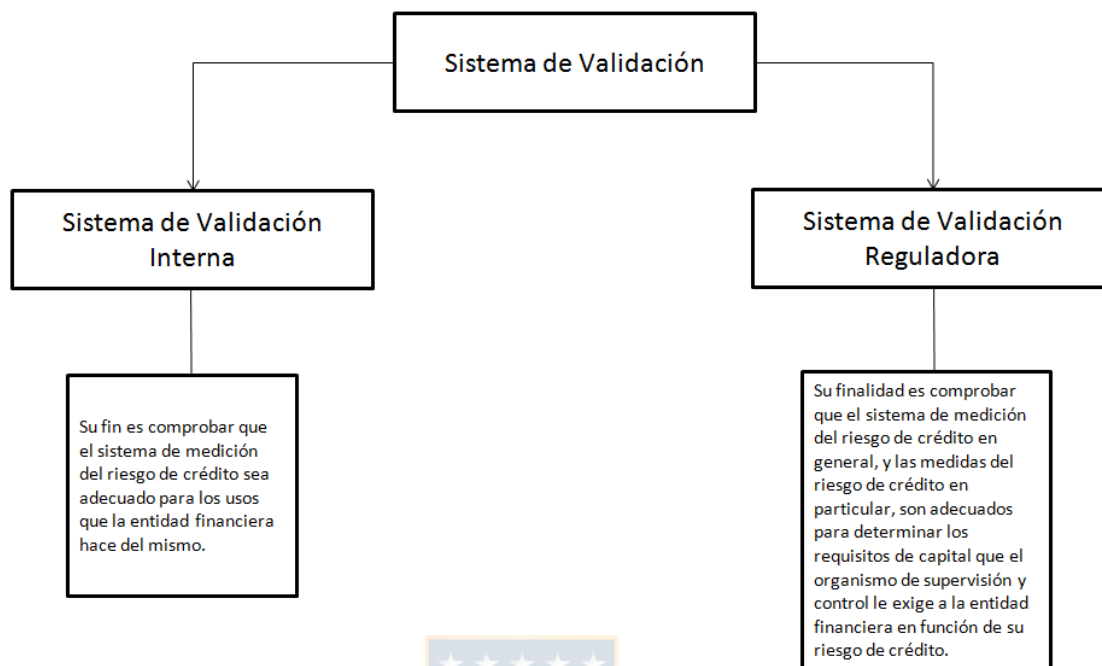


Figura 2.3: Sistemas de validación
Fuente: Elaboración propia

Con independencia de cuál sea su finalidad, estos sistemas están compuestos por estrategias, políticas, normas, procedimientos, reglas, métodos y modelos de validación.

En este contexto, Scandizzo (2016) menciona seis principios básicos de la validación interna, proporcionados por el Comité de Basilea:

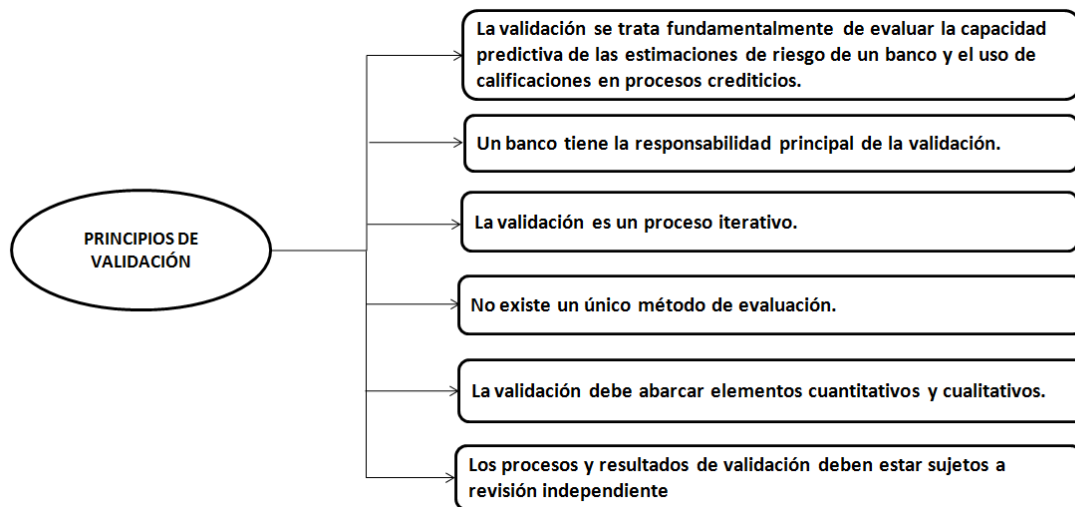


Figura 2.4: Principios de Validación
Fuente: Elaboración propia

■ Proceso de Validación

El proceso de validación de un modelo está destinado a proporcionar un desafío real para el desarrollo, implementación y uso de cada modelo. Además, forma parte integral del ciclo de vida de un modelo. Las actividades de validación ocurren en dos etapas a lo largo de este ciclo de vida del modelo en dos tipos designados de validaciones (validación inicial y regular), respectivamente (como se muestra en la Figura 2.5):.

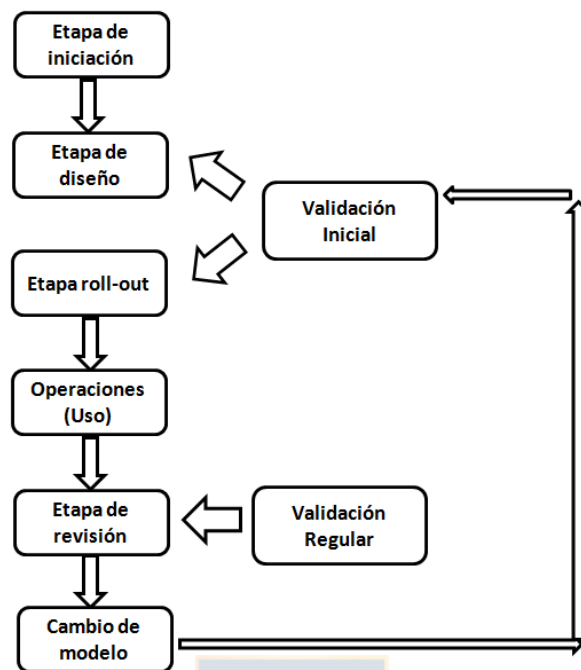


Figura 2.5: Ciclo de Validación
Fuente: Scandizzo (2016)

1. **Validación Inicial:** Corresponde a una Validación independiente de principio a fin de las etapas de inicio, diseño y *roll-out*.
2. **Validación Regular:** Este tipo de validación se refiere a los modelos que ya están siendo empleados activamente en las operaciones. Su objetivo es realizar una evaluación independiente y complementar, cuando sea necesario, las actividades de revisión periódicas realizadas por el propietario del modelo.
3. **Etapa de Iniciación:** Las actividades que deben realizarse antes de que comience el diseño efectivo del modelo. Las actividades en esta etapa incluyen la definición de la medida del riesgo que se va a modelar y estimar, la identificación de los usos previstos de la medida de riesgo, la identificación de los requisitos comerciales y los requisitos técnicos (infraestructura), así como los requisitos reglamentarios, si los hay.
4. **Etapa de diseño:** El diseño de la metodología (incluida la definición de supuestos) y desarrollo de un prototipo (codificación o implementación

en un entorno de software) que servirá para producir estimaciones de la medida de riesgo.

5. **Etapa *roll-out*:** Tanto el *roll-out* en la infraestructura técnica (es decir, procesos de datos de entrada, salida / procesos de informes) y la implementación en la organización (es decir, producción y distribución de manuales de usuario, capacitación de usuarios, etc.) se consideran aquí. También asegura que el modelo sea consistente y adecuadamente integrado dentro de los procesos de negocio y los resultados del modelo sean utilizados adecuadamente.
6. **Operaciones:** El uso regular del modelo (por ejemplo, diariamente / mensualmente / anualmente) por parte de los usuarios (ya sean usuarios de las unidades de negocio o de las unidades de gestión de riesgos).
7. **Etapa de revisión:** Todas las actividades de revisión que deben llevarse a cabo en el modelo de forma regular (diaria, mensual o anual) para evaluar y garantizar la adecuación de los modelos y las estimaciones de riesgo con respecto a los requisitos descritos en la etapa de iniciación. Esta etapa proporciona un ciclo de retroalimentación a las etapas de Iniciación y Diseño.

Las responsabilidades de una unidad de validación no se limitan a una revisión de calidad de un modelo después del desarrollo o cada vez que sufre cambios, sino que abarcan todas las decisiones y suposiciones de desarrollo del modelo, así como la forma en que un modelo se implementa en la organización. Las opiniones y recomendaciones independientes expresadas por una unidad de validación deben considerarse al mismo nivel que las de auditoría interna, y debe ser responsabilidad del propietario del modelo implementarlas o demostrar que no afectan el desempeño del modelo.

Capítulo 3

Normativa Local

Los bancos deben evaluar constantemente la totalidad de sus carteras, con la finalidad de tener una constante evaluación de estas, que permita constituir de manera oportuna las provisiones necesarias y suficientes para cubrir futuras pérdidas asociadas a los créditos entregados por el banco.

En este contexto, el compendio de normas contables de la CMF menciona que: “Los bancos deben mantener permanentemente evaluada la totalidad de su cartera de colocaciones y sus créditos contingentes. [...] Para ese efecto, se deberán utilizar los modelos o métodos de evaluación que sean más apropiados para el tipo de cartera u operaciones que realicen”¹.

Para cumplir esta norma, existen dos métodos de evaluación que corresponden a la evaluación individual y la evaluación grupal.

3.1. Evaluación Individual

La evaluación individual de los deudores es necesaria cuando se trate de deudores y/o clientes que por su tamaño, complejidad o nivel de exposición con la entidad, se requiera conocerlas y analizarlas en detalle.

Como es natural, el análisis de los deudores debe centrarse en su calidad crediticia, dada por la capacidad y disposición para cumplir con sus obligaciones, mediante información suficiente y confiable, debiendo analizarse también sus créditos en lo que se refiere a garantías, plazos, tasas de interés, moneda, reajustabilidad, etc.

Para efectos de constituir las provisiones, los bancos deben primeramente evaluar la calidad crediticia y encasillar a los deudores y sus operaciones

¹Vea Compendio de Normas Contables. Capítulo B-1. Fuente: https://www.sbif.cl/sbifweb3/internet/archivos/norma_6545_1.pdf

referidas a colocaciones y créditos contingentes, en las categorías que le correspondan, previa asignación a uno de los siguientes tres estados de cartera: Normal, Subestándar y en Incumplimiento, que se mencionan a continuación.

3.1.1. Cartera Normal

La Cartera Normal comprende a aquellos deudores cuya capacidad de pago les permite cumplir con sus obligaciones y compromisos, y no se visualiza, de acuerdo con la evaluación de su situación económico-financiera, que esta condición cambie.

3.1.2. Cartera Subestándar

La Cartera Subestándar incluirá a los deudores con dificultades financieras o empeoramiento significativo de su capacidad de pago y sobre los que hay dudas razonables acerca del reembolso total de capital e intereses en los términos contractualmente pactados, mostrando una baja holgura para cumplir con sus obligaciones financieras en el corto plazo.

3.1.3. Cartera en Incumplimiento

La Cartera en incumplimiento incluye a los deudores y sus créditos para los cuales se considera remota su recuperación, pues muestran una deteriorada o nula capacidad de pago. Forman parte de esta cartera los deudores que han dejado de pagar a sus acreedores (en *default*) o con indicios evidentes de que dejarán de hacerlo, así como también aquellos para los cuales es necesaria una reestructuración forzosa de sus deudas, disminuyendo la obligación o postergando el pago del principal o los intereses y, además, cualquier deudor que presente un atraso igual o superior a 90 días en el pago de intereses o capital de algún crédito.

3.2. Evaluación Grupal

Las evaluaciones grupales resultan pertinentes para abordar un alto número de operaciones cuyos montos individuales son bajos y se trate de personas naturales o de empresas de tamaño pequeño. Dichas evaluaciones, así como los criterios para aplicarlas, deben ser congruentes con las efectuadas para el otorgamiento de los créditos. Para determinar las provisiones, las evaluaciones grupales de que se trata requieren de la conformación de grupos de

créditos con características homogéneas en cuanto a tipo de deudores y condiciones pactadas, a fin de establecer, mediante estimaciones técnicamente fundamentadas y siguiendo criterios prudenciales, tanto el comportamiento de pago del grupo de que se trate como de las recuperaciones de sus créditos incumplidos.

Los bancos podrán utilizar dos métodos alternativos para determinar las provisiones de los créditos minoristas que se evalúen en forma grupal.

■ **Método 1**

Se recurrirá a la experiencia recogida que explica el comportamiento de pago de cada grupo homogéneo de deudores y de recuperación por la vía de ejecución de garantías y acciones de cobranza cuando corresponda, para estimar directamente un porcentaje de pérdidas esperadas que se aplicará al monto de los créditos del grupo respectivo.

■ **Método 2**

Los bancos segmentarán a los deudores en grupos homogéneos, según lo ya indicado, asociando a cada grupo una determinada probabilidad de incumplimiento y un porcentaje de recuperación basado en un análisis histórico fundamentado.

En ambos métodos, las pérdidas estimadas deben guardar relación con el tipo de cartera y el plazo de las operaciones.

Cuando se trate de créditos de consumo, no se considerarán las garantías para efectos de estimar la pérdida esperada. Sin perjuicio de lo anterior, en la medida en que la CMF disponga de metodologías estándar, los bancos deberán reconocer provisiones mínimas de acuerdo con ellas.

El uso de esta base mínima prudencial para las provisiones, en ningún caso exime a las instituciones financieras de su responsabilidad de contar con metodologías propias para determinar provisiones que sean suficientes para resguardar el riesgo crediticio de cada una de sus carteras, debiendo por tanto disponer de ambos métodos.

La constitución de provisiones se efectuará considerando el mayor valor obtenido entre el respectivo método estándar y el método interno. En el caso de uso de los métodos internos evaluados y no objetados, la constitución de provisiones se efectuará de acuerdo con los resultados de su aplicación.

Los bancos deberán distinguir entre las provisiones sobre la cartera normal y sobre la cartera en incumplimiento, y las que resguardan los riesgos de los créditos contingentes asociados a esas carteras.

3.2.1. Metodologías Estándar de provisiones para cartera grupal

Estas metodologías son determinadas por el Supervisor Bancario (CMF) y los Bancos deben utilizarla sin excepción.

Las metodologías estándar, establecen las variables y parámetros que determinan el factor de provisión de cada tipo de cartera que se ha definido como representativa, de acuerdo a las características comunes que comparten las operaciones que las conforman. En cada caso, el factor de provisión estará representado por la pérdida esperada.

3.2.2. Pérdida Esperada

Según Press and Wilson (1978), la pérdida esperada se puede definir como “el monto de capital que podría perder una institución como resultado de la exposición crediticia en un horizonte de tiempo dado”.

La pérdida esperada representa un valor promedio de las pérdidas previsibles por riesgo de crédito en un año desde un punto de vista económico.

La pérdida esperada es resultante de la probabilidad de incumplimiento, el nivel de exposición en el nivel de incumplimiento y la severidad de la pérdida. Se calcula de la siguiente manera. Vea Cardona (2004):

$$PE = PI \times PDI \times EAD, \text{ donde}$$

PI (%): Probabilidad de Incumplimiento en un período dado.

PDI (%): Pérdida dado el Incumplimiento o Severidad: Es el porcentaje de la cantidad expuesta que la entidad pierde si los deudores incumplen sus obligaciones.

EAD (unidad monetaria): Exposición en el momento de incumplimiento: Es el monto de los activos expuestos al incumplimiento.

3.2.2.1. Probabilidad de Incumplimiento (PI)

La “Probabilidad de Incumplimiento” (tasa de *default*) es uno de los parámetros críticos considerados por las instancias de evaluación crediticia de las instituciones financieras (comités de crédito) al momento de definir la aprobación y las condiciones de crédito aplicables (monto, tasa, plazo y garantías) a una solicitud de financiamiento.

Trejo García et al. (2016), definen la PI como “la medida de qué tan probable es que un acreditado deje de cumplir con sus obligaciones estipuladas en el contrato crediticio”.

Su mínimo valor es cero, lo cual indica que es imposible que un acreditado incumpla con sus obligaciones, mientras que su valor máximo es uno, cuando es seguro que el acreditado incumpla.

En el Compendio de las Normas Contables de la CMF, se menciona que un deudor es incapaz de honrar sus obligaciones en los siguientes casos²:

- Atraso igual o superior a 90 días en el pago de intereses o capital de algún crédito.
- Se les otorgue un crédito para dejar vigente una operación que presentaba más de 60 días de atraso en su pago.
- Hayan sido objeto de reestructuración forzosa o condonación parcial de una deuda.

En cuanto al horizonte temporal, su medición es de 12 meses, considerando una frecuencia de observaciones mensuales. Para los créditos con meses de gracia o prórroga contractual en el pago de cuotas, a dicho horizonte se adicionará el número de meses que se utiliza en esa modalidad.

Además, la CMF menciona lo siguiente con respecto a la estimación de la PI:

- Independiente del tipo de algoritmo, método o modelo utilizado para la estimación, las observaciones de los deudores y/o sus créditos que no estén presentes en algún período del horizonte temporal mencionado anteriormente, son ajustadas a fin de que no exista una sub-estimación del incumplimiento de pago. En caso que la estimación de este parámetro se obtenga mediante el cálculo de tasas de incumplimientos, el ajuste consiste en ponderar las observaciones sin incumplimientos por la proporción de meses en que efectivamente los deudores y/o sus créditos fueron considerados, en relación con la ventana temporal de 1 año.
- En caso de efectuar ponderaciones en la estimación de la componente PI, con el fin de dar mayor peso a ciertos periodos de tiempo, esta no puede distorsionar la perspectiva tendencial o de largo plazo que posee dicho componente.
- En el caso que la entidad utilice la componente PI obtenida directamente de sus modelos de admisión y/o comportamiento, dichos mode-

²Vea Compendio de Normas Contables. Capítulo B-1. Numeral 3.2. Fuente: https://www.sbif.cl/sbifweb3/internet/archivos/norma_6545-1.pdf

los consideran en las etapas de desarrollo, seguimiento y validación, lo señalado en el Anexo del Compendio de Normas Contables de la CMF³.

En general, cuanto mayor es la probabilidad de incumplimiento, mayor es la tasa de interés que el prestamista le cobrará al prestatario. Los acreedores generalmente quieren una tasa de interés más alta para compensar la rentabilidad mayor del riesgo de incumplimiento.

Cuanto más corto es el plazo, menor es la probabilidad de impago, puesto que hay menos tiempo para que sucedan eventos adversos que puedan deteriorar la situación financiera de la empresa.

Para el cálculo de la probabilidad de incumplimiento, existen diferentes metodologías estadísticas con las que es posible predecir, según las características del cliente, la probabilidad de llegar a la altura de mora definida previamente como incumplimiento, en un período dado. Algunas de las metodologías más utilizadas en el sector bancario corresponden a regresión logística, redes neuronales, árboles de decisión, entre otros.

3.2.2.2. Pérdida dado el Incumplimiento (PDI)

Van Berkel and Siddiqi (2012) definen la pérdida dado el incumplimiento (PDI) como la pérdida para un prestamista cuando una contraparte no paga. Esta pérdida se puede entender como la cantidad de dinero que un banco u otra institución financiera pierde cuando un prestatario no cumple con un préstamo, representado como un porcentaje de la exposición total al momento del incumplimiento. Además, es de interés natural para los inversores y prestamistas que desean estimar posibles pérdidas crediticias.

Es uno de los parámetros fundamentales para que los bancos puedan estimar con el fin de medir el riesgo de crédito bajo el enfoque basado en calificaciones internas (IRB⁴), basado en el acuerdo de Basilea II.

La PDI representa la pérdida en términos relativos, es decir, es el porcentaje de pérdida que finalmente se produce. Se suelen incluir los costes del proceso recuperatorio y los costes de oportunidad por retrasos en tiempo de la recuperación. En esta línea, los factores que afectan a este parámetro son: el valor actual del coste de la recuperación, la proporción del impago recuperada, la recuperación del proceso de recuperación, tipo de interés empleado en el cálculo del valor actual y el *rating* del prestatario.

³Vea Compendio de Normas Contables. Capítulo B-1. Anexo N°1. Fuente: https://www.sbif.cl/sbifweb3/internet/archivos/norma_6545_1.pdf

⁴El IRB (Internal ratings-based) permite que los bancos pueden usar sus propios parámetros de riesgos estimados para calcular el capital regulatorio, es decir, permite a los bancos evaluar su riesgo de crédito utilizando sus propios modelos. Fuente: http://bis2information.org/content/Internal_Rating_Based_Approach_IRB

La PDI depende de dos elementos:

- Cuanto espera recuperar el banco del prestatario por unidad de exposición.
- Exposición del banco al prestatario en el momento del incumplimiento.

Las estimaciones precisas de las pérdidas potenciales son esenciales para una asignación eficiente de capital regulatorio y económico y para determinar el riesgo de crédito de los instrumentos de deuda. Por lo tanto, los bancos pueden obtener una ventaja competitiva al mejorar sus pronósticos internos de PDI.

3.2.2.3. Exposición en el momento de Incumplimiento (EAD)

La Exposición en el momento de Incumplimiento (EAD) es un parámetro utilizado en el cálculo del capital económico o capital regulatorio bajo Basilea II para una institución bancaria.

Scandizzo (2016) menciona que Basilea (2006) define a la EAD como el tamaño de la exposición al riesgo de crédito que el banco espera enfrentar, suponiendo que las condiciones de recesión económica ocurran dentro de un horizonte temporal del año y el prestatario asociado no cumple con sus obligaciones dentro de ese horizonte.

Es decir, la EAD es la cantidad de pérdida que un banco puede enfrentar debido al incumplimiento.

Dado que el incumplimiento ocurre en una fecha futura desconocida, esta pérdida depende del monto al que el banco estuvo expuesto al prestatario en el momento del incumplimiento. En el caso de un préstamo a plazo normal, el riesgo de exposición puede considerarse pequeño debido a su calendario de pago fijo. Esto no es cierto para todas las demás líneas de crédito (por ejemplo, garantía, sobregiro, carta de crédito, etc.). El prestatario puede recurrir a estas líneas de crédito dentro de un límite establecido por el banco a medida que surjan las necesidades de préstamo.

Capítulo 4

Planteamiento del Problema

Desde la unidad de Validación de modelos de un banco supervisado por la CMF, se busca encontrar una metodología más eficiente a la existente para dar solución a un problema regulatorio, específicamente dentro de un contexto de los modelos de provisiones por riesgo de crédito.

Por lo tanto, el presente trabajo está enfocado en aplicar distintas metodologías que permitan una mayor discriminación del riesgo en las segmentaciones y en los tramos de *score* de una cartera que pertenece a este banco en particular.

Se debe considerar que para calcular la probabilidad de incumplimiento (PI), no se puede hacer uso de la Regresión Logística estimada, directamente, dado que la Normativa de la CMF indica: “La estimación de la pérdida esperada constituye una medida de largo plazo, que considere como mínimo 5 años de información histórica, incluyendo un período recesivo. Se podrán ponderar observaciones, con el fin de dar mayor peso a ciertos periodos de tiempo, siempre que no exista una sub-ponderación de periodos recesivos de la economía. En el caso de que se utilicen ponderaciones, estas deben considerar criterios prudenciales y estar debidamente justificadas y sustentadas”¹.

Por lo tanto, la PI tiene que ser fruto de una estimación a través de lo real observado en al menos cinco años y no de una muestra. Para facilitar los cálculos, a la regresión logística se le aplica una transformación lineal, transformándola en una puntuación entera, S . Así, para cada cliente del stock y para cada mes del horizonte (al menos 5 años), se le asigna una puntuación. Estas, posteriormente se particionan en c categorías, de tal manera que para cada uno de los meses analizados, se obtiene la tasa de incumplimientos reales. Así, para la categoría i de la puntuación (S_i), la PI, corresponderá al promedio de las tasas de incumplimientos observadas.

¹Vea Compendio de Normas Contables Capítulo B-1. Anexo N°1. Fuente: https://www.sbif.cl/sbifweb3/internet/archivos/norma_6545-1.pdf

Por lo tanto, se debe realizar una prueba estadística que permita determinar que todas la PI's sean distintas entre sí.

A continuación se va a detallar lo que el regulador bancario solicita para resolver este problema en los segmentos y en los tramos de *score* de una cartera en particular.

4.1. Segmentación

En el compendio de normas contables de la CMF, se indica lo siguiente con respecto a las segmentaciones: “Las **segmentaciones** de esas carteras son deseables, **en la medida que permitan una mayor discriminación del riesgo y contribuyan a una mejor gestión de este**, por lo que son particulares a cada entidad. Esas segmentaciones, a modo de ejemplo, pueden considerar tipo de banca, tipo de operación (normal, renegociada u otras), tipos de crédito, o cualquier otra que sea pertinente”².

En la figura 4.1 se observa que lo especificado por el regulador, podría ser diagramado de la siguiente manera:



Figura 4.1: Diagrama Segmentos Cartera Y
Fuente: Elaboración propia

La cartera “Y” esta compuesta de n segmentos distintos y en cada segmento existen distintos tramos de *score*.

Desde un punto de vista estadístico, una segmentación generará mayor discriminación, en la medida que genere grupos que entre ellos se diferencien las magnitudes de riesgos asociadas.

En particular, en este trabajo uno de los puntos a resolver corresponde a que los distintos segmentos de una cartera bancaria, presentan a lo largo de

²Vea Compendio de Normas Contables. Capítulo B-1. Anexo N°1. Fuente: https://www.sbif.cl/sbifweb3/internet/archivos/norma_6545-1.pdf

tiempo tasas de deterioro estadísticamente distintas, es decir, se va a probar que al menos dos segmentos de PI sean distintas entre sí y se determinará cuales segmentos de PI son estadísticamente diferentes.

4.2. Tramos de *Score*

Para este punto, el compendio de normas contables de la CMF indica: “Las metodologías de calificación (*scoring*, perfiles de deudores) que sean utilizadas en cualquiera de los métodos, exhiben un alto grado de predictibilidad de la calidad crediticia de los deudores, discriminación constatable entre las calificaciones que la componen y homogeneidad de deudores en cada una de ellas, sin que se observen concentraciones de estos en alguna categoría. [...] **Existe una estimación de riesgo coherente y adecuada para cada una de las puntuaciones dentro de las escalas de riesgos.** Las metodologías de calificación muestran confiabilidad y robustez en términos de discriminación de riesgo y son sometidos, periódicamente, a pruebas de validación, estabilidad, poder discriminante y *backtesting*”³.

En la figura 4.2 se visualiza sólo el segmento “1” de la cartera “Y” mencionada en el punto anterior, donde se logra observar que este segmento está compuesto de “p” tramos de *score* y para cada tramo se debe obtener una tasa promedio de PI. Por lo tanto, para cumplir lo solicitado por el regulador, los “p” tramos de *score* del segmento “1” deben ser estadísticamente distintos entre sí.

³Vea Compendio de Normas Contables Capítulo B-1. Anexo N°1. Fuente: https://www.sbif.cl/sbifweb3/internet/archivos/norma_6545-1.pdf

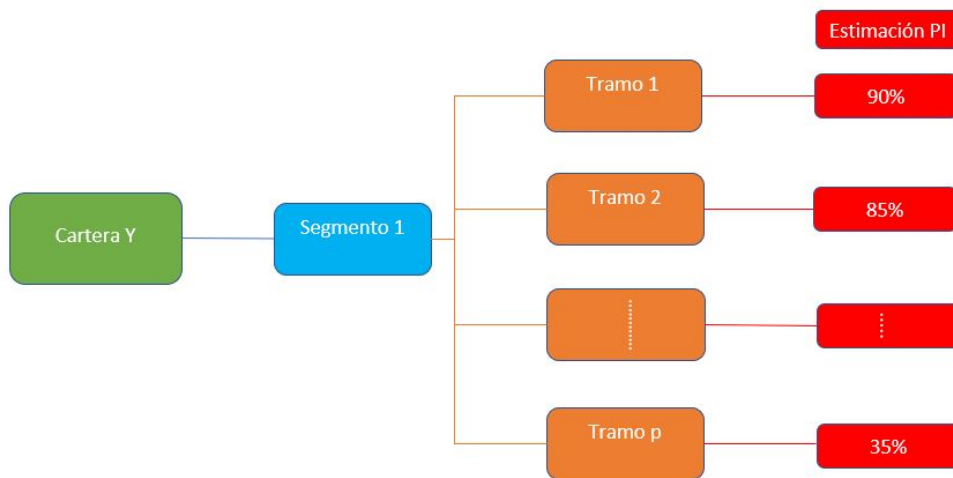


Figura 4.2: Tramos de *score* segmento “1” de cartera Y
 Fuente: Elaboración propia

El segundo punto a resolver corresponde a que los distintos tramos de *score* asociados a cada segmento en una cartera en particular, no se intersecten entre sí, lo que equivale a realizar una coherente estimación del riesgo. Es decir, se debe comprobar que cada tramo de *score* dentro de cada segmento tenga una tasa promedio de incumplimiento estadísticamente distinta al resto.

Capítulo 5

Metodologías a aplicar

Para resolver el problema mencionado en el capítulo anterior, se van a utilizar dos modelos distintos, los cuales corresponden a modelos de efectos fijos y modelos de efectos mixtos. En ambos modelos, se considerará un diseño de bloques completamente al azar con diseño jerárquico o anidado no balanceado.

Para determinar que segmentos y tramos de *score* son distintos entre sí, se aplicará un análisis de varianza (ANOVA) para ambos modelos, con el propósito de conocer si las medias de PI son iguales o si al menos una media de PI es distinta al resto.

Una vez que se ha determinado si existen diferencias entre las medias, se aplicará una prueba de comparación múltiple, con el fin de conocer cuales medias son las que difieren. La prueba que se utilizará corresponde a la prueba de *Tukey* con un nivel de confianza del 0.95.

Posteriormente, se van a comparar ambos modelos mediante uno de los criterio de información más usuales (AIC), para encontrar la metodología más robusta. A continuación, se va a detallar las metodologías que se van a utilizar.

5.1. Diseño no balanceado

Un diseño es balanceado cuando se tiene el mismo número de observaciones para todas las combinaciones de niveles posibles. Sin embargo, si se tiene un número desigual de observaciones, el diseño es no balanceado.

También se puede señalar que, si un experimento tiene el mismo número de unidades experimentales asignadas a cada celda, el experimento es balanceado; de otra manera, el diseño es no balanceado. Vea Shaw and Mitchell-Olds (1993).

Si el diseño es no balanceado, aumenta la sensibilidad del análisis unifactorial a la falta de igualdad entre las varianzas de cada grupo (heterocedasticidad).

El término “no balanceado” hace referencia a experimentos en los cuales hay distinto número de observaciones por nivel o combinación de niveles de variables independientes. Vea Kapš and Lamberson (2009).

Los diseños balanceados se pueden transformar en no balanceados cuando una o más observaciones se pierden debido a circunstancias imprevistas. Vea Montgomery (1991) ; Spilke et al. (2005) y Kapš and Lamberson (2009).

5.2. Diseño jerárquico o anidado

En cierto tipo de estudios, los niveles de un factor, B, no serán idénticos en todos los niveles de otro factor, A. Cada nivel del factor A contendrá diferentes niveles del factor B. Se dice que los niveles del factor B están anidados dentro de los niveles del factor A. En este caso, reciben el nombre de diseños de factor anidado, también conocidos como diseños jerárquicos.

En el contexto del problema que se va resolver en el presente trabajo, en la figura 5.1, se presenta un ejemplo de un diseño de experimento anidado y desbalanceado, considerando estimaciones de PI en los 12 meses del año 2010 de una respectiva cartera “Z”.

Meses	Segmento A		Segmento B		Segmento C	
	Tramo 01	Tramo 10	Tramo 01	Tramo 09	Tramo 01	Tramo 06
01-2010	84,35%	10,71%	81,15%	7,10%	57,15%	9,61%
02-2010	86,39%	9,41%	81,03%	7,41%	57,03%	9,41%
03-2010	88,15%	11,51%	82,30%	8,51%	58,30%	10,51%
04-2010	88,17%	11,26%	82,01%	8,26%	58,01%	10,26%
05-2010	91,00%	11,53%	82,35%	8,53%	58,35%	10,53%
06-2010	91,06%	12,56%	82,34%	9,56%	58,34%	10,56%
07-2010	90,56%	12,04%	83,09%	10,04%	59,09%	11,04%
08-2010	89,12%	12,42%	84,32%	10,42%	60,32%	11,42%
09-2010	91,15%	13,47%	88,41%	11,47%	62,41%	12,47%
10-2010	92,32%	13,03%	82,09%	11,03%	62,09%	13,03%
11-2010	91,50%	14,87%	83,15%	12,87%	63,15%	13,87%
12-2010	93,00%	15,67%	84,15%	13,67%	64,15%	14,67%

Figura 5.1: Diseño experimental anidado y desbalanceado de una cartera Z

Fuente: Elaboración propia

Este diseño es anidado porque los distintos tramos de *score* se encuen-

tran anidados en los tres segmentos de la cartera “Z” y es desbalanceado porque cada segmento tiene distintas cantidades de tramos de *score*, ya que el segmento “A” está compuesto de 10 tramos de *score*, el segmento “B” está compuesto de 9 tramos de *score* y el segmento “C” está compuesto de 6 tramos de *score*.

Por otro lado, si los meses son considerados como un bloque, este diseño corresponde a un diseño en bloque completamente al azar con análisis jerárquico o anidado.

Los datos que se van a utilizar en este trabajo siguen la misma estructura del ejemplo 5.1, ya que distintas cantidades de tramos de *score* se encontrarán anidados a distintos segmentos de una cartera bancaria.

5.3. Modelos de efectos Fijos

Un modelo de efectos fijos consiste en que los parámetros del modelo son cantidades fijas o no aleatorias. En muchas aplicaciones, un modelo de efectos fijos se refiere a un modelo de regresión en el que las medias grupales son fijas (no aleatorias) en caso contrario corresponde a un modelo de efectos aleatorios en el que las medias grupales son una muestra aleatoria de una población, vea Ramsey and Schafer (2012). En general, los datos se pueden agrupar de acuerdo con varios factores observados. Las medias grupales podrían modelarse como efectos fijos o aleatorios para cada agrupación. En un modelo de efectos fijos, cada media grupal es una cantidad fija específica del grupo.

Granados (2011), define un modelo de efectos fijos como:

$$Y_{it} = X_{it}\beta + \alpha_i + u_{it}, \quad (5.1)$$

para $t = 1, \dots, T$ y $i = 1, \dots, N$. Donde:

Y_{it} = Variable dependiente observada para un individuo i en el tiempo t .

X_{it} = Matriz de regresores variable en el tiempo de tamaño $1 \times k$.

β = Matriz de parámetros $k \times 1$.

α_i = Efecto individual no observado en el tiempo invariante.

u_{it} = término de error.

A diferencia del modelo de efectos aleatorios (el detalle a continuación) en el que α_i es independiente de X_{it} , el modelo de efectos fijos permite a α_i que se correlacione con la matriz de regresores X_{it} .

En este tipo de modelo, la hipótesis que se plantea es la siguiente:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i \quad v/s \quad H_0 : \mu_i \neq \mu_j,$$

donde si se rechaza H_0 significa que existe al menos una media distinta al resto, mientras que si no se rechaza H_0 , todos las medias son idénticas o iguales.

5.4. Modelos de efectos Aleatorios

Antes de explicar en que consisten los modelos de efectos mixtos, es necesario mencionar a los modelos de efectos aleatorios. Un modelo que está compuesto de efectos aleatorios consiste en que los niveles del factor son una muestra de una población más amplia, por lo que toma en cuenta el efecto aleatorio del muestreo. Snijders (2005) menciona que si un modelo estadístico se modela con efectos aleatorios, se desea obtener conclusiones sobre la población de la que se extrajeron las unidades observadas, en lugar de la población total.

Granados (2011), define un modelo de efectos aleatorios como:

$$Y_{it} = \alpha + X_{it}B + v_i + u_{it}, \quad (5.2)$$

para $t = 1, \dots, T$ y $i = 1, \dots, N$.

El modelo de efectos aleatorios tiene la misma especificación que el de efectos fijos con la salvedad de que v_i , en lugar de ser un valor fijo para cada individuo y constante a lo largo del tiempo para cada individuo, es una variable aleatoria con un valor medio v_i y una varianza $\text{Var}(v_i) \neq 0$.

Este modelo es más eficiente (la varianza de la estimación es menor) pero menos consistente que el de efectos fijos, es decir, es más exacto en el cálculo del valor del parámetro pero este puede estar más sesgado que el de efectos fijos.

Por lo general, modelar un efecto como aleatorio, asume el supuesto de una distribución normal para los efectos aleatorios. A veces esto no coincide con la realidad, lo que puede conducir a resultados sesgados. Alternativamente, cuando los residuos no se distribuyen normalmente, se han desarrollado distintos métodos para dar solución a este problema, ver Reise and Duan (2003) y Seltzer and Choi (2002).

En este tipo de modelo, carece de sentido probar la hipótesis que se refiere a los efectos de tratamiento individuales y, en su lugar, debe realizarse el contraste:

$$H_0 : \sigma^2 = 0 \quad v/s \quad H_0 : \sigma^2 > 0,$$

donde si se rechaza H_0 significa que existe variabilidad entre los tratamientos, mientras que si no se rechaza H_0 , todos los tratamientos son idénticos.

5.5. Modelos de efectos Mixtos

Muchos experimentos se diseñan para estudiar los efectos de un factor sobre la media de la población y los efectos de otro sobre la varianza de la misma, estos experimentos tienen una mezcla de factores fijos y aleatorios. Los modelos que incluyen factores aleatorios y factores fijos se llaman modelos mixtos, pues contienen una mezcla de los dos tipos de efectos.

El modelo y análisis para los efectos mixtos se compone de dos partes. En primer lugar, las inferencias para el factor de efectos aleatorios se aplica a la variación en una población de efectos, mientras que las inferencias para los factores de efectos fijos están restringidas a los niveles específicos usados en el experimento.

Los efectos fijos explican la media y los efectos aleatorios explican la estructura de varianza – covarianza de la variable dependiente. Vea Kapš and Lamberson (2009).

Diferentes autores han discutido sobre el significado de lo que es un efecto fijo y un efecto aleatorio. Gelman and Hill (2006) desarrollan una extensa discusión sobre estos conceptos. En uno de los enfoques se denomina efecto fijo a las variables cuyos niveles son estudiados en su totalidad y como efectos aleatorios, las variables cuyos niveles no son estudiados en su totalidad, sino solamente algunos de sus niveles de interés y cuya selección proviene de una muestra aleatoria.

Además, estos modelos permiten extender el modelo de regresión lineal múltiple haciendo posible el análisis de diferentes configuraciones de datos tales como datos jerárquicos, datos longitudinales, entre otros; así mismo ajusta la variable de interés en términos de un componente sistemático y un componente aleatorio. La parte sistemática del modelo contiene los efectos fijos y la parte aleatoria contiene los efectos aleatorios.

Laird et al. (1982) definen un modelo mixto como:

$$Y_i = X_i\eta + Z_ib_i + \epsilon_i. \quad (5.3)$$

Donde:

Y_i = Vector de observaciones (variable dependiente).

X_i = Matriz de diseño que relaciona las observaciones Y_i con η .

Z_i = Matriz de diseño que relaciona las observaciones Y_i con b_i .

η = vector de parámetros de efectos fijos.

b_i = vector desconocido de efectos aleatorios.
 ϵ_i = vector de errores aleatorios.

La mayor ventaja de los modelos mixtos es la generalidad en la inferencia. Existe abundante evidencia empírica que señala que los modelos mixtos posibilitan el análisis de datos con estructuras de dependencia, análisis de datos desbalanceados, falta de normalidad y homogeneidad de varianzas del error. Estos permiten relajar los supuestos tradicionales del modelo lineal general y modelar, de manera flexible, complicadas estructuras de datos. Vea Balzarini et al. (2004), Vélez et al. (2007), Mata (2016), Carrero et al. (2008) y Gómez et al. (2012).

Si un efecto principal es un efecto aleatorio, entonces cualquier interacción que involucre tal efecto principal es también un efecto aleatorio. Es decir, las únicas interacciones que son efectos fijos son aquellas cuyos efectos principales son todos fijos. Para decidir si un conjunto de efectos se trata como fijo o aleatorio, es importante realizar un examen detallado del experimento.

5.6. Análisis de Varianza (ANOVA)

El análisis de varianza (ANOVA) examina la relación de dependencia entre variables cuantitativas en relación a variables cualitativas. El modelo de la varianza es un análisis de dependencia entre dos conjuntos de variables: la o las variables dependientes, que se consideran como explicadas, se miden en una escala cuantitativa, mientras que las variables independientes son cualitativas, si bien también existe la posibilidad de introducir variables independientes de control cuantitativas. Se trata de un método de análisis estadístico que permite probar hipótesis sobre si existen diferencias significativas de una característica observada, o varias de ellas, medidas con variables cuantitativas, entre los diferentes grupos formados a partir de las categorías de una o de más variables cualitativas.

La aplicación de este método se basa en la comparación de las medias observadas de la variable cuantitativa, por el conjunto de la muestra y para cada grupo definido por la o variables independientes consideradas en el modelo, y en una prueba de hipótesis basada en el cálculo de la varianza entre estas medias. Las hipótesis correspondientes a un ANOVA son las siguientes:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu \quad v/s \quad H_1 : \mu_i \neq \mu, \text{ donde } i= 1, \dots, k$$

Si al realizar la prueba ANOVA se obtiene una significación baja (por ejemplo menor a 0.05), se rechaza la hipótesis de que en todos los grupos

las medias son iguales. En esta situación aparece de modo natural identificar en que grupos se han producido las diferencias. Para responder a esta interrogante se utilizan las pruebas de comparación múltiple.

5.7. Comparaciones Múltiples

El análisis estadístico de datos derivados de un experimento tiene como propósito proveer información referente a la manera en que las unidades experimentales responden a los tratamientos aplicados. El primer paso consiste en someter los datos a un análisis de varianza para establecer si hay diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. El rechazo de la hipótesis nula de igualdad de medias en el análisis de varianza, conduce a preguntar cuáles diferencias entre las medias muestrales son las responsables del rechazo. Para ello, es útil trabajar con comparaciones múltiples. Las comparaciones múltiples permiten examinar cuáles medias son diferentes y estimar el grado de diferencia. En algunos casos, está supeditado al resultado de un ANOVA; en otros casos, las técnicas pueden emplearse directamente sin haber realizado previamente dicho análisis. Este conjunto de técnicas se engloba bajo la denominación de contrastes para comparaciones múltiples ya que su objetivo fundamental es comparar entre sí medias de tratamientos o grupos de ellas.

Existen distintas técnicas que se utilizan para realizar comparaciones múltiples. Entre las más conocidas se encuentran:

- LSD de Fisher
- Test de Scheffé
- Test de Dunnet
- Test de Tukey
- etc.

Einot and Gabriel (1975) utilizaron y analizaron distintas pruebas de comparación múltiple, donde recomiendan utilizar a Tukey por su simplicidad y por disponer de límites de confianza. Por lo tanto, en el presente proyecto se trabajará con el test de Tukey.

5.7.1. Test de Tukey

Es un test que se suele utilizar cuando se quiere comparar cada grupo con todos los demás y el número de grupos es alto (6 o más). Es una de las pruebas de comparación múltiple más conservadoras, pues ejercen un control considerable sobre el error tipo I, Huck (2000). La hipótesis nula para cada comparación por pares es la siguiente:

$$H_0 : \mu_i = \mu_j \quad v/s \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j, \text{ donde } i \neq j$$

5.8. Selección de modelos

Conceptualmente, los datos observados contienen información que se puede expresar de una manera compacta a través de un modelo analítico. El objetivo ideal de la selección de modelos es conseguir una traslación perfecta, uno a uno, de manera que no se pierda información durante el proceso de generación del modelo. Este objetivo es imposible debido a que el conjunto de datos siempre está constituido por un número finito de elementos, que contienen una cantidad limitada de información. Teniendo en cuenta esta dificultad, el objetivo real es obtener el modelo que mejor se ajuste a los datos, esto es, el modelo que pierda la menor cantidad de información posible. Para cumplir este objetivo, uno de los criterios más populares que se utiliza para seleccionar el modelo que mejor se ajuste a los datos, corresponden al Criterio de Información de Akaike (AIC).

5.8.1. Criterio de Información de Akaike (AIC)

El AIC es una medida de la bondad de ajuste de un modelo estadístico. Se puede decir que describe la relación entre el sesgo y varianza en la construcción del modelo, o hablando de manera general acerca de la exactitud y complejidad del modelo.

El AIC no es una prueba del modelo en el sentido de prueba de hipótesis. Más bien, proporciona un medio para la comparación entre los modelos de una herramienta para la selección del modelo. Dado un conjunto de datos, varios modelos candidatos pueden ser clasificados de acuerdo a su AIC. El modelo que tiene el AIC menor será el mejor. A partir de los valores de la AIC también se puede inferir que, por ejemplo, los dos primeros modelos están más o menos empatados y el resto son mucho peores.

Akaike (1974) proporciona un método simple y objetivo que selecciona el modelo más adecuado para caracterizar los datos experimentales. Este criterio, que se enmarca en el campo de la teoría de la información, se denomina

criterio de información de Akaike (*Akaike Information Criterion*, AIC) y se define como:

$$\text{AIC} = -2\ln(L) + 2K, \quad (5.4)$$

donde $\ln(L)$ es el logaritmo de la máxima verosimilitud, que permite determinar los valores de los parámetros libres de un modelo estadístico, Aldrich et al. (1997). Por otro lado, K es el número de parámetros libres del modelo. Esta expresión proporciona una estimación de la distancia entre el modelo y el mecanismo que realmente genera los datos observados, que es desconocido y en algunos casos imposible de caracterizar.



Capítulo 6

Objetivos

6.1. Objetivo Principal

- Determinar si los segmentos y tramos de *score* de cada segmento PI son estadísticamente diferentes.
- Determinar cuales segmentos y tramos de *score* de cada segmento de PI son estadísticamente diferentes.

6.2. Objetivos Específicos

- Generar una metodología estandarizada para resolver el problema normativo para la unidad de Validación
- Identificar el diseño experimental más adecuado para los datos estudiados.
- Ajustar un modelo de efectos fijos y un modelo de efectos mixtos para los datos estudiados.
- Encontrar la estructura de covarianza más adecuada para el modelo de efectos efectos mixtos.
- Estudiar el comportamiento de los residuos en los modelos de efectos fijos y efectos mixtos.
- Elegir el modelo más adecuado entre los modelos propuestos de efectos fijos y efectos mixtos.

Capítulo 7

Resultados

Los datos utilizados en este proyecto provienen de una cartera bancaria de un banco supervisado por la CMF, en el contexto del proceso de Validación de Modelos, para dar cumplimiento a los aspectos regulatorios. Esta cartera “X”, la cual está compuesta por 9 segmentos distintos (“S1”, “S2”, “S3”, “S4”, “S5”, “S6”, “S7”, “S8” y “S9”).

En cada segmento se encuentran anidados distintas cantidades de tramos de *score*, provocando que el diseño sea no balanceado.

Además, los datos corresponden a tasas de *default* observadas (TDO), las cuales se encuentran disponibles mensualmente en un período de tiempo de 96 meses, equivalente a 8 años, empezando desde enero de 2009 hasta diciembre de 2016.

A continuación se presenta el diseño de este experimento:

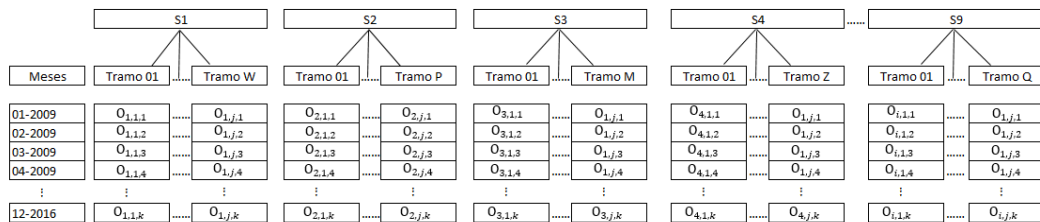


Figura 7.1: Diseño experimental Cartera “X”

Fuente: Elaboración propia

En la parte central del diagrama están esquematizadas las tasas de *default* observadas (TDO), indicadas por O_{ijk} , donde i indica el segmento, j indica el tramo de *score* en cada segmento y k indica el mes donde se encuentra la observación.

Este tipo de diseño corresponde a un diseño jerárquico o anidado, pues los tramos de *score* se encuentran anidados en cada segmento.

A continuación se aplicará este diseño en un modelo de efectos fijos y en un modelo de efectos mixtos, los cuales se ajustaron en el programa estadístico R-project.

7.1. Modelo de Efectos Fijos

En primer lugar, para el modelo de efectos fijos se va a considerar el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}, \quad (7.1)$$

Donde:

Y_{ijk} : indica la observación o la tasa de *default* observada.

μ : la media global.

α_i : es el efecto fijo del factor “segmentos”.

$\beta_{j(i)}$: es el efecto fijo del factor “tramo de *score*” anidado en “segmentos”.

ε_{ijk} : es el componente de error.

Luego de haber ajustado el modelo de efectos fijos, se debe obtener un ANOVA, con el fin de garantizar que exista diferencia estadística de las PI en los segmentos y en los tramos de *score* dentro de cada segmento.

Antes de realizar la tabla ANOVA, se va analizar los residuos de este modelo, obteniendo los siguientes resultados.

7.1.1. Análisis residual de Modelo de Efectos Fijos

7.1.1.1. Normalidad

A continuación, se analiza el supuesto de normalidad en los residuos. En primer lugar, se analiza este supuesto gráficamente y posteriormente se aplica un test de normalidad, obteniendo los siguientes resultados.

- **Histograma**

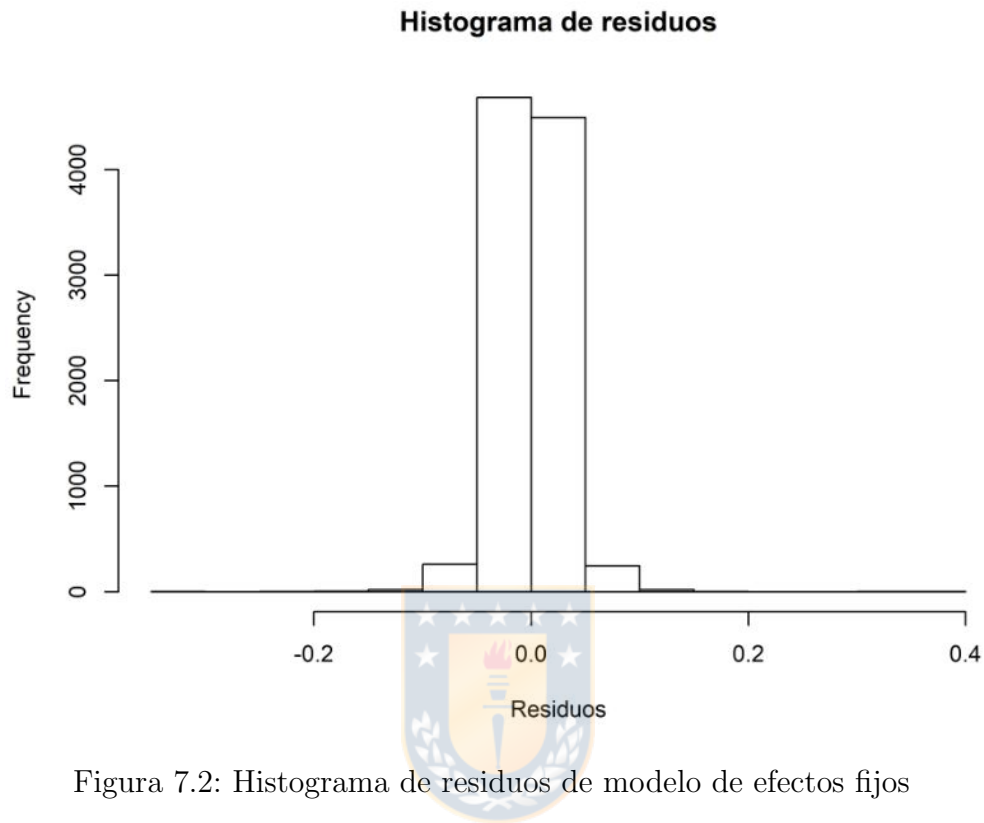


Figura 7.2: Histograma de residuos de modelo de efectos fijos

En primer lugar, se analizan los residuos mediante un histograma, donde no se observa un comportamiento simétrico en los residuos, por lo cual se puede concluir preliminarmente que el supuesto de normalidad no se cumple.

- **Q-Q Plot**

Luego, se analizan los residuos mediante un gráfico Q-Q plot para reafirmar el resultado entregado en el histograma, donde se concluye que el supuesto de normalidad no se cumple.

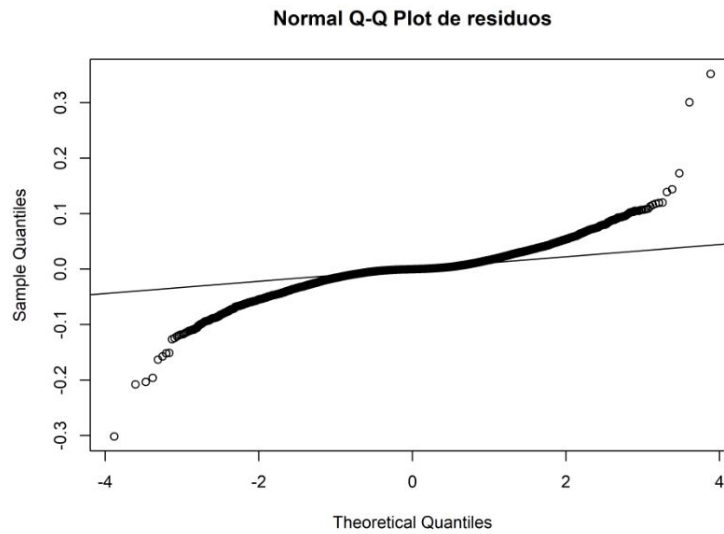


Figura 7.3: Q-Q Plot de residuos de modelo de efectos fijos

Efectivamente, con este gráfico también se puede instuir que el supuesto de normalidad no se cumple, pues los los cuantiles observados de los residuos no se ajustan a una distribución normal.

▪ **Test de Normalidad Kolmogorov- Smirnov**

Luego de analizar graficamente si existe normalidad en los residuos, se aplicó el test de normalidad Kolmogorov - Smirnov para verificar que la información entregada en los gráficos anteriores corrobora que no se cumple el supuesto de normalidad.

Variable	Estadístico	Valor p
Residuos	0,13344	0,000

Cuadro 7.1: Test de Normalidad K-S para residuos del modelo de efectos fijos

La prueba de Kolmogorov - Smirnov entrega un valor p significativo, con lo cual hay evidencia significativa para concluir que el supuesto de normalidad en los residuos no se cumple.

7.1.1.2. Independencia

Posteriormente, se analizó el supuesto de independencia en los residuos, mediante la función de autocorrelación parcial (ACF) y la prueba no paramétrico de rachas, obteniendo los siguientes resultados.

- **Función de Autocorrelación Parcial (ACF)**

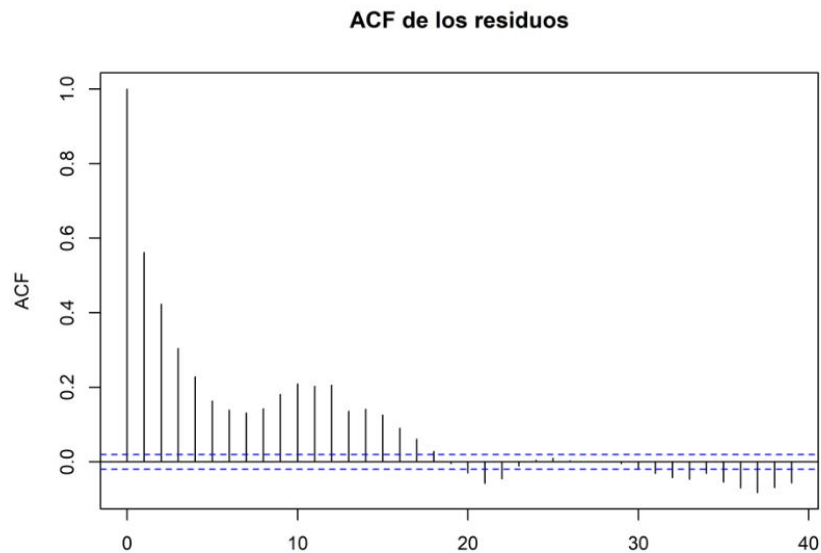


Figura 7.4: Función de Autocorrelación parcial (ACF) para los residuos del modelo de efectos fijos

En primer lugar, se utilizó la función de autocorrelación parcial (ACF), donde se observa que existen lags que sobresalen las líneas de confianza. Cuando esto ocurre, los residuos están correlacionados, lo que implica que no sean independientes.

- **Test de Rachas**

Para corroborar la información entregada en el punto anterior, se utilizó la prueba no paramétrica de rachas, el cual permite verificar que la muestra utilizada sea aleatoria, es decir, que las observaciones sean independientes. En nuestro caso, se utilizó la prueba de rachas para los residuos, obteniendo los siguientes resultados:

Variable	Estadístico	Valor p
Residuos	-47,815	0,000

Cuadro 7.2: Test de Rachas para residuos del modelo de efectos fijos

La prueba de rachas entrega un valor p significativo, con lo cual existe evidencia significativa para concluir que no se cumple el supuesto de independencia para los residuos.

7.1.1.3. Homocedasticidad

Finalmente, se analiza graficamente y mediante una prueba de levene si se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

- **Gráfico de Residuos v/s valores ajustados**

En primer lugar, se obtiene el gráfico de los residuos v/s valores ajustados, logrando el siguiente resultado:

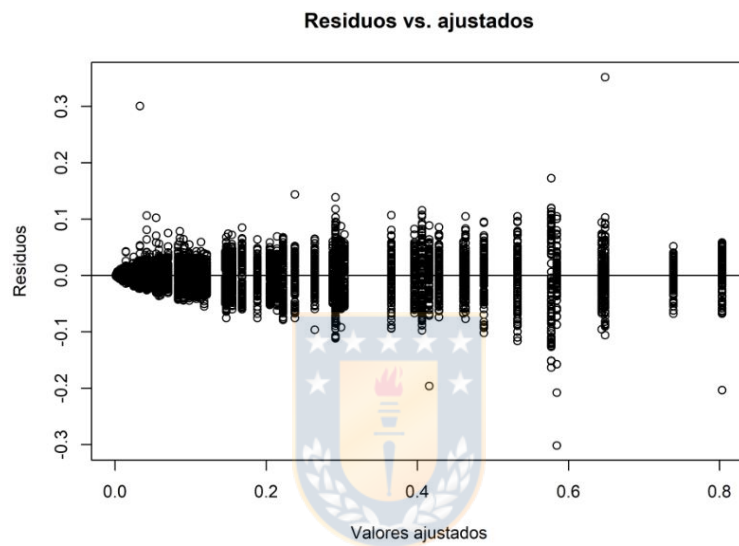


Figura 7.5: Residuos vs Ajustados Modelo de efecto fijo

Gráficamente se observan problemas de heterocedasticidad, pues a lo largo de los valores ajustados la variabilidad no es constante y además existe un patrón muy idéntico a medida que aumentan los valores ajustados.

- **Test de Levene**

Luego de analizar graficamente si se cumple el supuesto de homocedasticidad en los residuos, se aplicó la prueba de levene para reafirmar la información entregada en los gráficos anteriores.

Grupo	Estadístico	Valor p
Segmentos	98,773	0,000

Cuadro 7.3: Test de Levene para residuos del modelo de efecto fijo

La prueba de Levene entrega un valor p significativo, con lo cual existe evidencia significativa para concluir que no se cumple el supuesto de homocedasticidad para los residuos.

7.1.2. Análisis de Varianza (ANOVA) para modelos de efectos fijos

Como se observó en los puntos anteriores, no se cumplió ningún supuesto, por lo que aplicar un ANOVA en el modelo de efectos fijos no es lo más adecuado, pues los resultados que entregaría no sería lo suficientemente robusto.

Cuando ocurre este problema, una alternativa válida es trabajar con un modelo de efectos mixtos, el cual entrega resultados robustos ante la falta de independencia, normalidad y homocedasticidad.

7.2. Modelos de Efectos Mixtos

A diferencia de un modelo de efectos fijos, en el modelo de efectos mixtos se necesita trabajar con efectos fijos y aleatorios. Por este motivo, el modelo que se va a considerar es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_{j(i)} + \tau_k + \varepsilon_{ijk}, \quad (7.2)$$

Donde:

Y_{ijk} : indica la observación o la tasa de *default* observada.

μ : la media global.

A_i : es el efecto fijo del factor “segmentos”.

$B_{j(i)}$: es el efecto fijo del factor “tramo de *score*” anidado en “segmentos”.

τ_k : es el efecto aleatorio del bloque “meses”.

ε_{ijk} : es el componente de error.

7.2.1. Elección de Estructura de Varianza - Covarianza

En un modelo mixto, se necesita trabajar con una estructura de varianza-covarianza adecuada para los efectos aleatorios del modelo. Por lo cual, se

propuso trabajar con tres estructuras de covarianza distintas para los efectos aleatorios.

A continuación se presentan las tres estructuras de varianza-covarianza utilizadas:

■ Estructura Simetría Compuesta

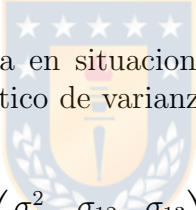
La estructura de varianza-covarianza es la más simple de todas, pues esta tiene una varianza y una covarianza constantes.

$$\begin{pmatrix} \sigma^2 + \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma^2 + \sigma_1 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma^2 + \sigma_1 \end{pmatrix}$$

En el modelo 1, se trabajó con la estructura de simetría compuesta para los efectos aleatorios.

■ Estructura no estructurada

Esta estructura es utilizada en situaciones en donde no hay evidencia de un aparente patrón sistemático de varianza y correlación. Es una matriz completamente general.


$$\begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_3^2 \end{pmatrix}$$

En el modelo 2, se utilizó una estructura de varianza-covarianza no estructurada para los efectos aleatorios.

■ Estructura Diagonal

Esta estructura tiene varianzas heterogéneas y una correlación cero entre los elementos.

$$\begin{pmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 \end{pmatrix}$$

En el modelo 3, se trabajó con la estructura diagonal para los efectos aleatorios.

Con el fin de seguir trabajando con el modelo más adecuado, a continuación se presenta el AIC de los tres modelos propuestos:

Modelo 1	AIC
Modelo 1	-44622,76
Modelo 2	-48355,77
Modelo 3	-48247,01

Cuadro 7.4: AIC para modelos de efectos mixtos

El modelo 2 presenta un AIC más pequeño, en comparación a los otros dos modelos. Por lo tanto, se va a seguir trabajando con el modelo con estructura de varianza-covarianza no estructurada para los efectos aleatorios.

7.2.2. Análisis Residual de Modelo de Efectos Mixtos

7.2.2.1. Normalidad

A continuación, se analiza el supuesto de normalidad en los residuos. En primer lugar, se analiza este supuesto graficamente y posteriormente se aplica un test de normalidad, obteniendo los siguientes resultados.

- **Histograma**

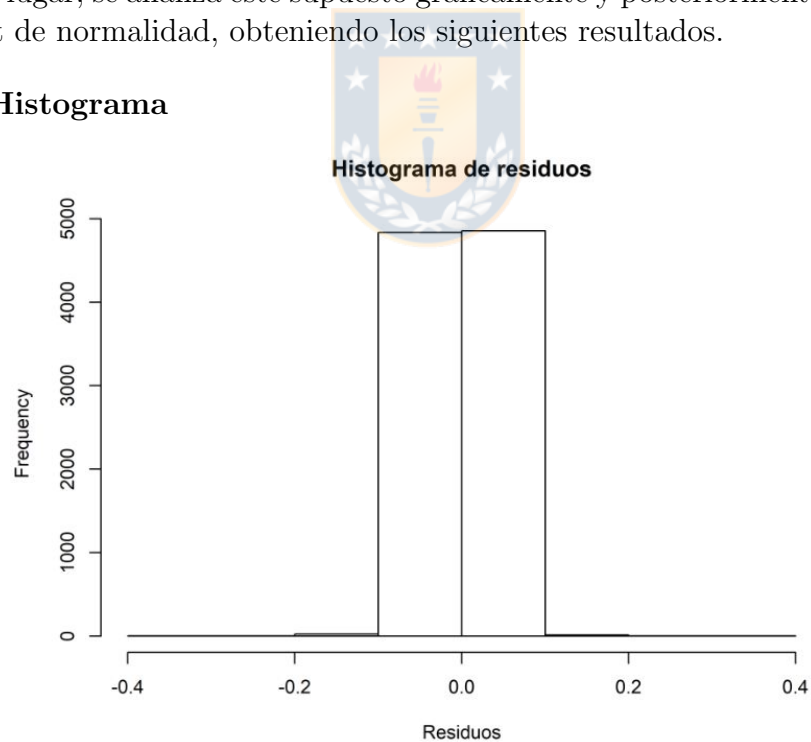


Figura 7.6: Histograma de residuos de modelo de efectos mixtos

Analizando los residuos mediante un histograma, no se observa un comportamiento 100 % simétrico en los residuos, por lo cual se puede intuir que el supuesto de normalidad no se cumple.

■ Q-Q Plot

Luego, se analizan los residuos mediante un gráfico Q-Q plot para reafirmar el resultado entregado en el histograma, donde se concluye que el supuesto de normalidad no se cumple.

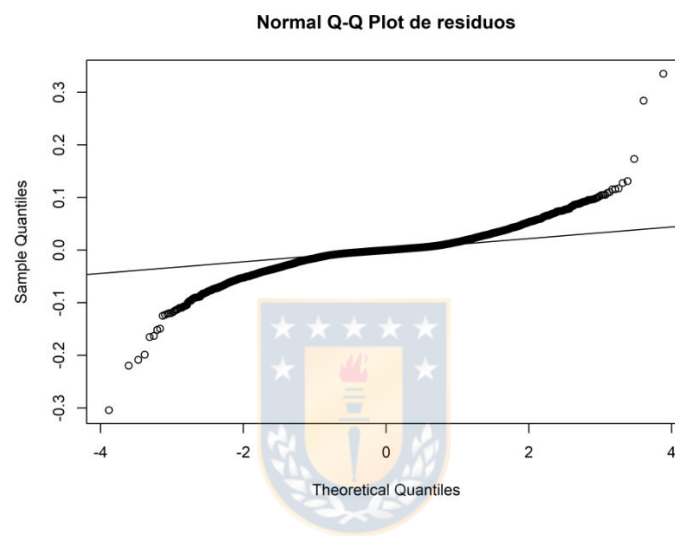


Figura 7.7: Q-Q Plot de residuos de modelo de efectos mixtos

Efectivamente, con este gráfico también se puede intuir que el supuesto de normalidad no se cumple, pues los residuos no se ajustan a una distribución normal.

■ Test de Normalidad Kolmogorov- Smirnov

Luego de analizar graficamente si existe normalidad en los residuos, se aplicó el test de normalidad Kolmogorov - Smirnov para verificar que la información entregada en los gráficos anteriores corrobora que no se cumple el supuesto de normalidad.

Variable	Estadístico	Valor p
Residuos	0,13021	0,000

Cuadro 7.5: Test de Normalidad K-S para residuos del modelo de efectos mixtos

El test de Kolmogorov - Smirnov entrega un valor p significativo, con lo cual hay evidencia significativa para concluir que el supuesto de normalidad en los residuos no se cumple.

7.2.2.2. Independencia

Posteriormente, se analizó el supuesto de independencia en los residuos, mediante la función de autocorrelación parcial (ACF) y el test no paramétrico de rachas, obteniendo los siguientes resultados.

- **Función de Autocorrelación Parcial (ACF)**

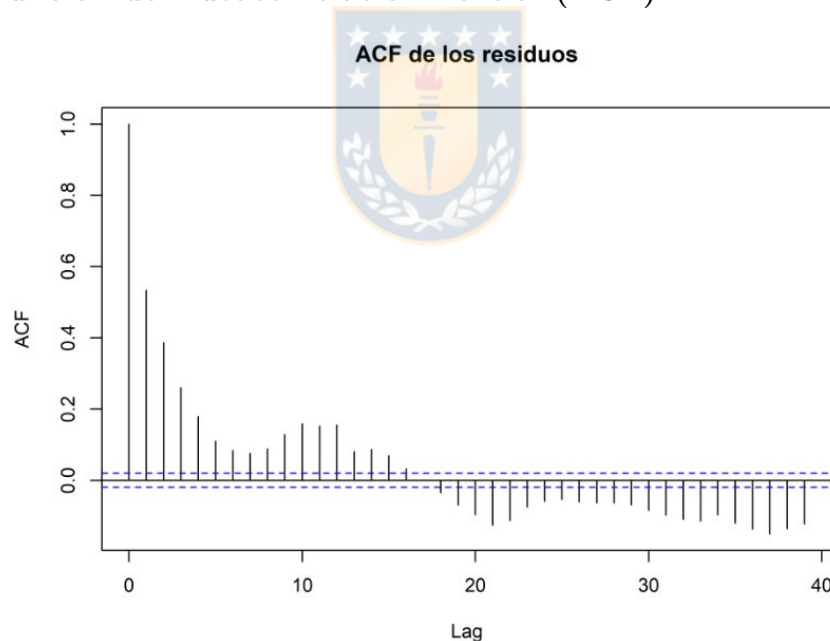


Figura 7.8: Función de Autocorrelación parcial (ACF) para los residuos del modelo de efectos fijos

En primer lugar, se utilizó la función de autocorrelación parcial (ACF), donde se observa que existen lags que sobresalen las líneas de confianza.

Cuando esto ocurre, los residuos están correlacionados, lo que implica que no sean independientes.

- **Test de Rachas**

Para corroborar la información entregada en el punto anterior, se utilizó el test no paramétrico de rachas, el cual permite verificar que la muestra utilizada sea aleatoria, es decir, que las observaciones sean independientes. En nuestro caso, se utilizó el test de rachas para los residuos, obteniendo los siguientes resultados:

Variable	Estadístico	Valor p
Residuos	-49,924	0,000

Cuadro 7.6: Test de Rachas para residuos del modelo de efectos mixtos

El test de rachas entrega un valor p significativo, con lo cual existe evidencia significativa para concluir que no se cumple el supuesto de independencia para los residuos.

7.2.2.3. Homocedasticidad

Finalmente, se analiza graficamente y mediante una prueba de Levene si se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

- **Gráfico de Residuos v/s valores ajustados**

En primer lugar, se obtiene el gráfico de los residuos v/s valores ajustados, logrando el siguiente resultado:

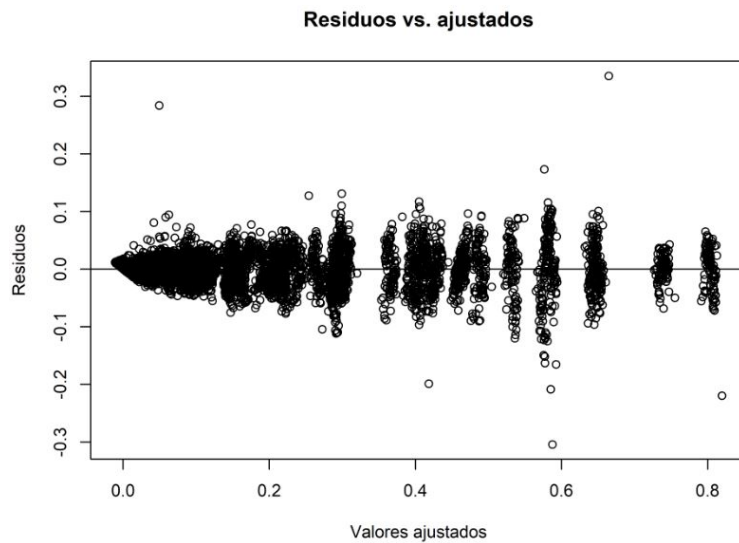


Figura 7.9: Residuos vs Ajustados Modelo de efectos mixtos

Gráficamente se observan problemas de heterocedasticidad, pues a lo largo de los valores ajustados la variabilidad no es constante y además existe un patrón muy idéntico a medida que aumentan los valores ajustados.

■ Test de Levene

Luego de analizar gráficamente si se cumple el supuesto de homocedasticidad en los residuos, se aplicó la prueba de Levene para reafirmar la información entregada en los gráficos anteriores.

Grupo	Estadístico	Valor p
Segmentos	100.18	0,000

Cuadro 7.7: Test de Levene para residuos del modelo de efecto mixto

La prueba de Levene entrega un valor p significativo, con lo cual existe evidencia significativa para concluir que no se cumple el supuesto de homocedasticidad para los residuos.

7.2.3. Tabla Anova

Aunque no se hayan cumplido ningún supuesto, autores como Balzarini et al. (2004), Mata (2016), Vélez et al. (2007), Carrero et al. (2008) y Gómez

et al. (2012), entre otros, mencionan que en un modelo de efectos mixtos se permite relajar los supuestos residuales de independencia, normalidad y homogeneidad de varianza, por lo cual es más flexible al aplicar un ANOVA cuando se incumple alguno de estos supuestos en este tipo de modelos. Esta característica es la mayor ventaja de estos modelos, pues debido a la flexibilidad de un modelo mixto, en comparación al modelo de efectos fijos, es un modelo más robusto. Por lo tanto, al aplicar un ANOVA para los segmentos y los tramos de *score* anidados en los segmentos, se obtienen los siguientes resultados:

Variable	Estadístico	Valor p
Segmentos	3313,7	0,000
Tramos de <i>score</i> anidados en segmentos	5678,7	0,000

Cuadro 7.8: ANOVA para el modelo de efectos mixtos

Para los segmentos y los tramos de *score* se observa un valor p significativo. Por lo tanto, se puede concluir que existe evidencia significativa para concluir que al menos existe una media estadísticamente distinta al resto en los segmentos y que al menos existe una media estadísticamente distinta al resto en los tramos de *score* anidado en los segmentos.

7.2.4. Comparación Múltiple segmentos

Luego de haber concluido con el ANOVA que existen medias distintas en los segmentos y en los tramos de *score* anidados en los segmentos, se debe conocer cuales segmentos y cuales tramos de *score* son distintos entre sí.

En primer lugar, se analiza que segmentos son distintos entre sí.

Aplicando la prueba de comparación múltiple de Tukey, se obtienen los siguientes resultados:

Comparación	Estadístico	Valor p
S1 - S7	-0,056	1,000
S4 - S8	-1,864	0,6387
S6 - S9	-0,762	0,9978

Cuadro 7.9: Resumen Comparación Múltiple para los segmentos iguales

De acuerdo con la prueba de Tukey, se puede observar que 3 pares de segmentos son iguales entre sí. Estos segmentos corresponden a :

- S1 - S7
- S4 - S8
- S6 - S9

Los pares restantes de segmentos son estadísticamente distintos entre sí.

7.2.4.1. Tasas de *Default* Observadas para segmentos iguales

En la figura 7.10, se presentan las medias marginales de las Tasas de *Default* Observadas desde enero del 2009 hasta diciembre del 2016 para los segmentos iguales, con la finalidad de corroborar gráficamente que los segmentos mencionados anteriormente son estadísticamente iguales.

Medias marginales Tasas de Default Observadas segmentos iguales

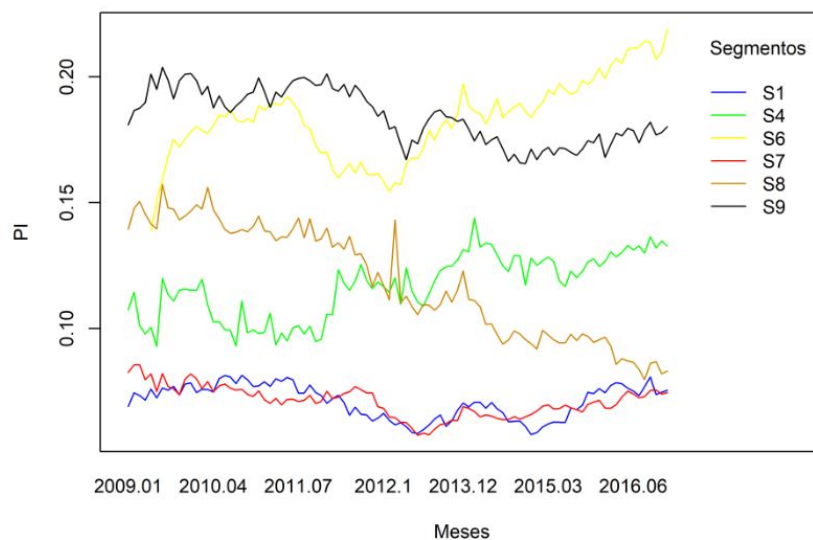


Figura 7.10: Tasas de *Default* Observadas para segmentos iguales

7.2.5. Comparación Múltiple tramos de *score* de S1

Luego de analizar que segmentos son estadísticamente distintos entre sí, se analizan los tramos de *score* que se encuentran en el segmento 1.

El segmento 1 está compuesto de 11 tramos de *score* y mediante la prueba de Tukey se comprueba que tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

Comparación	Estadístico	Valor p
Tramo 05 - Tramo 06	2,167	0,5286
Tramo 06 - Tramo 07	1,098	0,9912
Tramo 06 - Tramo 08	2,119	0,5636
Tramo 06 - Tramo 09	2,710	0,1952
Tramo 06 - Tramo 10	2,987	0,0974
Tramo 06 - Tramo 11	3,177	0,0567
Tramo 07 - Tramo 08	1,021	0,9950
Tramo 07 - Tramo 09	1,612	0,8776
Tramo 07 - Tramo 10	1,890	0,7242
Tramo 07 - Tramo 11	2,080	0,5920
Tramo 08 - Tramo 09	0,591	1,0000
Tramo 08 - Tramo 10	0,869	0,9987
Tramo 08 - Tramo 11	1,058	0,9934
Tramo 09 - Tramo 10	0,278	1,0000
Tramo 09 - Tramo 11	0,467	1,0000
Tramo 10 - Tramo 11	0,190	1,0000

Cuadro 7.10: Resumen Comparación Múltiple para los tramos de *score* iguales segmento 1

De acuerdo con la prueba de Tukey, se puede observar que 16 pares de tramos de *score* son iguales entre sí. Estos tramos corresponden a :

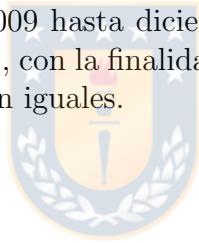
- Tramo 05 - Tramo 06
- Tramo 06 - Tramo 07
- Tramo 06 - Tramo 08
- Tramo 06 - Tramo 09
- Tramo 06 - Tramo 10
- Tramo 06 - Tramo 11
- Tramo 07 - Tramo 08
- Tramo 07 - Tramo 09
- Tramo 07 - Tramo 10
- Tramo 07 - Tramo 11

- Tramo 08 - Tramo 09
- Tramo 08 - Tramo 10
- Tramo 08 - Tramo 11
- Tramo 09 - Tramo 10
- Tramo 09 - Tramo 11
- Tramo 10 - Tramo 11

Los pares restantes de tramos de *score* en el segmento 1 son estadísticamente distintos entre sí.

7.2.5.1. Tasas de *Default* Observadas para tramos de *score* iguales S1

A continuación, se presentan las medias marginales de las Tasas de *Default* Observadas desde enero del 2009 hasta diciembre del 2016 para los tramos de *score* iguales del segmento 1, con la finalidad de corroborar que los tramos mencionados anteriormente son iguales.



Medias marginales Tasas de Default Observadas tramos iguales S1

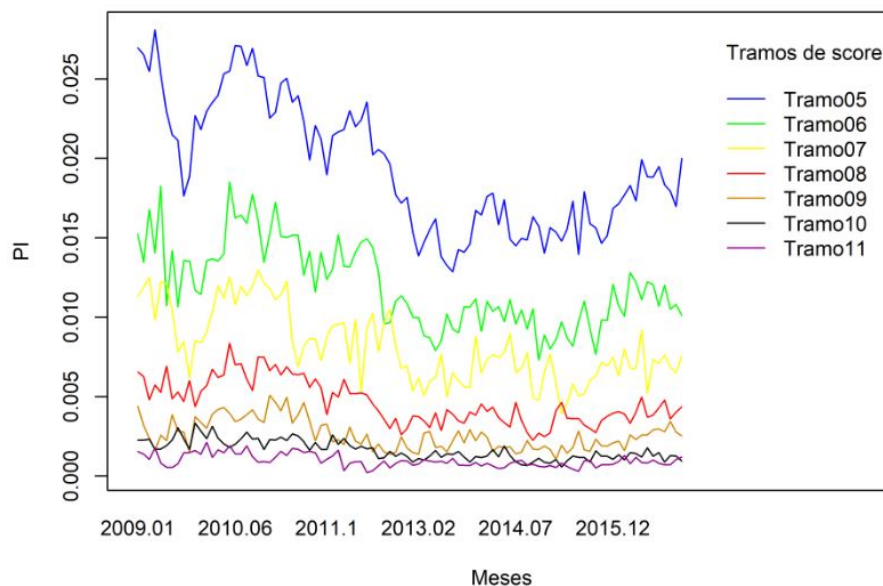


Figura 7.11: Tasas de *Default* Observadas para los tramos de *score* iguales en el segmento 1



7.2.6. Comparación Múltiple tramos de *score* S2

A continuación, se analizan que tramos de *score* del S2 son estadísticamente distintas entre sí.

El segmento 2 está compuesto de 9 tramos de *score* y mediante la prueba de Tukey se comprueba que tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

Comparación	Estadístico	Valor p
Tramo 06 - Tramo 07	2,756	0,1287
Tramo 07 - Tramo 08	1,151	0,9662
Tramo 07 - Tramo 09	1,546	0,8337
Tramo 08 - Tramo 09	0,395	1,000

Cuadro 7.11: Resumen Comparación Múltiple para los tramos de *score* iguales segmento 2

De acuerdo con el test de Tukey, se puede observar que 4 pares de tramos de *score* son iguales entre sí. Estos tramos corresponden a :

- Tramo 06 - Tramo 07
- Tramo 07 - Tramo 08
- Tramo 07 - Tramo 09
- Tramo 08 - Tramo 09

Los pares restantes de tramos de *score* en el segmento 2 son estadísticamente distintos entre sí.

7.2.6.1. Tasas de *Default* Observadas para tramos de *score* iguales S2

A continuación, se presentan las medias marginales de las Tasas de *Default* Observadas desde enero del 2009 hasta diciembre del 2016 para los tramos de *score* iguales del segmento 2, con la finalidad de corroborar que los tramos mencionados anteriormente son iguales.

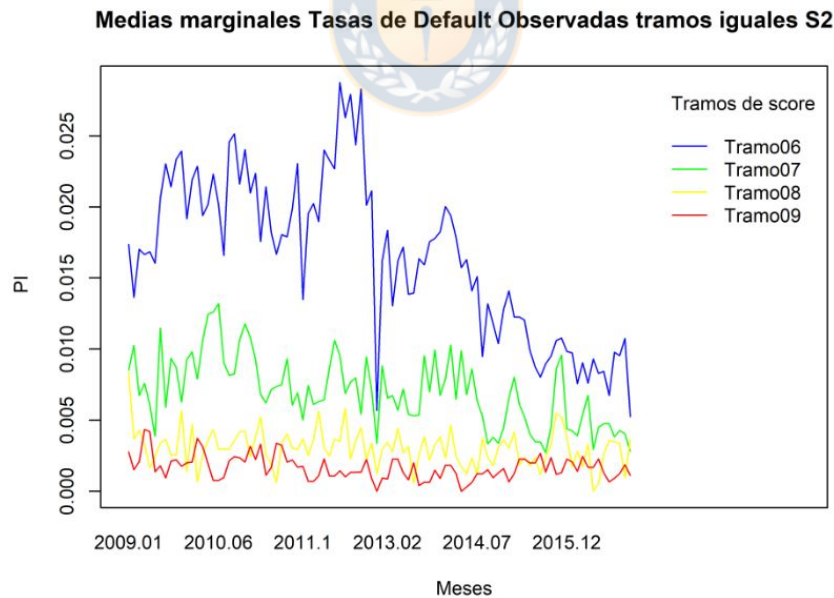


Figura 7.12: Tasas de *Default* Observadas para los tramos de *score* iguales en el segmento 2

7.2.7. Comparación Múltiple tramos de *score* S3

A continuación, se analizan que tramos de *score* del S3 son estadísticamente distintas entre sí.

El segmento 3 está compuesto de 13 tramos de *score* y mediante la prueba de Tukey se comprueba que tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

Comparación	Estadístico	Valor p
Tramo 09 - Tramo 10	2,356	0,4755
Tramo 10 - Tramo 11	2,409	0,4372
Tramo 11 - Tramo 12	1,704	0,8934
Tramo 11 - Tramo 13	2,833	0,1871
Tramo 12 - Tramo 13	1,128	0,9961

Cuadro 7.12: Resumen Comparación Múltiple para los tramos de *score* iguales segmento 3

De acuerdo con la prueba de Tukey, se puede observar que 5 pares de tramos de *score* son iguales entre sí. Estos tramos corresponden a :

- Tramo 09 - Tramo 10
- Tramo 10 - Tramo 11
- Tramo 11 - Tramo 12
- Tramo 11 - Tramo 13
- Tramo 12 - Tramo 13

Los pares restantes de tramos de *score* en el segmento 3 son estadísticamente distintos entre sí.

7.2.7.1. Tasas de *Default* Observadas para tramos de *score* iguales segmento 3

A continuación, se presentan las medias marginales de las Tasas de *Default* Observadas desde enero del 2009 hasta diciembre del 2016 para los tramos de *score* iguales del segmento 3, con la finalidad de corroborar que los tramos mencionados anteriormente son iguales.

Medias marginales Tasas de Default Observadas tramos iguales S3

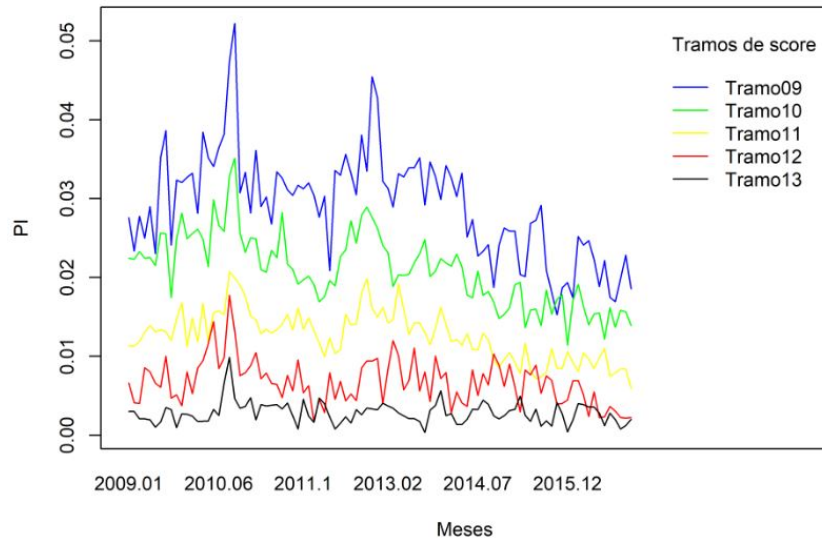


Figura 7.13: Tasas de *Default* Observadas para los tramos de *score* iguales en el segmento 3



7.2.8. Comparación Múltiple tramos de *score* S4

A continuación, se analizan que tramos de *score* del segmento 4 son estadísticamente distintas entre sí.

El segmento 4 está compuesto de 10 tramos de *score* y mediante la prueba de Tukey se comprueba que tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

Comparación	Estadístico	Valor p
Tramo 07 - Tramo 08	1,871	0,6889
Tramo 07 - Tramo 09	3,152	0,0517
Tramo 08 - Tramo 09	1,282	0,9579
Tramo 08 - Tramo 10	1,920	0,6555
Tramo 09 - Tramo 10	0,638	0,9998

Cuadro 7.13: Resumen Comparación Múltiple para los tramos de *score* iguales segmento 4

De acuerdo con la prueba de Tukey, se puede observar que 5 pares de tramos de *score* son iguales entre sí. Estos tramos corresponden a :

- Tramo 07 - Tramo 08
- Tramo 07 - Tramo 09
- Tramo 08 - Tramo 09
- Tramo 08 - Tramo 10
- Tramo 09 - Tramo 10

Los pares restantes de tramos de *score* en el segmento 4 son estadísticamente distintos entre sí.

7.2.8.1. Tasas de *Default* Observadas para tramos iguales segmento 4

A continuación, se presentan las medias marginales de las Tasas de *Default* Observadas desde enero del 2009 hasta diciembre del 2016 para los tramos de *score* iguales del segmento 4, con la finalidad de corroborar que los tramos mencionados anteriormente son iguales.

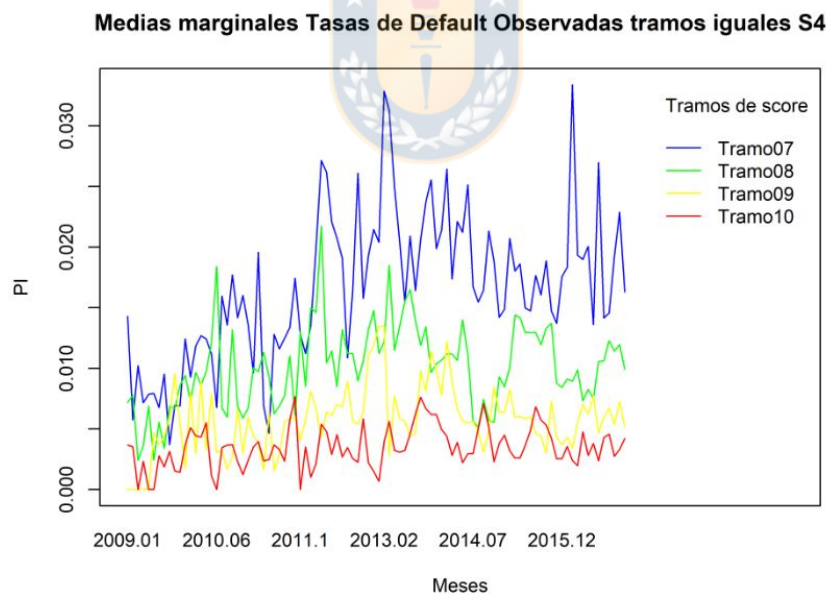


Figura 7.14: Tasas de *Default* Observadas para los tramos de *score* iguales en el segmento 4

7.2.9. Comparación Múltiple tramos de *score* S5

A continuación, se analizan que tramos de *score* del segmento 5 son estadísticamente distintas entre sí.

El segmento 5 está compuesto de 15 tramos de *score* y mediante la prueba de Tukey se comprueba que tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

Comparación	Estadístico	Valor p
Tramo 13 - Tramo 14	2,542	0,4100

Cuadro 7.14: Resumen Comparación Múltiple para los tramos de *score* iguales segmento 5

De acuerdo con la prueba de Tukey, se puede observar que 1 par de tramos de *score* son iguales entre sí. Estos tramos corresponden a :

- Tramo 13 - Tramo 14

Los pares restantes de tramos de *score* en el segmento 5 son estadísticamente distintos entre sí.

7.2.9.1. Tasas de *Default* Observadas para tramos de *score* iguales segmento 5

A continuación, se presentan las medias marginales de las Tasas de *Default* Observadas desde enero del 2009 hasta diciembre del 2016 para los tramos de *score* iguales del segmento 5, con la finalidad de corroborar que los tramos mencionados anteriormente son iguales.

Medias marginales Tasas de Default Observadas tramos iguales S5

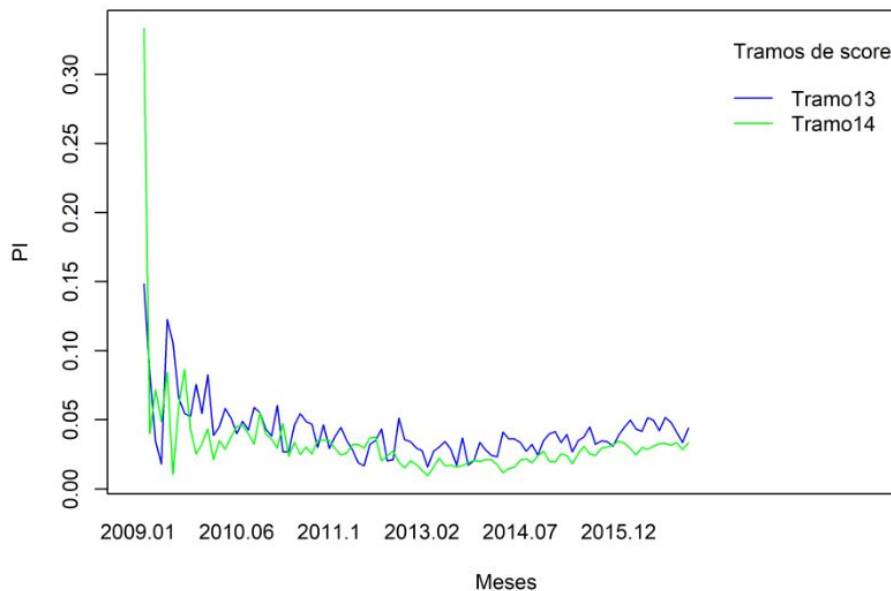


Figura 7.15: Tasas de *Default* Observadas para los tramos de *score* iguales en el segmento 5

7.2.10. Comparación Múltiple tramos de *score* S6

A continuación, se analizan que tramos de *score* del segmento 6 son estadísticamente distintas entre sí.

El segmento 6 está compuesto de 11 tramos de *score* y mediante la prueba de Tukey se comprueba que tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

Comparación	Estadístico	Valor p
Tramo 01 - Tramo 02	47,806	<0,0001
Tramo 01 - Tramo 03	80,853	<0,0001
Tramo 01 - Tramo 04	104,817	<0,0001
Tramo 01 - Tramo 05	121,737	<0,0001
Tramo 01 - Tramo 06	132,133	<0,0001
Tramo 01 - Tramo 07	139,455	<0,0001
Tramo 01 - Tramo 08	147,762	<0,0001
Tramo 01 - Tramo 09	154,200	<0,0001
Tramo 01 - Tramo 10	158,518	<0,0001
Tramo 01 - Tramo 11	162,569	<0,0001
Tramo 02 - Tramo 03	33,046	<0,0001
Tramo 02 - Tramo 04	57,011	<0,0001
Tramo 02 - Tramo 05	73,931	<0,0001
Tramo 02 - Tramo 06	84,327	<0,0001
Tramo 02 - Tramo 07	91,648	<0,0001
Tramo 02 - Tramo 08	99,956	<0,0001
Tramo 02 - Tramo 09	106,394	<0,0001
Tramo 02 - Tramo 10	110,712	<0,0001
Tramo 02 - Tramo 11	114,763	<0,0001
Tramo 03 - Tramo 04	23,964	<0,0001
Tramo 03 - Tramo 05	40,884	<0,0001
Tramo 03 - Tramo 06	51,281	<0,0001
Tramo 03 - Tramo 07	58,602	<0,0001
Tramo 03 - Tramo 08	66,909	<0,0001
Tramo 03 - Tramo 09	73,348	<0,0001
Tramo 03 - Tramo 10	77,666	<0,0001
Tramo 03 - Tramo 11	81,717	<0,0001
Tramo 04 - Tramo 05	16,920	<0,0001

Comparación	Estadístico	Valor p
Tramo 04 - Tramo 06	27,316	<0,0001
Tramo 04 - Tramo 07	34,638	<0,0001
Tramo 04 - Tramo 08	42,945	<0,0001
Tramo 04 - Tramo 09	49,383	<0,0001
Tramo 04 - Tramo 10	53,702	<0,0001
Tramo 04 - Tramo 11	57,752	<0,0001
Tramo 05 - Tramo 06	10,396	<0,0001
Tramo 05 - Tramo 07	17,718	<0,0001
Tramo 05 - Tramo 08	26,025	<0,0001
Tramo 05 - Tramo 09	32,463	<0,0001
Tramo 05 - Tramo 10	36,781	<0,0001
Tramo 05 - Tramo 11	40,832	<0,0001
Tramo 06 - Tramo 07	7,321	<0,0001
Tramo 06 - Tramo 08	15,629	<0,0001
Tramo 06 - Tramo 09	22,067	<0,0001
Tramo 06 - Tramo 10	26,385	<0,0001
Tramo 06 - Tramo 11	30,436	<0,0001
Tramo 07 - Tramo 08	8,307	<0,0001
Tramo 07 - Tramo 09	14,746	<0,0001
Tramo 07 - Tramo 10	19,064	<0,0001
Tramo 07 - Tramo 11	23,115	<0,0001
Tramo 08 - Tramo 09	6,438	<0,0001
Tramo 08 - Tramo 10	10,756	<0,0001
Tramo 08 - Tramo 11	14,807	<0,0001
Tramo 09 - Tramo 10	4,318	0,0008
Tramo 09 - Tramo 11	8,369	<0,0001
Tramo 10 - Tramo 11	4,051	0,0025

Cuadro 7.15: Resumen Comparación Múltiple para los tramos de *score* distintos segmento 6

De acuerdo con la prueba de Tukey, se puede observar que todos los tramos de *score* pertenecientes al segmento 6 son estadísticamente distintos entre sí.

7.2.10.1. Tasas de *Default* Observadas para tramos de *score* distintos segmento 6

A continuación, se presentan las medias marginales de las Tasas de *Default* Observadas desde enero del 2009 hasta diciembre del 2016 para los tramos de *score* del segmento 6, con la finalidad de corroborar que los tramos mencionados anteriormente son distintos entre sí. Como en el punto anterior se evidenció que todos los tramos de *score* pertenecientes a este segmento son distintos entre sí, en la Figura 7.16 se observan las Tasas de *Default* Observadas en todos los tramos de *score*.

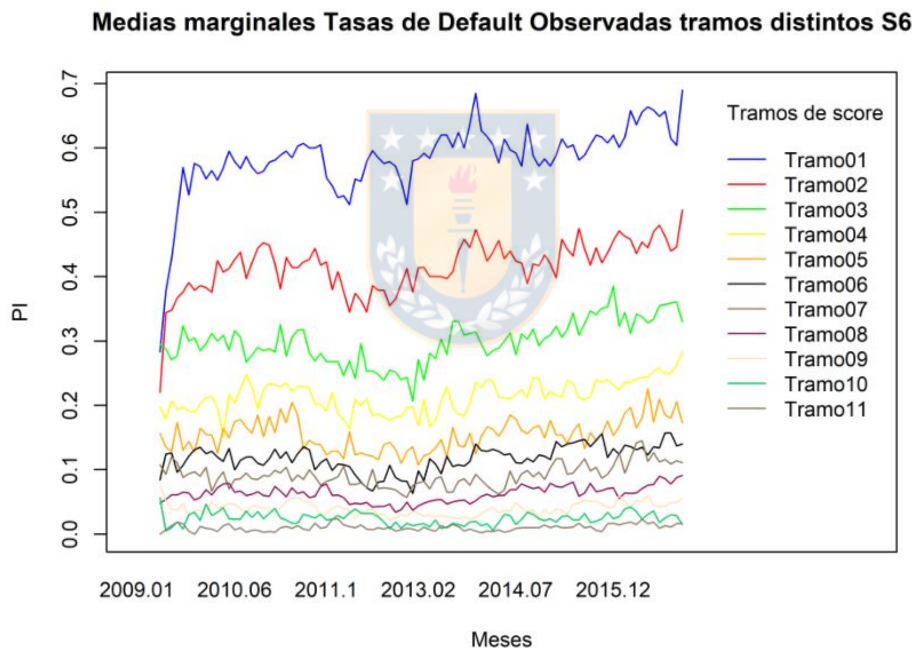


Figura 7.16: Tasas de *Default* Observadas para los tramos de *score* distintos en el segmento 6

7.2.11. Comparación Múltiple tramos de *score* S7

A continuación, se analizan que tramos de *score* del segmento 7 son estadísticamente distintas entre sí.

El segmento 7 está compuesto de 10 tramos de *score* y mediante la prueba de Tukey se comprueba que tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

Comparación	Estadístico	Valor p
Tramo 05 - Tramo 06	2,102	0,5262
Tramo 06 - Tramo 07	1,418	0,9221
Tramo 06 - Tramo 08	2,340	0,3628
Tramo 06 - Tramo 09	2,724	0,1638
Tramo 06 - Tramo 10	2,994	0,0817
Tramo 07 - Tramo 08	0,923	0,9958
Tramo 07 - Tramo 09	1,307	0,9525
Tramo 07 - Tramo 10	1,576	0,8598
Tramo 08 - Tramo 09	0,384	1,0000
Tramo 08 - Tramo 10	0,654	0,9997
Tramo 09 - Tramo 10	0,270	1,0000

Cuadro 7.16: Resumen Comparación Múltiple para los tramos de *score* iguales segmento 7

De acuerdo con la prueba de Tukey, se puede observar que 11 par de tramos de *score* son iguales entre sí. Estos tramos corresponden a :

- Tramo 05 - Tramo 06
- Tramo 06 - Tramo 07
- Tramo 06 - Tramo 08
- Tramo 06 - Tramo 09
- Tramo 06 - Tramo 10
- Tramo 07 - Tramo 08
- Tramo 07 - Tramo 09
- Tramo 07 - Tramo 10
- Tramo 08 - Tramo 09
- Tramo 08 - Tramo 10
- Tramo 09 - Tramo 10

Los pares restantes de tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

7.2.11.1. Tasas de *Default* Observadas para tramos de *score* iguales segmento 7

A continuación, se presentan las medias marginales de las Tasas de *Default* Observadas desde enero del 2009 hasta diciembre del 2016 para los tramos de *score* iguales del segmento 7, con la finalidad de corroborar que los tramos mencionados anteriormente son iguales.

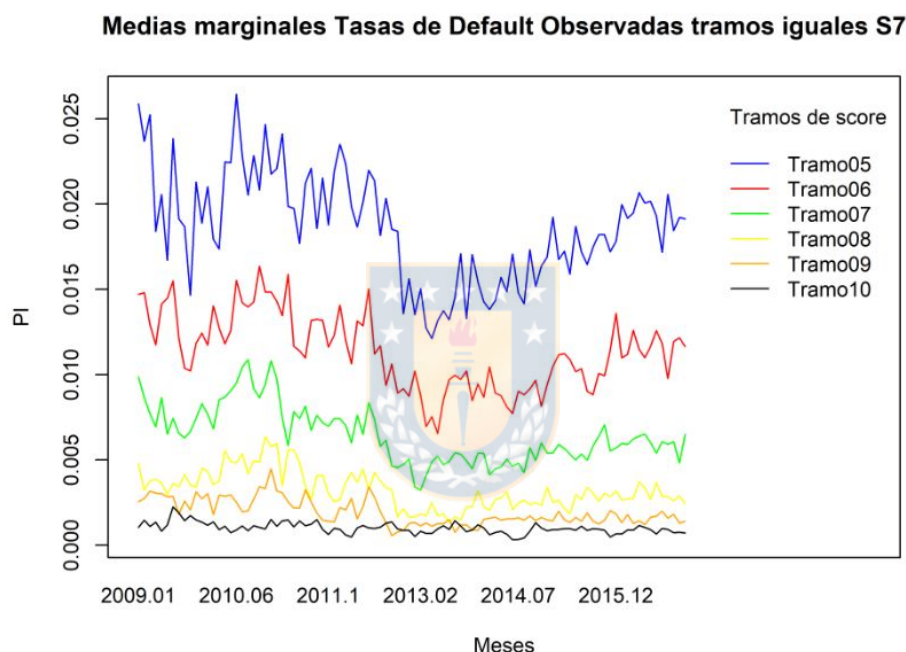


Figura 7.17: Tasas de *Default* Observadas para los tramos de *score* iguales en el segmento 7

7.2.12. Comparación Múltiple tramos de *score* S8

A continuación, se analizan que tramos de *score* del segmento 8 son estadísticamente distintas entre sí.

El segmento 8 está compuesto de 11 tramos de *score* y mediante la prueba de Tukey se comprueba que tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

Comparación	Estadístico	Valor p
Tramo 08 - Tramo 09	2,534	0,2843
Tramo 09 - Tramo 10	1,285	0,9715
Tramo 09 - Tramo 11	2,163	0,5314
Tramo 10 - Tramo 11	0,878	0,9986

Cuadro 7.17: Resumen Comparación Múltiple para los tramos de *score* iguales segmento 8

De acuerdo con la prueba de Tukey, se puede observar que 4 par de tramos de *score* son iguales entre sí. Estos tramos corresponden a :

- Tramo 08 - Tramo 09
- Tramo 09 - Tramo 10
- Tramo 09 - Tramo 11
- Tramo 10 - Tramo 11



Los pares restantes de tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

7.2.12.1. Tasas de *Default* Observadas para tramos de *score* iguales segmento 8

A continuación, se presentan las medias marginales de las Tasas de *Default* Observadas desde enero del 2009 hasta diciembre del 2016 para los tramos de *score* iguales del segmento 8, con la finalidad de corroborar que los tramos mencionados anteriormente son iguales.

Medias marginales Tasas de Default Observadas tramos iguales S8

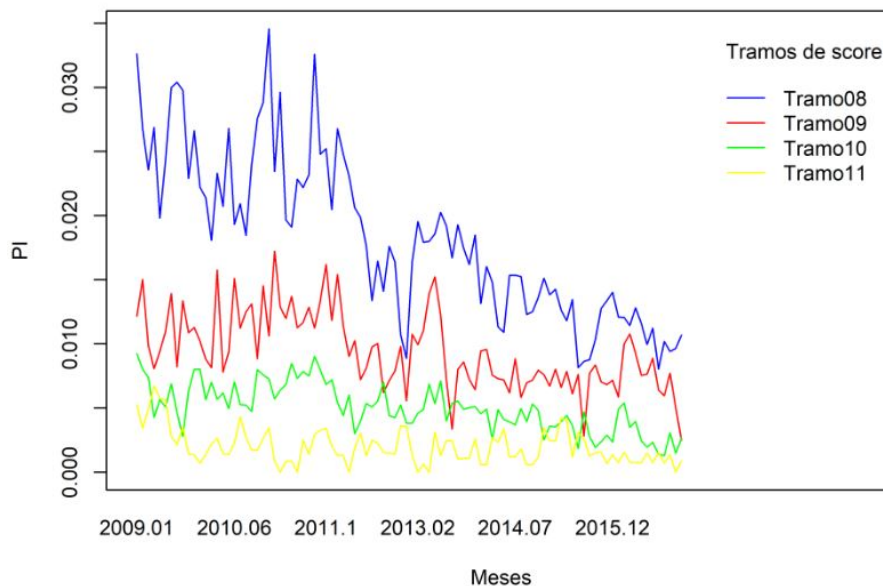


Figura 7.18: Tasas de *Default* Observadas para los tramos de *score* iguales en el segmento 8



7.2.13. Comparación Múltiple tramos de *score* S9

A continuación, se analizan que tramos de *score* del segmento 9 son estadísticamente distintas entre sí.

El segmento 9 está compuesto de 12 tramos de *score* y mediante la prueba de Tukey se comprueba que tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

Comparación	Estadístico	Valor p
Tramo 11 - Tramo 12	2,807	0,1769

Cuadro 7.18: Resumen Comparación Múltiple para los tramos de *score* iguales segmento 9

De acuerdo con la prueba de Tukey, se puede observar que 1 par de tramos de *score* son iguales entre sí. Estos tramos corresponden a :

- Tramo 11 - Tramo 12

Los pares restantes de tramos de *score* son estadísticamente distintos entre sí.

7.2.13.1. Tasas de *Default* Observadas para tramos de *score* iguales segmento 9

A continuación, se presentan las medias marginales de las Tasas de *Default* Observadas desde enero del 2009 hasta diciembre del 2016 para los tramos de *score* iguales del segmento 9, con la finalidad de corroborar que los tramos mencionados anteriormente son iguales.

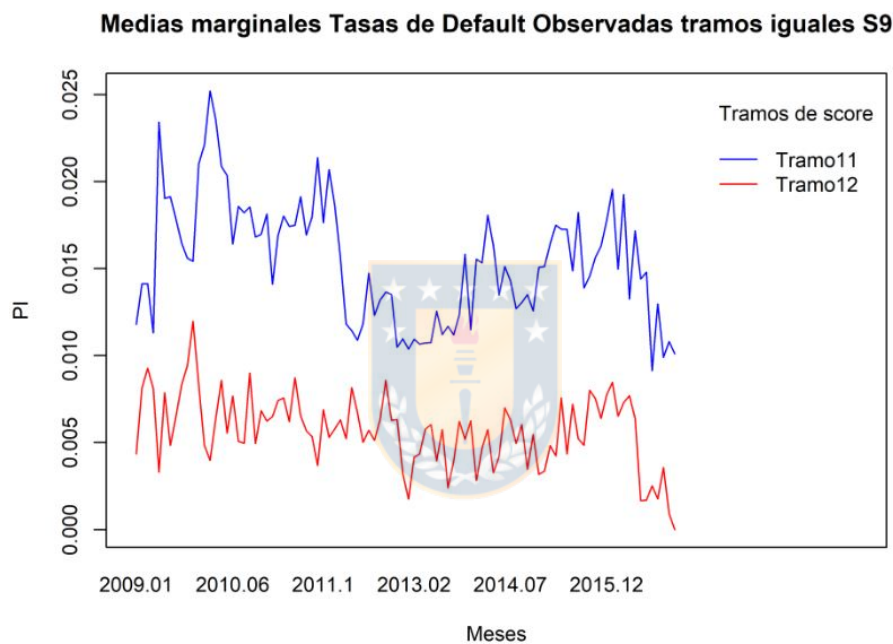


Figura 7.19: Tasas de *Default* Observadas para los tramos de *score* iguales en el segmento 9

7.3. Comparación de Modelos de efectos fijos y mixtos

Finalmente, se compararon ambos modelos, mediante el criterio de Akaike (AIC), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Modelos	AIC
Modelo de efectos fijos	-44284.6
Modelo de efectos mixtos	-48355.77

Cuadro 7.19: Comparación de modelos fijos y mixtos

No se observa una diferencia notoria en el AIC de ambos modelos, pero el modelo de efectos mixtos ajusta mejor a los datos, pues entrega un valor AIC más pequeño que el modelo de efectos fijos.



Capítulo 8

Conclusión

En este trabajo, los objetivos principales consisten en encontrar alguna metodología que permita comprobar que los segmentos y tramos de *score* sean estadísticamente distintos entre sí. Para cumplir tales objetivos, en primer lugar se utilizó un diseño experimental anidado y no balanceado, por las características que presentaron los datos.

Posteriormente, se ajustó un modelo de efectos fijos y un modelo de efectos mixtos, llegando a la conclusión que el modelo de efectos mixtos entrega resultados más robustos (mediante el criterio AIC), pues el modelo de efectos fijos no se debe utilizar cuando existe violación de supuestos. El modelo de efectos mixtos, tiene un mejor desempeño ante violaciones de supuestos clásicas.

Además, se realizó un Análisis de Varianza (comúnmente llamado ANOVA) en el modelo de efectos mixtos y se comprobó a través de un test de Tukey, cuales segmentos son estadísticamente distintos entre sí y cuales tramos de *score* dentro de cada segmento son estadísticamente distintos entre sí.

Cabe destacar, que utilizando un ANOVA en el modelo de efectos mixtos se logró generar un proceso estandarizado para la unidad de Validación de una entidad bancaria, impactando en los tiempos de ejecución (se reducen de seis días a uno).

Por lo tanto, ambos objetivos principales se cumplieron junto a todos los objetivos específicos de este proyecto.

Capítulo 9

Anexos

```
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#LIBRERÍAS\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#
```

```
library(lme4) \# librería para utilizar modelos mixtos  
library(car) \# librería para test homocedasticidad  
library(tseries) \#librería para test independencia  
library(multcomp) \#librería para test comparación múltiple  
library(emmeans) \#librería para test comparación múltiple  
library(nortest) \#librería para test normalidad  
library(lmerTest) \#librería para valores p modelos mixtos  
datos<-read.table(file.choose(),h=T)  
attach(datos)
```

```
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#Transformar variables en factores\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#
```

```
segmentos<-as.factor(Segmento)  
tramos<-as.factor(Tramo)  
meses<-as.factor(Mes)
```

```
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#MODELO LINEAL DE EFECTOS FIJOS\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#
```

```
modelo1<-lm(PI ~ segmentos+tramos%in%segmentos, na.action = na.exclude)  
AIC(modelo1)
```

```
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#Supuestos Residuales
```

```
residuos <- residuals(modelo1) \#Residuos del modelo de efectos fijos
```

```

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Valores ajustados

vajustados <- fitted(modelo1)

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\HOMOCEDEASTICIDAD

plot(residuos ~ vajustados, xlab="Valores ajustados",
ylab="Residuos", main="Residuos vs. ajustados")
abline(h=0)
leveneTest(residuos ~ segmentos)

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\NORMALIDAD

hist(residuos, main="Histograma de residuos", xlab="Residuos")
qqnorm(residuos,main="Normal Q-Q Plot de residuos")
qqline(residuos)
lillie.test(residuos)

#####INDEPENDENCIA

runs.test(as.factor(residuos[!is.na(residuos)]>
median(residuos[!is.na(residuos)])), alternative=c("two.sided"))
acf(residuos,na.action=na.exclude,main="ACF de los residuos")

#####MODELO LINEAL DE EFECTOS MIXTOS

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\ELEGIR LA ESTRUCTURA DE COVARIANZA

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\SIMETRIA COMPUESTA

modelo2<-lmer(PI~segmentos+tramos%in%segmentos+(1|meses),
REML=F,na.action=na.exclude)

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\DIAGONAL

modelo3<-lmer(PI~segmentos+tramos%in%segmentos+(1|meses),
REML=F,na.action=na.exclude)

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\NO ESTRUCTURADA

```



```

modelo4<-lmer(PI~segmentos+tramos\%in\%segmentos+(1|meses),
REML=F, na.action=na.exclude)
AIC(modelo2,modelo3,modelo4)

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Supuestos Residuales

residuos4<-residuals(modelo4)\#\#\#Residuos del modelo de efectos mixtos

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Valores ajustados

vajustados4<- fitted(modelo4)

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\HOMOCEASTICIDAD

plot(residuos4 ~ vajustados4,xlab="Valores ajustados",
ylab="Residuos", main="Residuos vs. ajustados")
abline(h=0)
leveneTest(residuos4 ~ segmentos)

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\NORMALIDAD

hist(residuos4,main="Histograma de residuos", xlab="Residuos")
qqnorm(residuos4 ,main="Normal Q-Q Plot de residuos")
qqline(residuos4)
lillie.test(residuos4)

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\INDEPENDENCIA

runs.test(as.factor(residuos4[!is.na(residuos4)])>
median(residuos4[!is.na(residuos4)]),alternative=c("two.sided"))
acf(residuos4,na.action=na.exclude,main="ACF de los residuos")

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

anova(modelo2,type="II")

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Comparación Múltiple Segmentos

mediamodelomixto<-emmeans(modelo4,"segmentos")
emmeans(mediamodelomixto,list(pairwise ~ segmentos),adjust="tukey")

```

```

\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\comparación múltiple Tramos
mediatramos$<$- emmeans(modelo4, "tramos")
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Tramos Segmento 1
emmeans(mediatramos[1:15],list(pairwise ~ tramos),adjust="tukey")
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Tramos Segmento 2
emmeans(mediatramos[16:30],list(pairwise ~ tramos),adjust="tukey")
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Tramos Segmento 3
emmeans(mediatramos[31:45],list(pairwise ~ tramos),adjust="tukey")
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Tramos Segmento 4
emmeans(mediatramos[46:60],list(pairwise ~ tramos),adjust="tukey")
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Tramos Segmento 5
emmeans(mediatramos[61:75],list(pairwise ~ tramos),adjust="tukey")
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Tramos Segmento 6
emmeans(mediatramos[76:90],list(pairwise ~ tramos),adjust="tukey")
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Tramos Segmento 7
emmeans(mediatramos[91:105],list(pairwise ~ tramos),adjust="tukey")
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Tramos Segmento 8
emmeans(mediatramos[106:120], list(pairwise ~ tramos),adjust="tukey")
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\Tramos Segmento 9
emmeans(mediatramos[121:135],list(pairwise ~ tramos),adjust="tukey")
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\MEDIAS MARGINALES SEGMENTOS IGUALES

```



```
xpd = NULL)
```

```
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#Medias marginales tramos iguales segmento 5
```

```
seg5tiguales<-read.table(file.choose(),h=T)
attach(seg5tiguales)
tramoseg5igual<-as.factor(Tramoseg5)
mesesseg5igual<-as.factor(Messeg5)
PIseg5<-PItseg5
interaction.plot(x.factor      = mesesseg5igual,
                 trace.factor  = tramoseg5igual,
                 trace.label   = "Tramos de score",
                 response      = PIseg5,
                 ylab="PI",
                 xlab="Meses",
                 fun = mean,
                 main="Medias marginales Tasas de Default
Observadas tramos iguales S5",
                 type="l",
                 lty=1, col=c("blue","green"),
                 pch = c(12, 17, 15),
                 fixed = TRUE,
                 legend = TRUE,
                 leg.bty = "n",
                 xpd = NULL)
```

```
\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#\#Medias marginales tramos distintos segmento 6
```

```
seg6tiguales<-read.table(file.choose(),h=T)
attach(seg6tiguales)
tramoseg6igual<-as.factor(Tramoseg6)
mesesseg6igual<-as.factor(Messeg6)
PIseg6<-PItseg6
interaction.plot(x.factor = mesesseg6igual,
                 trace.factor = tramoseg6igual,
                 trace.label = "Tramos de score",
                 response = PIseg6,
                 ylab = "PI",
                 xlab = "Meses",
                 fun = mean,
                 main = "Medias marginales Tasas de Default
```


Bibliografía

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. In *Selected Papers of Hirotugu Akaike*, pages 215–222. Springer.
- Aldrich, J. et al. (1997). R. A. Fisher and the Making of Maximum Likelihood 1912-1922. *Statistical science*, 12(3):162–176.
- Anziani, C. M. and Giacomozzi, A. M. (2015). La gestión del riesgo operacional en la banca chilena. *Oikos*, 19(40):47–70.
- Balzarini, M., Macchiavelli, R., and Casanoves, F. (2004). Aplicaciones de modelos mixtos en agricultura y forestería. *Curso de Capacitación Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE*.
- Basilea, C. (2006). International convergence of capital measurement and capital standards: a revised framework. *Bank for International Settlements, Basel, Switzerland*.
- Basilea, C. (2008). Principios para la adecuada gestión y supervisión del riesgo de liquidez. *Basilea: Banco de Pagos Internacionales*.
- BIS (2001). Basel Committee on Banking Supervision, Consultative Document, Operational Risk. Disponible en www.bis.org/publ/bcbsca07.pdf.
- Bravo, C., Maldonado, S., and Weber, R. (2010). Experiencias prácticas en la medición de riesgo crediticio de microempresarios utilizando modelos de credit scoring. *Revista de Ingeniería de Sistemas*, 24(1):69–88.
- Camara, M. (2014). Estimación de probabilidades de incumplimiento utilizando información de mercado. *Universidad de Chile*.
- Caouette, J. B., Caouette, J. B., Altman, E. I., and Narayanan, P. (1998). *Managing credit risk: the next great financial challenge*, volume 2. John Wiley & Sons.

- Capel Maiquez, R. (2016). Tratamiento del riesgo de liquidez en Basilea III y su impacto en la fijación de precios. *Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales (ICADE)*.
- Cardona, P. (2004). Aplicación de árboles de decisión en modelos de riesgo crediticio. *Revista colombiana de estadística*, 27(2):139–151.
- Carrero, O., Jerez, M., Macchiavelli, R., Orlandoni, G., and Stock, J. (2008). Ajuste de curvas de índice de sitiomediante modelos mixtos para plantaciones de eucalyptus urophylla en Venezuela. *Interciencia*, 33(4):265–272.
- Cepparo, G. A. (2007). Basilea II y el riesgo operacional en las entidades financieras. Tesis Final del Master en Administración Financiera. *Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas*.
- Chica, M. B., Arboleda, L. O., and Marín, I. C. V. (2006). Gestión del Riesgo de Mercado como herramienta de estabilidad económica. El caso colombiano. *AD-minister*, (9):167–178.
- Clavijo, S., Vera, A., Malagón, D., and González, A. (2012). Basilea III y el sistema bancario de Colombia: Simulaciones sobre sus efectos regulatorios. *Anif*, 23.
- Contreras, C. A. D. and Vera, D. R. (2001). Proceso de desintermediación financiera en Chile: una revisión. *Fórum Empresarial*, 6(2):2–20.
- Dabós, M. (2012). Credit scoring. *Universidad de Belgrano*, pages 1–5.
- Einot, I. and Gabriel, K. R. (1975). A study of the powers of several methods of multiple comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 70(351a):574–583.
- Galán Cortina, V. (2016). Aplicación de la metodología CRISP-DM a un proyecto de minería de datos en el entorno universitario. *B.S. thesis, Universidad Carlos III de Madrid*.
- García, B. H. (2004). La supervisión de los bancos y el rol del Comité de Basilea para la Supervisión Bancaria. *Contaduría y Administración*, (212):41–47.
- García Hanson, J. and Salazar Escobar, P. (2005). Métodos de Administración y Evaluación de riesgos. *Universidad de Chile*.
- Garrido Torres, A. (1991). Crisis bancarias y regulación financiera: el seguro de depósitos. *Documento de trabajo*, (22/91).

- Gelman, A. and Hill, J. (2006). *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*. Cambridge university press.
- Girón, A. (2002). *Crisis financieras*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, Miguel Ángel Porrúa.
- Gitman, L. and Zutter, C. (2012). Principios de administración financiera. *México DF: Editorial Pearson Educación de México SA de CV Recuperado de <http://ebooks7-24.ezproxy.uniminuto.edu>*, 8000.
- Gómez, M. A. (2004). Los acuerdos bancarios de Basilea en perspectiva. *Revista del Banco de la República*, 77(920):107–133.
- Gómez, S., Torres, V., García, Y., Fraga, L., Sarduy, L., and Savón, L. L. (2012). Comparación de modelos de efectos fijos y mixto en el análisis de un experimento con cepas mutantes de hongos celulolíticos *Trichoderma viride*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(2):127–131.
- González, L. H. U. (2003). El Comité de Basilea y la supervisión bancaria. *Vniversitas*, (105):431–462.
- Granados, R. M. (2011). Efectos fijos o aleatorios: test de especificación. *Universidad de Granada*, pages 1–5.
- Grinstein, G., Fayyad, U., and Wierse, A. (2002). *Information visualization in data mining and knowledge discovery*. Morgan Kaufmann.
- Hinojosa, J. and Ernst & Young, G. d. I. F. (2014). Gestión Riesgo de tipo de cambio. *Grupo de Instrumentos Financieros Ernst & Young*.
- Huck, S. W. (2000). *Reading statistics and research, 3th ed. International Edition*, Pearson Education Inc. Harper & Row New York.
- Internal Auditors, I. (2013). Las Tres Líneas de Defensa para una Efectiva Gestión de Riesgos y Control. *Altamonte Springs, USA: The Institute of Internal Auditors*.
- Kao, D.-L. (2000). Estimating and pricing credit risk: An overview. *Financial Analysts Journal*, 56(4):50–66.
- Kapš, M. and Lamberson, W. (2009). Biostatistics for animal science: an introductory text.
- Lagla, G. A. F., Moreano, J. A. C., Arequipa, E. E. Q., and Quishpe, M. W. V. (2019). Minería de datos como herramienta estratégica. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 3(1):955–970.

- Laird, N. M., Ware, J. H., et al. (1982). Random-effects models for longitudinal data. *Biometrics*, 38(4):963–974.
- Mascareñas, J. (2008). Riesgos económico y financiero. *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas*, page 17.
- Mata, B. V. (2016). Selección de modelos en modelos lineales mixtos. Aplicación a datos económicos de la Comunidad de Galicia. *Universidade da Coruña*.
- Matus, J. M. (2007). Indicadores de Riesgo de Crédito: Evolución de la normativa. *Manuscript*.
- Mendoza, A. et al. (2009). La crisis económica y sus implicaciones para México. *Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. México*.
- Moine, J. M., Haedo, A. S., and Gordillo, S. E. (2011). Estudio comparativo de metodologías para minería de datos. In *XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*.
- Montgomery, D. (1991). Diseño y análisis de experimentos. 589 p. *Grupo Editorial Iberoamericana SA, México*.
- Navarro, C. (1998). La crisis financiera asiática y su impacto en el comercio silvoagropecuario. *Temporada Agrícola n 11, ODEPA*, pages 1–24.
- Ohlson, J. A. (1980). Financial ratios and the probabilistic prediction of bankruptcy. *Journal of accounting research*, 18(1):109–131.
- Olarte, J. C. (2006). Incertidumbre y evaluación de riesgos financieros. *Scientia et Technica*, 12(32):347–350.
- Press, S. J. and Wilson, S. (1978). Choosing between logistic regression and discriminant analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 73(364):699–705.
- Ramsey, F. and Schafer, D. (2012). *The statistical sleuth: a course in methods of data analysis*. Cengage Learning.
- Reinhart, C. M. and Rogoff, K. S. (2011). From financial crash to debt crisis. *American Economic Review*, 101(5):1676–1706.
- Reise, S. P. and Duan, N. (2003). *Multilevel modeling: Methodological advances, issues, and applications*. Psychology Press.

- Reserve, F. (2011). Supervisory guidance on model risk management. *Board of Governors of the Federal Reserve System, Office of the Comptroller of the Currency, SR Letter*, pages 11–7.
- Rodríguez, J. M. and Ariza, F. (2015). El riesgo de modelo en la industria bancaria y aseguradora: Propuestas para su evaluación, control y mitigación (concreción en el riesgo de longevidad). *Análisis Financiero*, (129):52–66.
- Sánchez, L. (2015). COSO ERM y la gestión de riesgos. *Quipukamayoc*, 23(44).
- Saunders, A. and Allen, L. (2002). *Credit risk measurement: new approaches to value at risk and other paradigms*, volume 154. John Wiley & Sons.
- Scandizzo, S. (2016). *The validation of risk models: A handbook for practitioners*. Springer.
- Seltzer, M. and Choi, K. (2002). Sensitivity analysis for multilevel models. *Multilevel modeling: Methodological advances, issues, and applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Shaw, R. G. and Mitchell-Olds, T. (1993). ANOVA for unbalanced data: an overview. *Ecology*, 74(6):1638–1645.
- Snijders, T. A. (2005). Fixed and random effects. *Encyclopedia of statistics in behavioral science*.
- Solé, J. G. (2011). Los requisitos de capital de Basilea III y su impacto en el sector bancario. *Documentos de economía, La Caixa*, (24):1.
- Sotomayor, J. (2011). Análisis y evolución del mercado financiero de los Estados Unidos posterior a la crisis financiera mundial 2008 y principales lecciones para el Ecuador contemporáneo. B.S. thesis, Universidad del Azuay.
- Sotomayor, S. (2012). Estimación de la pérdida esperada para una cartera de microcrédito basada en calificaciones internas. B.S. thesis, QUITO: 2012.
- Spilke, J., Piepho, H., and Hu, X. (2005). Analysis of unbalanced data by mixed linear models using the MIXED procedure of the SAS system. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191(1):47–54.
- Stupariu, P. F. (2016). *El marco regulatorio para riesgo de mercado basado en modelos VaR de Basilea II: un análisis en el contexto de la crisis financiera del año 2007*. Universidad Complutense de Madrid.

- Trejo García, J. C., Ríos Bolívar, H., and Almagro Vázquez, F. (2016). Actualización del modelo de riesgo crediticio, una necesidad para la banca revolvante en México. *Revista Finanzas y Política Económica*, Vol. 8, no. 1 (ene.-jun. 2016); p. 17-30. <http://dx.doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2016.8.1.2>.
- Valle, A. (2002). Dos crisis de inicio de siglo: EUA y México. *Filosofía, política y economía en el Laberinto*, (9):105–114.
- Van Berkel, A. and Siddiqi, N. (2012). Building Loss Given Default Scorecard Using Weight of Evidence bins in SAS® enterprise miner™. In *Proceedings of the SAS Global Forum 2012 Conference*. Citeseer.
- Vega, M. (2015). Riesgo de liquidez y una aproximación hacia las necesidades de activos líquidos de alta calidad de la banca chilena, en el contexto de Basilea III.
- Vélez, J. Q., Gallo, J. S., and Cerón-Muñoz, M. (2007). Modelos mixtos no lineales en curvas de lactancia de búfalas en un sistema de producción orgánica en el Magdalena Medio Antioqueño (Colombia). *Livest. Res. Rural Develop.*, 4:52 – 65.

