

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

“ELABORACIÓN DE UN MODELO DE PRESUPUESTO DE RIESGO PARA LA
CARTERA DE INVERSIÓN DEL BCCR”

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Administración y Dirección de Empresas para optar al grado y título de Maestría Profesional en Administración y Dirección de Empresas con Énfasis en Finanzas.

GUSTAVO ADOLFO VALVERDE MORA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2021

Dedicatoria

A mi esposa Rebeca y nuestros amados hijos Abigaíl y Emilio. A mis papás Humberto y Grethel, mis sobrinas Valeria, Irina y Fiorela y, a la memoria de mi hermana Natalia.

Agradecimientos

La culminación de esta maestría no hubiese sido posible sin la ayuda y el apoyo de mi esposa Rebeca y mis hijos Abigaíl y Emilio. Les agradezco profundamente por haberme dado la oportunidad de crecer profesionalmente con esta maestría mientras sacrificábamos tiempo en familia.

Le agradezco al profesor guía don Jorge Vargas por sus recomendaciones para mejorar la calidad del documento, al profesor Mario Ramos, primero por darme la oportunidad de realizar el trabajo para el Departamento de Administración de Reservas del Banco Central de Costa Rica y segundo por el seguimiento y revisión al trabajo. También a don Érick Chaves, funcionario del mismo departamento, por todas las reuniones que sostuvimos y que me permitieron entender mejor algunos procesos de la gestión de las reservas.

Finalmente, le agradezco al resto de profesores de la maestría por los conocimientos que me transmitieron y a mis compañeros de maestría por hacer tan agradable esta experiencia. En especial, agradezco el trabajo en equipo y la amistad de Ana Eugenia Quesada, Johana Sáenz, Manuel Flores y Allan Quesada.

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Administración y Dirección de Empresas de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Administración y Dirección de Empresas con Énfasis en Finanzas”

MBA José Luis Chavarría Espinoza
**Decano o Representante del Decano
Sistema de Estudios de Posgrado**

MBA Jorge Vargas Salazar
Profesor Guía

M. Sc. Mario Ramos Esquivel
Lector Académico

M. Sc. Érick Chaves Jiménez
Lector de Empresa

M. Sc. Rídiguer Artavia Barboza
Director

Programa de Posgrado en Administración y Dirección de Empresas

Gustavo Adolfo Valverde Mora
Sustentante

Tabla de Contenido

Portada.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Hoja de aprobación	iv
Tabla de Contenido	v
Resumen.....	viii
Lista de Cuadros	ix
Lista de Figuras.....	x
Lista de Abreviaturas.....	xi
Glosario.....	xii
Introducción	1
Justificación	2
Área de estudio	4
Identificación del problema	4
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos:	5
Alcance	5
Limitaciones.....	6
Marco metodológico de la investigación.....	7
Capítulo 1: Descripción de los bancos centrales y perspectivas teóricas de la investigación	9
1.1 Bancos centrales y sus funciones.....	9
1.1.1 Funciones de los bancos centrales	9
1.1.2 Reservas de divisas	11
1.1.3 Carteras de los bancos centrales	12
1.2 La economía mundial y nuevas tendencias de bancos centrales.....	12
1.3 Perspectivas teóricas de inversiones de renta fija	14
1.3.1 Retorno y riesgo de activos individuales	17
1.3.2 Retorno y riesgo de una cartera de activos	17
1.4 Perspectivas teóricas de asignación estratégica	19
1.4.1 Asignación de activos	22
1.5 Perspectivas teóricas de asignación de riesgo.....	24
Capítulo 2: Descripción del BCCR.....	28

2.1	Historia del BCCR.....	28
2.2	Ley Orgánica.....	28
2.2.1	Funciones esenciales.....	29
2.3	Plan Estratégico 2020-2023.....	30
2.3.1	Misión.....	30
2.3.2	Visión.....	30
2.3.3	Valores.....	30
2.4	Estructura organizativa.....	32
2.5	Recurso humano del BCCR.....	38
2.6	Regulación interna.....	40
2.7	Servicios del BCCR.....	41
2.8	Activos, pasivos y patrimonio del BCCR.....	42
2.9	Gestión de riesgo del BCCR.....	43
2.10	Análisis FODA.....	44
2.10.1	Fortalezas.....	44
2.10.2	Oportunidades.....	45
2.10.3	Debilidades.....	45
2.10.4	Amenazas.....	46
Capítulo 3: Gestión de las reservas de divisas del BCCR		47
3.1	Cartera de Liquidez en Dólares.....	49
3.2	Cartera de Liquidez en Euros.....	49
3.3	Cartera de Bonos en Dólares.....	50
3.4	Cartera de Bonos Soberanos con Cobertura Cambiaria.....	52
3.5	Recursos del BCCR para la gestión de carteras.....	53
3.6	Composición de las reservas actuales.....	54
3.7	Retorno de las reservas.....	58
3.8	Proceso actual de gestión de reservas.....	59
Capítulo 4: Asignación Óptima del Presupuesto de Riesgo		63
4.1	Problema de optimización en Python.....	63
4.1.1	Formulación de la función objetivo.....	63
4.1.2	Formulación de las restricciones.....	64
4.2	Descripción de los <i>Solvers</i>	65
4.2.1	Xpress.....	66
4.2.2	Gurobi.....	67
4.2.3	CPLEX.....	68
4.2.4	Ejemplo ilustrativo del gestor externo Banco Mundial.....	70
4.3	Desarrollo de herramienta.....	72
4.3.1	Estructura de la herramienta.....	73
4.3.2	Interfaz gráfica.....	74
4.4	Resultados del modelo de presupuesto de riesgo.....	78
4.4.1	Asignación de riesgo a cartera con 5 estrategias.....	78
4.4.2	Asignación de riesgo a cartera con 25 estrategias.....	80

4.5	Beneficios esperados para el BCCR	83
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones		85
5.1	Conclusiones	85
5.2	Recomendaciones	86
Referencias.....		88
Anexo A.....		90
Anexo B.....		94

RESUMEN

En este proyecto se elaboró una herramienta de Presupuesto de Riesgo en el lenguaje de programación Python que ayudará a mejorar la administración de las reservas de divisas del Banco Central de Costa Rica (BCCR). El uso de esta nueva herramienta permitirá que las decisiones de inversión de los gestores sean mejor justificadas, distribuyendo el presupuesto de riesgo de la cartera del BCCR en aquellas estrategias (negociaciones) con mejor retorno.

La herramienta de presupuesto de riesgo consiste en la solución de un problema de optimización con una función objetivo lineal, que maximiza el retorno de la cartera, y al menos una restricción de desigualdad cuadrática, para asegurar que no se supera el error de seguimiento máximo establecido por la administración del BCCR. Este problema de optimización se resolvió satisfactoriamente con los solvers *Xpress* y *Gurobi*.

Con el nuevo modelo de presupuesto de riesgo se podrá reasignar el riesgo del portafolio en las estrategias que tengan la mejor relación de retorno esperado y riesgo. El presupuesto de riesgo le permitirá al BCCR identificar en cuáles estrategias son muy buenos los gestores y en cuáles no. De esta forma se abre la oportunidad de focalizarse en las estrategias con mejor desempeño desde el punto de vista retorno/riesgo.

La nueva metodología de presupuesto de riesgo colocará al BCCR dentro de un selecto grupo de bancos centrales que apoyan sus decisiones de inversión en esta herramienta financiera, cumpliendo con las mejores y más modernas prácticas de gestión de carteras a nivel internacional. Ninguna institución en Costa Rica dispone de un marco de análisis como el propuesto, y no existe ningún otro banco central en Centroamérica que cuente con este instrumento de análisis. Precisamente, la importancia de la metodología de Presupuesto de Riesgo es que ayudará al BCCR a identificar la combinación óptima de estrategias de inversión cumpliendo los objetivos de la autoridad monetaria, reduciendo la probabilidad de resultados negativos en el portafolio.

Lista de Cuadros

Cuadro 1: Comparación entre asignación de activos y riesgo.	24
Cuadro 2: Asignación de scores de estrategias.	26
Cuadro 3: Datos de estrategias en ejemplo propuesto por el Banco Mundial.	71
Cuadro 4: Comparación de resultados del problema de optimización.	71
Cuadro 5: Datos de entrada de características de las estrategias de cartera.....	81

Lista de Figuras

Figura 1: Curva de rendimiento típica. Elaboración propia.....	15
Figura 2: Organigrama del Banco Central. Fuente y elaboración del BCCR.....	33
Figura 3: Estructura Organizativa de la División de Gestión de Activos y Pasivos. Fuente y elaboración del BCCR.	36
Figura 4: Jerarquía Documental. Elaboración propia con información del BCCR.	40
Figura 5: Recursos Informáticos para la Gestión de Carteras. Fuente y elaboración del BCCR.....	54
Figura 6: Evolución de las reservas de divisas. Fuente y elaboración BCCR.	54
Figura 7: Composición relativa de las carteras de reservas en el año 2021. Fuente BCCR.	56
Figura 8: Evolución de la exposición de las reservas por calificación crediticia. Fuente y elaboración BCCR.	56
Figura 9: Composición de las reservas por sector. Fuente y elaboración BCCR.	57
Figura 10: Estrategias usadas de la cartera de Inversión en el año 2020. Fuente BCCR.	58
Figura 11: Retorno de las carteras y los índices de referencia en el segundo semestre del 2020. Fuente y elaboración BCCR.	59
Figura 12: Diagrama de flujo del proceso de gestión de carteras en el BCCR.....	60
Figura 13: Estructura de herramienta en Python. Elaboración propia.	73
Figura 14: Interfaz gráfica de la herramienta.....	75
Figura 15: Formato de datos de entrada en hoja Estrategias.	75
Figura 16: Formato de datos de entrada en hoja Correlaciones.....	76
Figura 17: Formato de datos de entrada en hoja Portafolio.	76
Figura 18: Visualización de los datos de entrada de 3 estrategias.....	78
Figura 19: Gráfico tipo radar de los resultados de la optimización para 5 estrategias.	80
Figura 20: Gráfico tipo radar de los resultados de la optimización para 25 estrategias.	82

Lista de Abreviaturas

API	Interfaz de programación de aplicación, por su nombre en inglés
BCCR	Banco Central de Costa Rica
BNCR	Banco Nacional de Costa Rica
CGR	Contraloría General de la República
CONASSIF	Consejo Nacional de Supervisión del Sistema Financiero
CR	Comisión de Reservas
ESF	Estado de Situación Financiera
FODA	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas
IC	Coficiente de información, por su nombre en inglés
IR	Razón de información, por su nombre en inglés
JD	Junta Directiva
pbs	Puntos base
PIB	Producto Interno Bruto
REA	Retorno en exceso sobre índice de referencia
RIN	Reservas Internacionales Netas
SAA	Asignación estratégica de activos, por su nombre en inglés
SUGEF	Superintendencia General de Entidades Financieras de Costa Rica
SUGESE	Superintendencia General de Seguros de Costa Rica
SUGEVAL	Superintendencia General de Valores de Costa Rica
SUPEN	Superintendencia de Pensiones de Costa Rica
TE	Error de seguimiento, por su nombre en inglés
US	Estados Unidos, por su nombre en inglés
USA	Estados Unidos de América, por su nombre en inglés
USD	Dólares de Estados Unidos de América
VaR	Valor en riesgo, por su nombre en inglés
VF	Valor facial del bono

Glosario

Asignación de presupuesto de riesgo: Es una metodología que se encarga de distribuir el riesgo entre las estrategias de la cartera al tiempo que se maximizan los rendimientos esperados.

Asignación estratégica de activos: es una estrategia de inversión de mediano o largo plazo que le ayuda al gestor de inversión a determinar qué porcentaje de sus activos debe estar en los diferentes instrumentos disponibles. Por ejemplo, acciones, bonos y efectivo.

Asignación táctica de activos: Proceso de asignación y ponderación a corto plazo de activos con el fin de aprovechar oportunidades de mercado para mejorar la rentabilidad o reducir exposición a algunas clases de activos que presenten un potencial riesgo.

Bono: Títulos de deuda en el que el prestatario paga cupones en cada periodo, pero no realiza abonos al principal, cuyo monto total solo se paga al final del préstamo.

Cupones: Pagos regulares de interés de un bono.

Desviación estándar: es una medida que se utiliza para cuantificar la variación o la dispersión de un conjunto de datos numéricos.

Encaje mínimo legal: Es un porcentaje de las obligaciones que los intermediarios financieros deben mantener como reserva, bajo la forma de efectivo, en sus bóvedas o en el Banco Central y, que no puede ser usado para realizar actividades de intermediación financiera.

Error de seguimiento (“Tracking Error”): es una medida de riesgo y mide la dispersión entre los retornos de la cartera y los retornos del índice de referencia durante cierto periodo de tiempo.

Índice de referencia: Es una cartera ficticia creada para disponer de un punto de comparación contra el cual se puede confrontar el rendimiento y riesgo de una cartera de inversión.

Problema o proceso de optimización: Es el problema de encontrar la mejor solución de todas las opciones posibles.

Punto base: Es la centésima parte de un punto porcentual, denotado por pb. Es decir 1 pb es 0.01%.

Rendimiento al vencimiento de un bono: Es el rendimiento que se obtendría si el bono se mantuviera hasta su vencimiento, si los pagos de cupones y principal se cumplen y si los cupones se reinvierten a la tasa de interés inicial.

Reservas de divisas: Son activos externos de los bancos centrales denominados en cualquier moneda extranjera y que disponen de una alta liquidez.

Retorno de una cartera (portafolio): Es el promedio ponderado de los retornos esperados de los activos o estrategias individuales que conforman la cartera.

Stop loss (toma de pérdidas): Es la acción de venta de un activo (bono) cuando su precio ha caído (aumentado) por debajo de un precio predeterminado y que evita una pérdida mayor a su dueño en caso de mantenerlo.

Take profit (toma de ganancias): Es la acción de venta (compra) de un activo (bono) cuando éste ha aumentado (disminuido) su precio por arriba de un valor predeterminado y que le permite a su dueño obtener una ganancia por su venta.

Títulos de renta fija: Son obligaciones que una entidad se compromete a pagar una suma determinada de dinero a los inversionistas en fechas futuras determinadas.

Valor en riesgo: es una medida de riesgo y mide la pérdida máxima esperada en valor de mercado de una posición dada que se espera ocurra con cierta probabilidad en cierto rango

de tiempo (generalmente un año), explicado por cambio en las tasas de interés o de los tipos de cambio.

Valor nominal de un bono: Monto principal que paga el emisor a la fecha de vencimiento. También se le llama valor par del bono.

Varianza: Es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Gustavo Adolfo Valverde Mora, con cédula de identidad 1-1174-0783, en mi condición de autor del TFG titulado Elaboración de un modelo de presupuesto de riesgo para la cartera de inversión del BCCR.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

Introducción

El Banco Central de Costa Rica (BCCR) es una institución autónoma de Costa Rica de derecho público, con personalidad jurídica y patrimonio propios, que forma parte del Sistema Bancario Nacional.

Uno de los objetivos principales del BCCR es velar por el buen uso de las reservas monetarias internacionales de Costa Rica para el logro de la estabilidad económica general. Por esto, el Banco está encargado de la custodia y la administración de las reservas, valoradas en USD 7.169 millones (datos a abril del 2021), por lo que las inversiones que se realizan en los mercados internacionales deben basarse en criterios de minimización del riesgo de pérdidas de estos activos y de liquidez.

Actualmente, el BCCR invierte estos recursos en instrumentos de renta fija a nivel internacional. Estos instrumentos son un tipo de inversión que brinda un flujo de efectivo fijo y que es pagado de forma periódica. De acuerdo con las políticas de gestión de las reservas del Banco, este trabaja bajo lineamientos y restricciones consistentes con un bajo nivel de tolerancia al riesgo.

Las inversiones de la cartera de bonos del BCCR pueden efectuarse en gobiernos soberanos, bancos centrales, agencias gubernamentales, entidades oficiales y entidades supranacionales o multilaterales, cuya calificación de riesgo propio o soberano de largo plazo, sea igual o superior a AA-, AA3 o AA-, según las agencias calificadoras de riesgo internacional de Standard & Poor's, Moody's Investor Services o Fitch, respectivamente. El desempeño de esta cartera se debe contrastar con el índice de referencia de bonos del Tesoro de los Estados Unidos con plazo al vencimiento entre uno y tres años, lo cual permite calcular el error de seguimiento de la cartera.

Como parte de la política de gestión de las reservas de divisas, los gestores del BCCR deben establecer reglas para determinar los niveles de entrada en estrategias relacionadas con el

riesgo de tasa de interés (duración o posición, así como el *spread* en la curva de rendimiento). Al realizar cada estrategia, se establecen también los niveles de salida dada la situación del mercado en ese momento. Por esto, en el ejercicio de sus funciones, los gestores de inversión del BCCR compran y venden activos de acuerdo con las condiciones del mercado para maximizar los rendimientos, subordinado al cumplimiento de los límites de riesgo para lograr los objetivos principales de conservación del capital y liquidez del Banco.

Específicamente, en este proyecto se pretende elaborar una herramienta de Presupuesto de Riesgo que ayude a mejorar la administración de las reservas de divisas del BCCR, optimizando previo a la negociación, los niveles de riesgo de las diferentes estrategias de la cartera. Para ello se requiere conocer previamente el valor esperado, la volatilidad de los títulos y sus correlaciones.

A partir de esta información, se pretende reasignar el riesgo del portafolio con respecto a su índice de referencia (medido a través del error de seguimiento) en aquellas estrategias que tengan la mejor relación de retorno esperado y riesgo.

Justificación

El riesgo de mercado y de crédito de la cartera del BCCR se refleja en los índices de referencia de cada cartera y se definen en un proceso conocido como asignación estratégica de activos (SAA por sus siglas en inglés), este es el paso más importante de la gestión de carteras y define más del 90% del riesgo total de la cartera.

Posteriormente, a partir de cuánto se invierte en cada índice de referencia, los gestores de portafolio toman la decisión de separarse de estos índices (proceso conocido como gestión activa), aumentando marginalmente el riesgo de la cartera cuyo valor máximo de dispersión es de 50 p.b. (puntos base).

Cada vez que los gestores compran un bono distinto al del índice de referencia, aumentan el nivel riesgo de la cartera, medido por el error de seguimiento. Sin embargo, dependiendo de las correlaciones, es posible que algunas de estas decisiones de inversión ayuden a diversificar la cartera, lo cual se reflejaría en una disminución del error de seguimiento, o sea, una reducción del riesgo.

Actualmente, los impactos en el error de seguimiento de la cartera y el aporte de cada estrategia solo se conocen hasta el día después de ejecutada la negociación. Es decir, antes de tomar una posición, los gestores no conocen exactamente el impacto que tendrá su decisión de inversión en el error de seguimiento y esto, en algunas situaciones, ha limitado el aprovechamiento de oportunidades, particularmente, cuando el error de seguimiento se encuentra cerca de su valor máximo permitido o cuando se dejan de tomar decisiones de inversión que pudieron haber contribuido a reducir el riesgo de la cartera, pues eran negociaciones con correlación negativa de las estrategias actuales.

El Banco adolece de un proceso de optimización (simulación) para determinar previamente a una negociación, cuánto riesgo contribuye cada una de las estrategias al error de seguimiento. El uso de esta nueva herramienta permitirá que las decisiones de inversión de los gestores sean mejor justificadas, distribuyendo el presupuesto de riesgo de la cartera del BCCR en aquellas estrategias (negociaciones) con mejor retorno.

A través del modelo de Presupuesto de Riesgo será posible distribuir el riesgo de una forma eficiente y explícita entre las diferentes estrategias. Una de las debilidades del proceso actual, se refiere a que los gestores podrían estar utilizando una gran parte de este riesgo en estrategias (títulos valores) que no tengan un retorno esperado suficientemente alto; por el contrario, estar dejando de lado (con un menor peso) estrategias que ayuden a diversificar el riesgo.

Área de estudio

El área de estudio son las estrategias de inversión y el manejo de riesgos de inversiones financieras. Los productos del ejercicio de optimización de Presupuesto de Riesgo son los riesgos óptimos de cada estrategia en la cartera de inversión del Banco.

Identificación del problema

El BCCR trabaja actualmente con alrededor de cinco estrategias de inversión que no deben sobrepasar en conjunto con el límite máximo de error de seguimiento de 50 p.b., establecido por la administración. Se quiere mejorar el proceso de gestión de reserva a través de la implementación de una metodología de presupuesto de riesgo de forma de que previo a cada negociación se conozca su aporte al error de seguimiento

Hoy, todas las decisiones que realizan los gestores de inversión se basan en las oportunidades identificadas en el mercado y en la expectativa sobre el movimiento de las tasas de interés y los spreads de crédito, es decir, se enfoca principalmente en el retorno esperado de la estrategia; pero se quiere complementar por criterios más robustos, sistemáticos y basados en una metodología que permita conocer de previo si una negociación aumenta o disminuye el riesgo de la cartera. De esta forma se alcanzaría un mejor balance entre retorno y riesgo en las decisiones de inversión.

En este proyecto se elaborará un modelo de presupuesto de riesgo que sirva a los gestores de inversión del BCCR como herramienta de trabajo, para que tomen decisiones con mayor justificación técnica, por medio de una formulación matemática que asigne de manera óptima el presupuesto de riesgo a las estrategias actuales y que se maximicen los retornos esperados por el Banco.

Este nuevo modelo pretende brindar información anticipada a los gestores de cuánto va a afectar su decisión en el riesgo de la cartera, algo que a la fecha no se tiene.

Objetivo general

Diseñar un modelo de Presupuesto de Riesgo para la cartera de Inversión del BCCR por medio de una formulación matemática que asigne de manera óptima el presupuesto de riesgo a las estrategias actuales, maximizando los retornos esperados por el Banco. Es decir, optimizar el uso del límite de desviación con respecto al índice de referencia (error de seguimiento) para alcanzar mayores retornos ajustados por riesgo para la cartera.

Objetivos específicos:

- Describir las funciones de los bancos centrales y establecer las perspectivas teóricas necesarias para este trabajo.
- Desarrollar un análisis del BCCR, su estructura organizacional, funciones y de la gestión de las reservas del Banco, el entorno en el que se desempeña el Banco para establecer la línea base de trabajo.
- Caracterizar el proceso de asignación de inversiones que utiliza actualmente el BCCR y definir la oportunidad de mejora por medio de la implementación de un presupuesto de riesgo.
- Proponer un modelo de Presupuesto de Riesgo para la cartera de Inversión del BCCR tomando en cuenta la práctica actual y las necesidades del Banco.
- Brindar recomendaciones de uso e interpretación del modelo propuesto para funcionarios del BCCR.

Alcance

La nueva metodología de presupuesto de riesgo se limitará a la optimización de las estrategias actuales sin tomar en cuenta pronósticos o nuevas estrategias que el BCCR esté valorando para los siguientes meses o años.

Además, solo se considerarán las estrategias de la Cartera de Bonos en Dólares y se trabajará con el error de seguimiento del índice de referencia de US Treasuries de 1-3 años (con un

monto de alrededor de \$1.140 millones). No se tomarán en cuenta otras medidas de riesgo como el valor en riesgo (VaR por sus siglas en inglés) para la nueva metodología.

Por su parte, las curvas de los retornos necesarias para modelar el error de seguimiento serán calculadas por el BCCR y no serán parte del desarrollo de este proyecto. Las carteras de liquidez y de cobertura cambiaria tampoco forman parte del alcance de este proyecto.

El modelo se programará en el lenguaje de programación de Python y no se comparará con otros software o lenguajes de programación como Matlab, Excel o la herramienta de estadística R.

En el trabajo no se realizará una búsqueda exhaustiva de todos los *solvers* de optimización disponibles en el mercado con capacidad de trabajar con restricciones cuadráticas. Más bien, los esfuerzos se enfocan en buscar *solvers* robustos que puedan ser adquiridos por el BCCR.

Finalmente, el presente trabajo se desarrolla en un período de 8 meses, por lo tanto, cualquier cambio del alcance queda sujeto a la posibilidad de adaptarlo en el período establecido.

Limitaciones

La formulación matemática de asignación de presupuesto solo trabaja con el error de seguimiento de la cartera como medida de riesgo, pues es la métrica seleccionada por el BCCR. El proyecto no hace análisis de otras métricas ni la conveniencia de utilizar otras para ser usado por el Banco en su modelo de presupuesto de riesgo.

Por su parte, los resultados que se presentan en este proyecto se limitan al número de estrategias que el BCCR tiene capacidad de calcularles el coeficiente de información respectivo, la volatilidad, la puntuación (score) y la correlación con las demás estrategias. Sin embargo, el modelo y herramienta se programa de manera generalizada para N_p

estrategias. A medida que el BCCR tenga disponible más información desagregada de cada una de sus estrategias, podrá incluirlas en el modelo desarrollado en este trabajo.

Los cálculos de optimización se realizaron únicamente con los *solvers* Gurobi, CPLEX y Xpress que dieron resultados muy similares en todas las pruebas realizadas.

Marco metodológico de la investigación

La investigación propuesta es del tipo mixta. Es decir, tendrá una componente cualitativa por el hecho que se realizarán entrevistas a los gestores de inversión del BCCR para caracterizar la forma como actualmente se realiza la asignación de dinero en las diferentes estrategias de inversión. Por otra parte, la metodología tendrá un fuerte componente cuantitativo pues los resultados del estudio saldrán de un modelo matemático de optimización que permitirá obtener un presupuesto de riesgo en la cartera de inversión del Banco.

Como punto de partida, el BCCR brindará información del modelo de presupuesto que desean ejecutar por medio del problema de optimización. Luego, se analizará y definirá, junto con el BCCR, la herramienta de optimización de acuerdo con la función objetivo y las restricciones del problema. Para esto se buscarán los *solvers* disponibles en el mercado que son capaces de resolver el tipo de problema de optimización del proyecto. También se le consultará al BCCR la forma como desean que se reporten los resultados del modelo de presupuesto de riesgo, entre ellos tablas, gráficos y figuras.

Los históricos de los retornos de los títulos, como la volatilidad y correlaciones que son datos de entrada del modelo, serán brindados por el Banco mientras que el modelo matemático será formulado en la herramienta de optimización seleccionada. A partir de este punto se probará el modelo de presupuesto de riesgo ante diferentes datos de entrada y se verificará su correcto funcionamiento. Los datos de cada prueba, la asignación del riesgo a cada estrategia analizada, se guardarán en archivos de Microsoft Excel y luego se utilizarán para realizar las comparaciones de los resultados según los diferentes escenarios y datos de entrada utilizados. Finalmente, se realiza un análisis de los resultados obtenidos y se brindan recomendaciones

al BCCR sobre cómo utilizar la herramienta desarrollada en el lenguaje de programación Python.

Capítulo 1: Descripción de los bancos centrales y perspectivas teóricas de la investigación

1.1 Bancos centrales y sus funciones

Un banco central es una autoridad nacional independiente que conduce la política monetaria de un país, regula los bancos a nivel local, provee servicios financieros a otros bancos y se encarga de publicar datos y estadísticas de la situación económica de los países (Amadeo, 2020). La política monetaria corresponde a las acciones de un país, por medio de su banco central, para garantizar la estabilidad de los precios y el crecimiento económico.

Justamente, las principales metas de los bancos centrales son: estabilizar la moneda local, mantener bajos los niveles de desempleo, por medio de la reactivación o crecimiento económico, y controlar la inflación.

1.1.1 Funciones de los bancos centrales

Los bancos centrales son una parte integral del sistema financiero y económico que conocemos actualmente y son las únicas instituciones autorizadas de emitir dinero en cada país. Se hace así por uniformidad, simplicidad, mejor control y supervisión con respecto a varios bancos haciendo esta función en un mismo país. De esta forma, los bancos regulan la moneda y la oferta monetaria en la economía de los países.

Los bancos centrales desempeñan funciones de banquero, agente y asesor del gobierno en temas económicos y monetarios. Estas entidades hacen y reciben pagos en nombre del gobierno y mantiene las cuentas bancarias y los saldos del gobierno.

El banco central también puede actuar como cámara de compensación para la liquidación de cuentas de los bancos comerciales (Singh, n.d.). Una cámara de compensación es una

organización en la que los reclamos mutuos de los bancos entre sí se compensan y la liquidación se realiza mediante el pago de la diferencia.

Los bancos centrales supervisan el funcionamiento de los bancos comerciales para proteger los intereses de las personas quienes invierten en esos bancos con el objetivo de asegurar el desarrollo de sistema bancario de los países.

Los bancos centrales definen la tasa de interés a la que se presta a las diferentes entidades financieras y esto resulta también en la base de las tasas de interés de créditos a personas físicas y jurídicas. Por medio de las tasas de interés es que los bancos controlan la inflación. Una inflación baja ayuda a la estabilidad económica y mantiene el valor de la moneda y de los ahorros.

Cuando se desea aumentar el crecimiento económico para reducir el nivel de desempleo de los países, una de las herramientas disponibles por los bancos centrales es reducir las tasas de interés, pero esto conlleva eventualmente a aumentos de la inflación, por lo que luego se deben aumentar las tasas de interés, lo cual traerá consigo una reducción del crecimiento económico.

Los bancos centrales también regulan la liquidez del sistema financiero por medio de los requerimientos de reserva (el dinero que deben tener los bancos en efectivo) para cubrir potenciales pérdidas crediticias. Esta es una medida para mantener la estabilidad financiera y proteger los fondos de los depositantes. En Costa Rica, el BCCR define el encaje mínimo legal y estos recursos forman parte de las reservas del banco (BCCR, 2019).

En algunos países los gobiernos tienen la responsabilidad de definir la política monetaria. Sin embargo, hay una tendencia para que los bancos centrales tengan independencia en su definición de las tasas de interés y de controlar la política monetaria.

Además, los bancos centrales tienen reservas de divisas que son usadas para evitar cambios bruscos del tipo de cambio de su moneda. Por ejemplo, el BCCR según las reglas de intervención establecidas, puede inyectar (venta) US dólares en el mercado cambiario para reducir fluctuaciones violentas del precio del dólar con respecto al colón (o realizar la decisión contraria, comprar US dólares, para evitar movimientos bruscos a la baja en el tipo de cambio).

1.1.2 Reservas de divisas

Las reservas de divisas son activos en reserva de los bancos centrales en cualquier moneda extranjera. El país con las mayores reservas de divisas en el mundo es China, con la mayoría de estas denominadas en dólares estadounidenses, seguido de Japón y Suiza (CIA, 2018). Costa Rica se encuentra rezagada en la lista de países con mayores reservas y actualmente reporta una reserva de divisas de alrededor \$7.170 millones de dólares estadounidenses.

Aunque la mayoría de los países mantienen reservas de divisas, los motivos de cada uno pueden ser muy distintos. La principal razón es para usarla como herramienta para cumplir la política monetaria y evitar volatilidad en el tipo de cambio.

Las reservas también se pueden mantener como una fuente de fondos para pagar gastos y obligaciones de deuda del gobierno en el extranjero o para cubrir eventos como desastres naturales u otras emergencias. Finalmente, las reservas se pueden invertir para obtener ganancias financieras.

Un manejo inadecuado de las reservas de divisas de los bancos puede poner en riesgo la política cambiaria de un país y a la postre puede causar daños severos a las economías. Por esto, las inversiones que realizan los bancos centrales sobre sus reservas se caracterizan por ser poco riesgosas y muy líquidas.

1.1.3 Carteras de los bancos centrales

Los bancos centrales suelen tener diversas carteras, pero las más importantes son las de políticas, las propias y de terceros (Elderson & Mauderer, 2019).

Las carteras de políticas constituyen el mayor conjunto de activos en sus estados de situación financiera. Aquí se incluyen carteras para intervención cambiaria, la ejecución de un programa de compra de activos o cumplir otras metas de su política monetaria. Usualmente, consisten en bonos supranacionales y soberanos de alto perfil crediticio. Los activos de estas carteras cumplen altos estándares en términos de liquidez, pues deben ser capaces de responder en tiempos de crisis o cuando el acceso a préstamos es recortado.

Los bancos centrales también manejan carteras propias. Estas tienen el objetivo de generar retornos dentro de un nivel de tolerancia al riesgo. La mezcla de activos de estas carteras es más diversa comparada con las carteras de política pues incluyen acciones, bonos corporativos y algunas veces deuda privada. En estas carteras los bancos tienen mayor libertad para tomar decisiones de inversión, pero se debe evitar que interfieran con la política monetaria o el manejo de la moneda.

Las carteras de terceros son aquellas que manejan los bancos centrales en beneficio de otros. Por ejemplo, las reservas de divisas de los gobiernos. Los objetivos de inversión pueden ser retornos financieros, provisión de liquidez o para intervención cambiaria.

1.2 La economía mundial y nuevas tendencias de bancos centrales

La economía mundial se vio seriamente afectada por la pandemia relacionada al COVID-19. La pandemia impactó fuertemente a los niveles de empleo y afectó seriamente los ingresos de las empresas en todo el mundo. Además, la incertidumbre de la duración y el impacto final de la pandemia aumentó enormemente la volatilidad en los mercados financieros

internacionales, lo que obligó a muchos inversionistas, incluidos los bancos centrales a invertir en activos *de refugio*, lo que aumentó la prima por riesgo sobre la deuda de mercados emergentes, que ha contrarrestado para esos países la caída en las tasas de interés en las economías avanzadas (BCCR, 2020a).

Para el año 2021, el panorama de la economía mundial parece mucho más estable de lo que aconteció en el 2020, especialmente por la apertura gradual de las actividades productivas. Por su parte, los bancos centrales han brindado estabilidad y liquidez a los mercados globales y los gobiernos han introducido grandes paquetes de estímulos fiscales. Sin embargo, la recuperación de la economía mundial dependerá en gran medida del avance de las vacunas contra el COVID-19.

Durante este período de pandemia, los bancos centrales han comprado gran cantidad de bonos soberanos, lo que ha generado discusiones en torno a si los bancos centrales han estado financiando deuda de los gobiernos (Frances Donald, 2021).

Por otro lado, los bancos centrales han intensificado sus esfuerzos de investigación en temas fuera de su alcance típico como lo son desigualdad de ingresos, cambio climático y transferencias de moneda digital. Es posible que los bancos centrales incursionen en Monedas Digitales de Bancos Centrales las cuales son respaldadas y controladas por los bancos centrales.

En el caso de los inversionistas, es posible que en el corto y mediano plazo se aventuren por activos cuyo valor no se vean distorsionados por las compras de los bancos centrales, como es el caso de inversiones en criptomonedas.

En el caso de Costa Rica, la pandemia ha afectado severamente la actividad económica, incrementando la cantidad de personas sin empleo y esta contracción económica también

afectó al gobierno por la reducción en la recaudación de impuestos y en las medidas de contingencia para la población costarricense más desprotegida.

Desde que la pandemia afectó la actividad económica en Costa Rica, el Banco Central adoptó varias medidas de política monetaria para mitigar el impacto económico de la crisis y, sobre todo, para procurar proteger el sector empresarial y el empleo (BCCR, 2020b). Las medidas incluyen la profundización de la postura de política expansiva, las inyecciones de liquidez en mercados, la introducción de una nueva facilidad de crédito para apoyar la recuperación y la coordinación para flexibilizar la normativa prudencial, en apoyo de las condiciones crediticias.

1.3 Perspectivas teóricas de inversiones de renta fija

En manejo de inversiones, la decisión más importante es la asignación de fondos entre las clases de activos, por ejemplo, las inversiones de renta fija y variable. Otras clases de activos como los bienes raíces, capital privado, fondos de cobertura y materias primas, se les conoce como clases de activos alternativos, pero estas no son usadas por los bancos centrales por su poco apetito de riesgo. Usualmente, los bancos centrales solo invierten en activos de renta fija del tipo bonos, ya que son los más seguros de todas las alternativas, aunque no necesariamente sean los más rentables para los inversionistas.

Los títulos de renta fija son obligaciones que una entidad se compromete a pagar una suma determinada de dinero a los inversionistas en fechas futuras determinadas (Fabozzi, 2012). Estos pagos incluyen los intereses (cupones) y el principal (o valor facial del bono). Cuando en el plan de pagos del bono no hay pagos periódicos se dice que es un bono cero cupones.

En los valores de renta fija, el término vencimiento se refiere al número de meses o años remanentes para el pago final del principal. La fecha de vencimiento siempre se especifica en la descripción del bono.

La entidad que promete hacer los pagos se llama el emisor, entre los que se encuentran los gobiernos de los países, gobiernos de estados, y agencias de gobierno. Por su parte, los activos de renta fija usualmente se clasifican en obligaciones de deuda, como los bonos y en acciones preferentes en empresas y corporaciones.

Hasta hace unas décadas, los bonos se consideraban productos de inversión muy simples donde los inversionistas compraban los valores y los mantenían hasta la fecha de vencimiento del bono. Sin embargo, ahora se volvieron mucho más complejos, donde los inversionistas no necesariamente se esperan hasta el vencimiento del bono, sino que también los compran y venden en los mercados secundarios según intereses particulares de los inversionistas en términos de plazos, liquidez y rendimientos de los bonos.

El rendimiento de un bono depende del plazo al vencimiento. De aquí la importancia de las curvas de rendimiento, las cuales proveen una relación entre las tasas de interés y plazos (o vencimiento) de títulos con similares riesgos de crédito y liquidez.

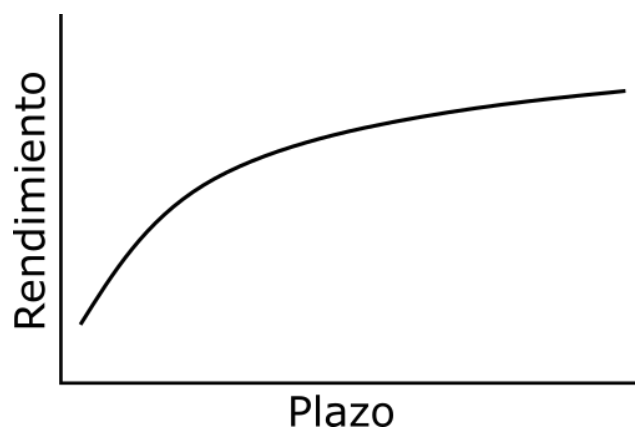


Figura 1: Curva de rendimiento típica. Elaboración propia.

La Figura 1 muestra una curva típica de rendimiento de bonos. La estructura de las curvas de rendimiento la determinan las expectativas de tasas de interés y los premios por riesgos de largo plazo. A mayor plazo, mayor riesgo y mayor el premio esperado por los inversionistas. Por su parte, la oferta y demanda en sectores específicos de la curva definen la tasa de interés.

El precio de un bono es igual al valor presente de sus flujos de efectivo esperados. Este precio es el monto que un inversionista tendría que invertir hoy para generar esos flujos futuros. Matemáticamente, el precio P de un bono está dado por:

$$P = \sum_{n=1}^N \frac{F_n}{(1 + i_n)^n} \quad (1)$$

donde N es el número de periodos hasta el vencimiento, F_n es el flujo esperado e i_n es la tasa de interés en el periodo n . Si se supone pago de cupones C a lo largo de la vida del bono, la ecuación (1) se expresa como:

$$P = \frac{C_1}{(1 + i_1)^1} + \frac{C_2}{(1 + i_2)^2} + \dots + \frac{C_n + VF}{(1 + i_n)^n} \quad (2)$$

Donde C_n es el valor del cupón en el período n , VF es el valor facial del bono y las tasas de interés i corresponde a la tasa Cero Cupón asociada a cada flujo y ajustada a la frecuencia del título.

Los precios de los bonos fluctúan a lo largo de su vida a medida que las tasas de interés en el mercado cambian. De hecho, según la ecuación (2) el precio de los bonos varía en dirección opuesta al cambio de las tasas de interés. Si las tasas de interés incrementan, el valor del bono caerá y este será el precio al cual se debe negociar en los mercados secundarios.

Además, el rendimiento al vencimiento de un bono y se calcula según (3) cuando se conoce el precio del bono, los cupones y el valor facial:

$$P = \frac{C_1}{(1 + y)^1} + \frac{C_2}{(1 + y)^2} + \dots + \frac{C_n + VF}{(1 + y)^n} \quad (3)$$

Este es el rendimiento que se obtendría si el bono se mantuviera hasta su vencimiento, si los pagos de cupones y principal se cumplen y si los cupones se reinvierten a la tasa de interés inicial.

Por otra parte, el retorno realizado de un bono en el periodo t , a partir de su precio actual $P(t)$ se calcula como:

$$r_t = \frac{P(t)}{P(t-1)} - 1 \quad (4)$$

donde $P(t-1)$ es el precio del bono en el periodo anterior.

1.3.1 Retorno y riesgo de activos individuales

El retorno promedio \bar{R} de un activo es calculado como:

$$\bar{R} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T r_i \quad (5)$$

Donde r_i es el retorno del período i de un total de T periodos observados para ese activo. En aplicaciones de probabilidad, donde el retorno del activo se representa como una variable aleatoria R , el retorno esperado $E[R]$ es también el valor promedio que se calcula como:

$$E[R] = \sum_{i=1}^{N_k} p_i r_i \quad (6)$$

donde p_i es la probabilidad de que ocurra el retorno r_i de un total de N_k posibles resultados.

La desviación estándar y la varianza son medidas de la variabilidad de los retornos. Entre mayor es la desviación estándar, más grande será el riesgo de los retornos. La varianza σ^2 del retorno se calcula como:

$$\sigma^2 = \frac{1}{T-1} \sum_{i=1}^T (r_i - \bar{R})^2 \quad (7)$$

y la desviación estándar σ es la raíz cuadrada de la varianza.

1.3.2 Retorno y riesgo de una cartera de activos

El retorno esperado de una cartera es el promedio ponderado de los retornos esperados de los N_p activos (estrategias) individuales que conforman el portafolio, matemáticamente:

$$\bar{R}_p = \sum_{i=1}^{N_p} \omega_i \bar{R}_i \quad (8)$$

donde \bar{R}_i y ω_i son el retorno esperado y el peso de la i -ésima estrategia del portafolio. Nótese que $\sum_{i=1}^{N_p} \omega_i$ debe ser igual a 1.

Contrario al valor esperado, la varianza de una cartera no es un promedio ponderado de la varianza de los retornos de los activos que conforman el portafolio. Esto porque también depende de las correlaciones de los activos individuales. Por ejemplo, para una cartera de 2 activos a y b , la varianza del portafolio σ_p^2 está dado por:

$$\sigma_p^2 = \omega_a^2 \sigma_a^2 + 2\omega_a \omega_b \rho_{ab} \sigma_a \sigma_b + \omega_b^2 \sigma_b^2 \quad (9)$$

Donde ω_a y ω_b son los pesos o proporciones, σ_a y σ_b son las desviaciones estándar de los retornos y $-1 < \rho_{ab} < 1$ es la correlación entre los retornos de las estrategias, la cual se calcula como:

$$\rho_{ab} = \frac{cov(R_a, R_b)}{\sigma_a \sigma_b} = \frac{E[(R_a - E[R_a])(R_b - E[R_b])]}{\sigma_a \sigma_b} \quad (10)$$

Donde $cov(R_a, R_b)$ es la covarianza entre los retornos de las estrategias a y b y E es el operador de esperanza.

Un punto importante para notar de la expresión (9) es que la varianza del portafolio disminuye a medida que la correlación sea menor a 1. Entre menor sea la correlación, mayor la diversificación y menor el riesgo de la cartera.

Para el caso de una cartera con N_p estrategias, la varianza del portafolio se calcula como:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{N_p} \omega_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{N_p} \sum_{j>i}^{N_p} \omega_i \omega_j \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j \quad (11)$$

$$\text{con } \rho_{ij} = \frac{\text{cov}(R_i, R_j)}{\sigma_i \sigma_j}.$$

En los últimos años, el Valor en Riesgo (VaR, por sus siglas en inglés) se ha venido utilizando para medir el riesgo en carteras. Este se define como la pérdida máxima esperada en valor de mercado de una posición dada que se espera ocurra con cierta probabilidad (Neil Pearson, 2002). Para un portafolio, el VaR_p se puede expresar como:

$$VaR_p = Z_c \sigma_p P_p \quad (12)$$

donde Z_c es la puntuación¹ (z-score) asociada con un nivel de confianza c , σ_p es la desviación estándar del portafolio y P_p es el valor nominal invertido en el portafolio.

De acuerdo con (Ross, 2018), a medida que se aumenta el número de activos de la cartera con correlaciones inferiores a 1, el riesgo de la cartera tiende a disminuir, pero nunca llega a ser cero. Esto se debe a que la diversificación reduce el riesgo no sistémico, pero no así el sistémico que se mantiene intacto.

1.4 Perspectivas teóricas de asignación estratégica

Más allá de los bonos del Tesoro de Estados Unidos, los gestores de inversión son atraídos por diferentes bonos internacionales porque pueden ofrecer mayores retornos y también como una medida para diversificar la cartera de inversión y reducir así el riesgo.

En la asignación estratégica que definen los bancos centrales, resulta muy importante tener claro los objetivos de la entidad y su tolerancia al riesgo. De modo que las políticas de inversión deben especificar (Fabozzi, 2012):

- Los países en los que se puede invertir, incluyendo mercados emergentes
- Los instrumentos permitidos como bonos de países, bonos corporativos, etc.
- Calificaciones mínimas de riesgo de los emisores de bonos

¹ Algunos ejemplos, $Z_{90\%} = 1.645$, $Z_{95\%} = 1.96$, $Z_{98\%} = 2.326$ y $Z_{99\%} = 2.576$.

- La selección del índice de referencia, o *benchmark*, y los límites de riesgo de la cartera.

Una vez definida la asignación estratégica, el desempeño de los gestores de inversión se evalúa con respecto del retorno del índice o *benchmark* por lo que ellos usualmente están buscando oportunidades en el mercado para obtener retornos en exceso de la referencia. Los gestores asignan fondos a las diferentes estrategias de inversión para maximizar los retornos, a esto se le conoce como ejercicio de presupuesto de capital.

Los inversionistas definen entonces límites de riesgo o exposición, expresados en porcentajes absolutos o pesos relativos al *benchmark* seleccionado en el proceso de asignación estratégica. Una práctica común es definir el límite de riesgo basados en los errores de seguimiento, o *tracking errors* (TE) en inglés, con respecto al *benchmark*. Este error mide la dispersión entre los retornos de la cartera y los retornos del índice de referencia.

La observación en el período t para calcular el TE es el retorno en exceso (REA) del portafolio e_p , y se define como:

$$e_p^t = R_p^t - R_B^t \quad (13)$$

Donde R_p^t y R_B^t son el retorno del portafolio y del *benchmark* en el período t , respectivamente. Aquí resulta importante definir el parámetro α que es el promedio del retorno en exceso del portafolio para T observaciones, o sea:

$$\alpha = E[R_p^t - R_B^t] = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T e_p^t \quad (14)$$

Por su parte, la desviación estándar del retorno en exceso σ_{e_p} es el TE. Esta variabilidad es otra fuente de riesgo que se usa para evaluar el éxito de los gestores de inversión.

Una cartera que toma posiciones bastante diferentes de aquellas del *benchmark* tendrá posiblemente altos retornos en exceso, tanto positivos como negativos, lo que conlleva a observar valores altos del TE.

Los errores de seguimiento se clasifican en TE retroactivo o *ex post* y TE prospectivo o *ex ante*. Los primeros se calculan con datos históricos de períodos anteriores y no reflejan el efecto de las decisiones actuales de los gestores en TE futuro. O sea, TE *ex post* tiene poco valor de predicción del riesgo de la cartera.

Los gestores necesitan una estimación del TE prospectivo para reflejar de buena forma el riesgo futuro del portafolio. Usualmente esto se logra mediante un modelo llamado modelo de riesgo multi factor (Fabozzi, 2012).

Con las tenencias actuales de la cartera, se puede calcular la exposición de la cartera a los diferentes factores de riesgo y ser comparados con la exposición a los factores de riesgo del *benchmark*, para finalmente calcular TE *ex ante*.

Otro parámetro de interés en la gestión de carteras es la Razón de Información (IR por sus siglas en inglés) de las estrategias que se calcula como:

$$IR = \frac{\alpha}{\sigma} \quad (15)$$

Las diferentes opciones de inversión pueden ser calificadas según la puntuación de su IR.

La Ley Fundamental de Grinold, el IR es aproximadamente igual al producto del Coeficiente de Información (IC por sus siglas en inglés) y la raíz cuadrada de la amplitud o número inversiones realizadas (BR por breadth en inglés) en esa estrategia u opción, o sea:

$$IR \approx IC\sqrt{BR} \quad (16)$$

El IC es la correlación entre el valor predicho (estimado) y el valor real de una inversión. Esto resulta en una evaluación explícita de las habilidades de predicción del gestor de inversión. Una calificación más alta de IC indica que la predicción fue muy buena.

De acuerdo con la Ley Fundamental de Grinold, es claro que los inversionistas pueden ser muy buenos en predicciones para un pequeño número de inversiones, o simplemente aumentar el número de inversiones realizadas y no preocuparse tanto por la exactitud de sus predicciones.

Los gestores a veces realizan un refinamiento o modificación del cálculo de α mediante:

$$\alpha = (\text{volatilidad}) \times (IC) \times (\text{score}) \quad (17)$$

El score o puntuación tiene un valor promedio de 0 y una desviación estándar de 1. Esto quiere decir que los *alphas* tendrán un valor promedio de cero y un rango determinado por la volatilidad y el *IC*.

1.4.1 Asignación de activos

La asignación de activos consiste en dividir una cartera entre diferentes categorías como acciones, bonos, depósitos y otros equivalentes de efectivo.

Las acciones reportan usualmente los mayores retornos, pero los mayores riesgos de las diferentes categorías. Esto hace que los inversionistas con menor apetito de riesgo eviten invertir en estos activos. Por su parte, los bonos son generalmente menos volátiles que las acciones, pero usualmente presentan retornos más bajos.

En el proceso de asignación de capital se busca una mezcla de activos con la mayor rentabilidad posible al nivel de riesgo asumido por el inversionista. Esta mezcla va de la mano con la diversificación de los activos de la cartera.

La distribución de los activos en la cartera es afectada por los siguientes factores:

- Metas de los inversionistas para alcanzar algún nivel de retorno
- La tolerancia al riesgo, relacionada a cuánto dinero el inversionista está dispuesto a perder
- El horizonte de tiempo, relacionado al periodo de inversión. Esto a su vez afecta el riesgo de inversión porque las inversiones de largo plazo presentan mayores incertidumbres.

El uso de herramientas de optimización es común para realizar la asignación de activos. Uno de los modelos más utilizados es el de media varianza de Markowitz. Esta optimización busca encontrar los pesos ω_i de los activos, como variables de decisión, que maximizan el retorno esperado de la cartera $E[R_p]$ para un nivel ε de riesgo dado, o los pesos de los activos que minimizan el riesgo para el nivel esperado de retorno π . Matemáticamente, el primer modelo se formula como:

$$\max E[R_p] \quad (18)$$

Sujeto a:

$$Riesgo [R_p] \leq \varepsilon \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^{N_p} \omega_i = 1 \quad (20)$$

$$\omega_i \geq 0, i = 1, \dots, N_p. \quad (21)$$

El *Riesgo* $[R_p]$ puede expresarse en términos de la matriz de covarianzas $\mathbf{\Omega}$ o el VaR del portafolio. El segundo modelo es:

$$\min Riesgo [R_p] \quad (22)$$

Sujeto a:

$$E [R_p] \geq \pi \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^{N_p} \omega_i = 1 \quad (23)$$

$$\omega_i \geq 0, i = 1, \dots, N_p. \quad (25)$$

Otras formulaciones equivalentes buscan maximizar la relación retorno/riesgo o minimizar la probabilidad de pérdida.

Algunas veces, se requiere cambiar la asignación de activos si hay cambios en la tolerancia al riesgo, la situación financiera del inversionista o en las metas planteadas. Por su parte, el rebalanceo consiste en regresar la asignación de capital a la mezcla original de activos dentro de la cartera.

Los cambios en las correlaciones y volatilidades de las estrategias individuales pueden no resultar en cambios de la asignación de activos, pero sí pueden cambiar la asignación del riesgo.

1.5 Perspectivas teóricas de asignación de riesgo

La asignación o presupuesto de riesgo se diferencia del método tradicional de asignación estratégica de activos, en que el primero se enfoca en cómo distribuir el riesgo entre las estrategias de la cartera al tiempo que se maximizan los rendimientos (Nagy, 2019).

El Cuadro 1 muestra algunas diferencias entre la asignación de activos tradicional y la asignación de riesgo.

Cuadro 1: Comparación entre asignación de activos y riesgo.

ASIGNACIÓN	DE ACTIVOS	DE RIESGO
¿CÓMO SE EXPRESA?	Pesos de la cartera (en valores monetarios)	Límites de riesgo o presupuesto (TE, VaR)
¿CÓMO SE MONITOREA?	Cambios en los pesos de los activos en la cartera.	Cambio en la contribución de riesgo de las estrategias al riesgo total.
¿CÓMO SE REBALANCEA?	Al reajustar los pesos de la cartera a <i>constant</i>	Al reajustar la asignación de riesgo a

	<i>mix</i> ² . Esto puede llevar a grandes fluctuaciones del riesgo de la cartera.	<i>constant mix</i> . Esto mantiene el riesgo de la cartera relativamente constante.
DEPENDENCIA DE ESTRATEGIAS	Por medio de la matriz de covarianza.	Por medio de la matriz de correlaciones.

Este nuevo proceso busca asegurar que el riesgo sea tomado en cuenta de una forma *ex ante*, contralada y prudente al momento de decidir cuál estrategia tomar, teniendo siempre en cuenta el apetito y la capacidad de riesgo del inversionista. El presupuesto de riesgo es una medida de riesgo expresada en términos nominales que no pueden ser excedidos por la cartera de inversión.

Un prerequisite para el presupuesto de riesgo es su descomposición, que involucra:

- Identificar los diferentes factores de riesgo tales como los retornos de capital, las tasas de interés y los tipos de cambio.
- Medir la contribución de cada factor, los gestores y las clases de activos al riesgo total
- Comparar los resultados *ex post* obtenidos con el riesgo *ex ante*.
- Identificar los riesgos que fueron tomados intencionalmente y aquellos tomados inadvertidamente.

La descomposición del riesgo permite entender mejor los riesgos que se están tomando y cómo han cambiado. Además, permite identificar riesgos no deseados y gestores que se desvían de sus estilos históricos antes de que ocurran resultados no deseados.

² La estrategia de rebalanceo tipo *constant mix* busca mantener un porcentaje de diferentes clases de activos dentro de un rango especificado.

Si la descomposición del riesgo se combina con un proceso de asignación de riesgo a los factores, a los gestores o las clases de activos, se habla de presupuesto de riesgo. Este proceso consiste en:

- Establecer límites en la cantidad de riesgo a cada clase de activo, gestor o factor.
- Establecer asignaciones de activos en función de los presupuestos de riesgo.
- Comparar los presupuestos de riesgo contra las medidas de riesgo de manera continua
- Ajustar las asignaciones de activos para mantener los riesgos dentro de los límites presupuestados.

Una ventaja del presupuesto de riesgo, por encima de la asignación tradicional de activos, es que hace explícito el riesgo que se está tomando y reconoce su variación en el tiempo.

El problema de optimización para el presupuesto de riesgo consiste en maximizar el retorno en exceso del portafolio (REA) sujeto a un nivel máximo de riesgo (expresado en términos del TE) del portafolio. El proceso inicia con la estimación de los *alphas* de cada estrategia *i*:

$$\alpha_i = TE_i \times IC_i \times Score_i \quad (26)$$

Los puntajes (scores) se utilizan para expresar o medir cómo se siente un analista sobre un riesgo o estrategia mientras que el IC mide la capacidad de predicción del gestor. El Cuadro 2 muestra un ejemplo de puntajes y sus sesgos.

Cuadro 2: Asignación de scores de estrategias.

SCORE	Sesgo
-3	Extremadamente negativo
-2	Muy negativo
-1	Negativo

0	Neutral
+1	Positivo
+2	Muy positivo
+3	Extremadamente positivo

Las variables de decisión del problema de optimización son los TE de las N_p estrategias que conforman la cartera y estos se agrupan en el vector columna $\mathbf{x} = [TE_1, \dots, TE_{N_p}]^T$, por lo que el error de seguimiento de todo el portafolio se calcula como:

$$TE_p = \sqrt{\mathbf{x}^T \boldsymbol{\Sigma} \mathbf{x}} \quad (27)$$

donde $\boldsymbol{\Sigma}$ es la matriz de correlaciones de tamaño $N_p \times N_p$:

$$\boldsymbol{\Sigma} = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \dots & \rho_{1N_p} \\ \rho_{21} & 1 & \dots & \rho_{2N_p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{N_p1} & \rho_{N_p2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Así, la asignación óptima de riesgo se formula como:

$$\max \sum_{i=1}^{N_p} x_i \times IC_i \times Score_i \quad (29)$$

Sujeto a:

$$\sqrt{\mathbf{x}^T \boldsymbol{\Sigma} \mathbf{x}} \leq TE_p^{max} \quad (30)$$

$$0 \leq x_i \leq TE_i^{max}, \quad i = 1, \dots, N_p. \quad (31)$$

donde TE_i^{max} es el máximo tracking error permitido para la i -ésima estrategia y TE_p^{max} es el máximo TE permitido para toda la cartera.

Capítulo 2: Descripción del BCCR

2.1 Historia del BCCR

En 1948 se decretó la nacionalización de la banca privada y dada la necesidad de brindar una integración orgánica al nuevo Sistema Bancario Nacional, se hizo urgente la necesidad de establecer un Banco Central como órgano independiente y rector de la política económica, monetaria y crediticia del país.

Fue hasta el 28 de enero de 1950 que se promulgó la Ley 1130 de creación del BCCR con características definidas y propias que le permitieron desempeñarse como Órgano Central de la economía de Costa Rica. Esto se dio en respuesta a la necesidad de un Banco que actuara con mayor autoridad que el Departamento Emisor adscrito al Banco Nacional de Costa Rica (BNCR), establecido en el año 1936. Sin embargo, en un inicio esta Ley tuvo un carácter transitorio pues ya que el Banco tendría las mismas funciones y facultades que el Departamento Emisor del BNCR hasta su desaparición. Por lo tanto, el BCCR operó según las disposiciones de la Ley 1130 y la que regía al Departamento Emisor.

Posteriormente, el 23 de abril de 1953 se promulgó la Ley 1552, denominada la Ley Orgánica del BCCR que fue luego sustituida por la Ley 7558 del 3 de noviembre de 1995, vigente hasta la fecha.

2.2 Ley Orgánica

De acuerdo con la Ley 7558 (CR, 1995), el Banco Central es una institución autónoma de derecho público con personería jurídica y patrimonios propios que forma parte del Sistema Bancario Nacional. El Banco está sujeto a la supervisión de la Contraloría General de la República (CGR) y a la vigilancia y fiscalización de su Auditoría Interna.

Los objetivos del Banco son mantener la estabilidad interna y externa de la moneda nacional y asegurar su conversión a otras monedas, además:

- Promover el desarrollo de la economía costarricense de una forma ordenada a fin de lograr la ocupación plena de los recursos del país, procurando evitar o moderar las tendencias inflacionistas o deflacionistas en el mercado monetario y crediticio.
- Velar por el buen uso de las reservas monetarias internacionales de Costa Rica para el logro de la estabilidad económica.
- Promover la eficiencia del sistema de pagos internos y externos y mantener su normal funcionamiento.
- Promover un sistema de intermediación financiera estable, eficiente y competitivo.

2.2.1 Funciones esenciales

Al Banco Central le competen las siguientes funciones según su Ley Orgánica:

- El mantenimiento del valor externo y de la conversión de la moneda nacional.
- La custodia y la administración de las reservas monetarias internacionales de Costa Rica.
- La definición y el manejo de la política monetaria y cambiaria.
- La gestión como asesor y banco cajero del Estado.
- La promoción de las condiciones favorables al robustecimiento, liquidez, solvencia y el buen funcionamiento del Sistema Financiero Nacional.
- La emisión de billetes y monedas, de acuerdo con las necesidades reales de la economía nacional.
- La definición de políticas generales de crédito y la vigilancia y coordinación del Sistema Financiero Nacional.
- La custodia de los encajes legales de los intermediarios financieros.
- El establecimiento, la operación y la vigilancia del sistema de compensación.
- El establecimiento de las regulaciones para la creación, el funcionamiento y el control de las entidades financieras.
- La colaboración de los organismos de carácter económico del país, para el mejor logro de sus fines.

2.3 Plan Estratégico 2020-2023

El BCCR publicó en el año 2020 su más reciente plan estratégico para los años 2020-2023. En este se establece el enfoque del Banco y su estrategia (BCCR, 2020c).

2.3.1 Misión

Mantener la inflación baja y estable, preservar una posición externa sólida y, en colaboración con otras entidades, procurar la estabilidad y eficiencia del sistema financiero, para contribuir al pleno empleo de los recursos productivos y al bienestar de la sociedad costarricense.

2.3.2 Visión

Ser un banco central independiente, eficiente y moderno, reconocido por la sociedad por la excelencia en el cumplimiento de sus funciones.

2.3.3 Valores

Los valores del BCCR son:

Integridad	Somos confiables, actuamos con rectitud y cumplimos nuestros compromisos.
Transparencia	Promovemos la rendición de cuentas e informamos en forma clara, veraz y oportuna sobre nuestras actuaciones.
Mejora continua	Promovemos una cultura de mejora continua e incorporamos mejores prácticas en la gestión del banco, para brindar servicios de alta calidad.
Respeto	Ofrecemos un trato digno y cordial a todas las personas, dentro y fuera del Banco Central.

Compromiso	Asumimos con disciplina y honestidad el trabajo y las responsabilidades inherentes.
-------------------	---

Para este periodo se definieron 6 ejes estratégicos que responden a la misión del Banco para alcanzar la nueva visión del Banco.

Objetivo 1: Mantener la inflación baja y estable y afianzar la estabilidad externa de la economía. La Ley Orgánica del BCCR le asigna como principal objetivo el mantener la estabilidad interna y externa de la moneda nacional y asegurar su conversión a otras monedas. La estabilidad de precios y expectativas de la inflación ha permitido conducir una política monetaria contra cíclica para estimular la actividad económica en momentos de crecimiento lento y de altos niveles de desempleo.

Objetivo 2: Salvaguardar la estabilidad financiera del sistema financiero costarricense. Este es otro de los objetivos principales del BCCR. Para esto, el Banco apoya acciones en materia de regulación y supervisión prudencial que contribuyen al desarrollo de un sistema financiero nacional robusto. Para esto, el Banco requiere de una coordinación estrecha con el CONASSIF y las superintendencias del ramo.

Objetivo 3: Promover la competencia y eficiencia del sistema financiero nacional. La propia Ley Orgánica del Banco le solicita promover la eficiencia y competitividad del sistema financiero nacional. Justamente las nuevas tecnologías financieras ofrecen oportunidades en esta vía que llevan a menores márgenes de intermediación financiera, mayor uso de instrumentos de pago electrónico para reducir los costos de transacciones financieras que desincentiven el uso de efectivo.

Objetivo 4: Fortalecer el proceso de comunicación para facilitar el cumplimiento de los objetivos del Banco y aumentar la transparencia. La credibilidad es un aspecto muy importante para preservar la estabilidad de los precios y la estabilidad financiera. Esta

credibilidad depende mucho de lo que el Banco comunica que va a hacer y lo que hace. Aparte que requiere de una diligente rendición de cuentas, lo cual hace fundamental que el Banco realice una comunicación efectiva con la sociedad.

Objetivo 5: Aprovechar las nuevas tendencias tecnológicas para desarrollar un proceso de transformación digital. Las herramientas tecnológicas permiten un mejor aprovechamiento de la información para el análisis económico y los pronósticos para la formulación de la política monetaria y financiera. Las plataformas tecnológicas también permiten la transformación de los servicios financieros que podrían llevar a cambios en la regulación y la supervisión.

Objetivo 6: Mejorar la gestión del Banco para cumplir sus objetivos con excelencia. El Banco debe revisar su estructura y organización para mejorar los servicios que brinda. Las responsabilidades deben estar claramente definidas para hacer más eficiente la toma de decisiones y mejorar la rendición de cuentas. Acá es prioritario fortalecer las capacidades de la organización para enfrentar los nuevos retos de la banca central del futuro.

2.4 Estructura organizativa

La Figura 2 muestra el Organigrama del BCCR. Esta cuenta con varios niveles jerárquicos: el nivel superior o ejecutivo, nivel divisional, nivel departamental y nivel de área (BCCR, 2012).

El nivel ejecutivo cuenta con un alto grado de autoridad y decide sobre las acciones que permiten alcanzar los objetivos establecidos por ley. La Presidencia es la dependencia de mayor rango para efectos de gobierno de la Institución, mientras que la Gerencia se encarga de la dirección del ámbito administrativo.

El nivel divisional es el responsable de la ejecución de las funciones que procuran alcanzar los objetivos institucionales, ejecuta funciones relacionadas con la implementación de la

estrategia. La jefatura de cada división está a cargo de un director, que colabora con la Gerencia y responde ante ésta por el buen funcionamiento y organización de cada una de las dependencias bajo su cargo.

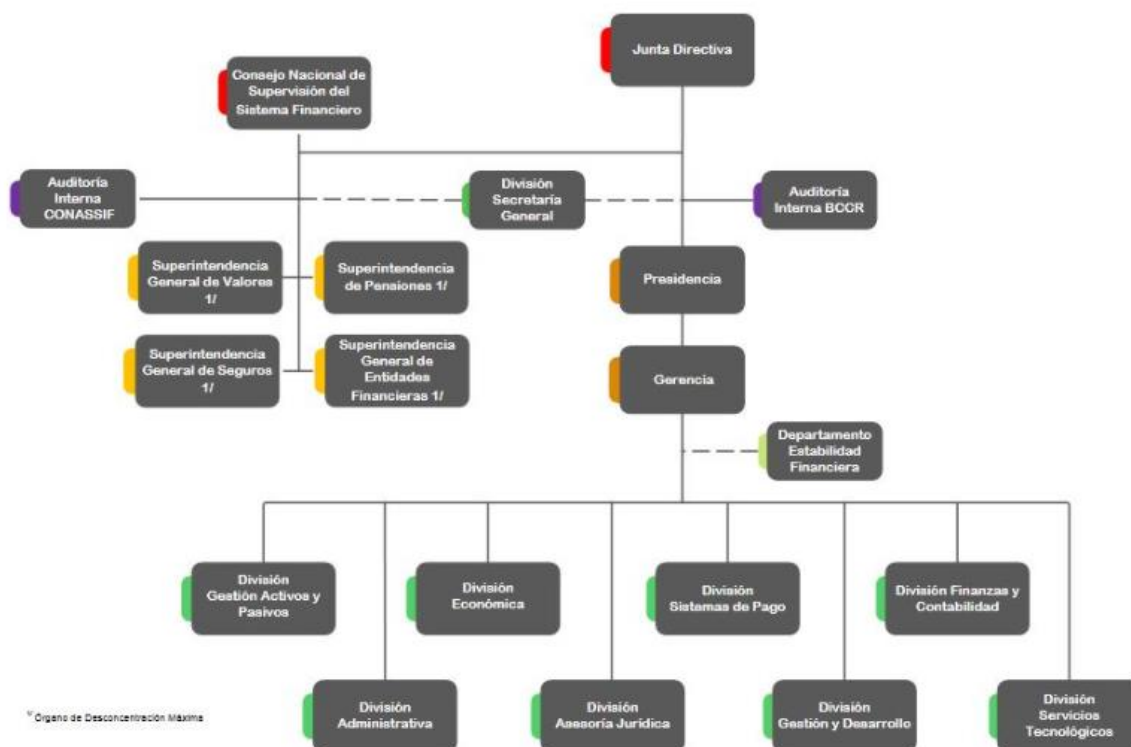


Figura 2: Organigrama del Banco Central. Fuente y elaboración del BCCR.

El nivel Departamental ejecuta funciones de tipo táctico y en algunos casos estratégicos, además de apoyo administrativo (presupuesto, personal, proveeduría, programación, entre otros). Finalmente, el nivel de Área es inferior al de Departamento y realiza funciones operativas con alto contenido técnico.

El Banco funciona bajo la dirección de su Junta Directiva, la cual está conformada por el presidente del Banco Central, elegido por el Consejo de Gobierno por 4 años, el ministro de Hacienda, quien tiene derecho a voz, pero no a voto y seis personas más con amplia

experiencia y capacidad en materia económica, financiera, bancaria y administración, que también son escogidos por el Consejo de Gobierno de Costa Rica.

La Junta Directiva sesiona 1 vez por semana y, con el propósito exclusivo de estudiar la situación económica del país relacionado a sus funciones, una vez al mes. También sesiona de manera extraordinaria cuando sea necesario de acuerdo sus reglamentos internos.

Entre las funciones de la Junta Directiva están

- Establecer el régimen cambiario que considere apropiado, ajustado a las disposiciones legales.
- Establecer las tasas de interés del Banco.
- Dirigir la política cambiaria, monetaria y crediticia del país.
- Determinar los niveles de encajes mínimos legales.
- Acordar el presupuesto anual del Banco y los extraordinarios.
- Nombrar al Gerente, Sub gerentes, Auditor Interno y Sub auditor interno.

Por su parte, el presidente del Banco Central tiene la máxima representación de la institución en materia de gobierno y en el manejo de sus relaciones con otras instituciones y organismos financieros internacionales. Entre las responsabilidades de la presidencia del Banco están:

- Presidir la Junta Directiva y someter al conocimiento de la Junta normas generales relacionadas con la política monetaria, cambiaria, crediticia y bancaria de la Institución.
- Coordinar la acción del Banco y suscribir acuerdos y convenios con las demás instituciones y entidades públicas del país y del exterior.
- Presentar anualmente a los diputados de la Asamblea Legislativa un informe oral y escrito sobre los resultados de la operación del Banco Central.

La persona en la Gerencia del Banco es la responsable de la gestión administrativa del Banco, de acuerdo con la ley y las instrucciones que le imparta la Junta Directiva. Esta persona tiene entre sus responsabilidades:

- Ejercer las funciones de administrador, vigilando la organización y el funcionamiento de las dependencias puestas por la Junta bajo su autoridad según se muestra en el organigrama de la Figura 2, la observancia de las leyes y los reglamentos y el cumplimiento de los acuerdos de la Junta Directiva.
- Proponer a la Junta Directiva la creación de plazas y servicios indispensables para el correcto funcionamiento del Banco.
- Actual como superior jerárquico del Banco, en materia de personal.
- Suministrar a la Junta Directiva la información regular, exacta y completa para el buen gobierno y dirección del Banco.
- Presentar a la Junta los presupuestos del Banco y vigilar su correcta aplicación.

La Auditoría Interna del Banco tiene como función principal comprobar el cumplimiento, la suficiencia y la validez del sistema de control interno establecido por la administración del Banco. La Auditoría Interna del BCCR funciona bajo la responsabilidad y dirección inmediata de un Auditor Interno nombrado por la Junta Directiva.

El resto de la organización interna del Banco Central se define según lo que estipule la Junta Directiva para la operación efectiva del Banco y lo dispuesto en el Código de Gobierno Corporativo del Banco (BCCR, 2012). En este trabajo se dará énfasis a los tres departamentos que se involucran directamente con la gestión de las reservas de divisas del BCCR.

La División de Gestión de Activos y Pasivos es la encargada de gestionar los activos y pasivos financieros del BCCR e implementa la política monetaria y cambiaria en línea con los objetivos de la entidad. La estructura organizativa de esta división se muestra en la Figura 3. El nombre indicado en cada bloque corresponde a la persona encargada, ya sea presidencia, gerencia, directores o jefaturas.

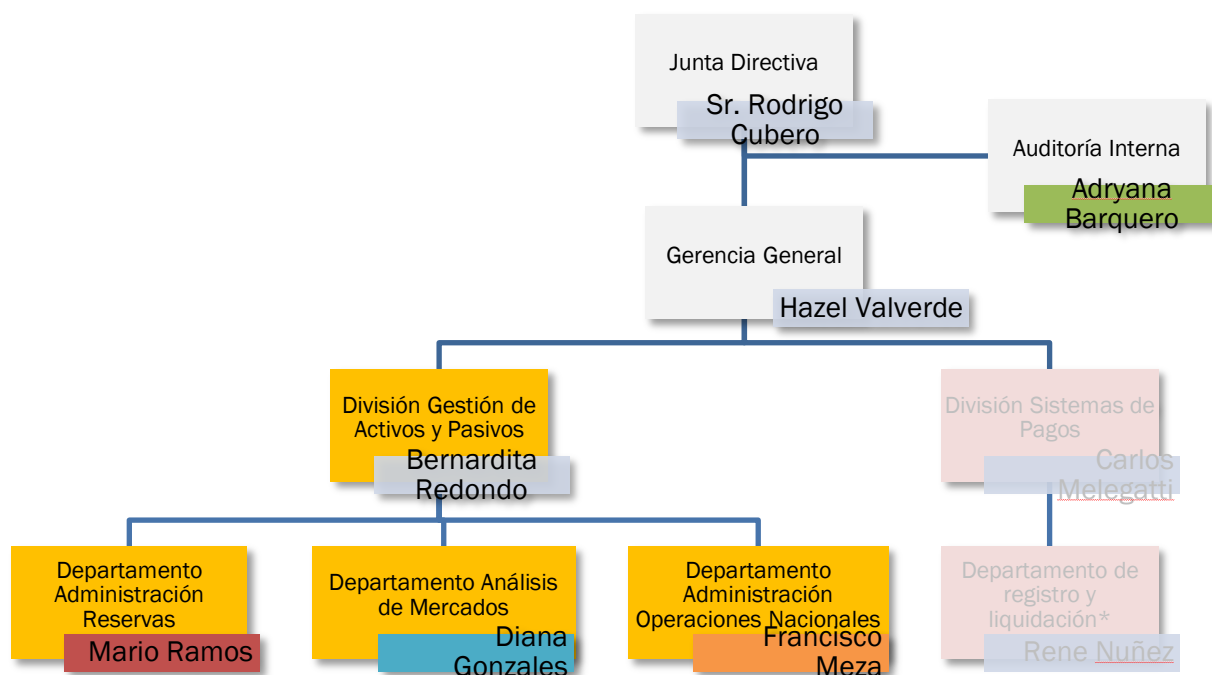


Figura 3: Estructura Organizativa de la División de Gestión de Activos y Pasivos. Fuente y elaboración del BCCR.

Desde el punto de vista de gobernanza, la Junta Directiva (JD) es la encargada de definir las políticas de gestión de las reservas, mientras que los lineamientos más específicos de inversión son definidos por el Comité de Reservas (CR) del BCCR. Por su parte, las propuestas y las implementaciones son llevadas a cabo por la División de Gestión de Activos y Pasivos.

El Departamento de Administración de Reservas lleva a cabo la gestión de las 2 carteras internas del Banco: Liquidez e Inversión (bonos). Estas carteras suman USD 5.600 millones (alrededor 56% de las reservas totales), de los cuales USD 1.140 USD millones corresponden a la Cartera de Inversión. Esta gestión es realizada por 5 funcionarios.

Este departamento también tiene a cargo actividades de investigación y desarrollo donde se buscan, por ejemplo, nuevas estrategias para mejorar el perfil de riesgo y el retorno de las reservas (BCCR, 2021). También analizan la implementación de nuevos instrumentos o la

búsqueda de contrapartes, automatización de procesos internos y manejo de bases de datos financieras, así como colaborar con el Departamento de Análisis de Mercados en mejoras metodológicas.

El Departamento de Análisis de Mercados, que está compuesto por 12 personas quienes se encargan de generar datos analíticos e informes sobre la gestión de las reservas, a saber (BCCR, 2021):

- Inclusión de precios y características de instrumentos en la herramienta *Findur*.
- Cálculos e informes de retorno, desempeño de reservas, cumplimiento de límites.
- Evaluación del desempeño de los gestores internos y externos.
- Elaboración del presupuesto financiero.

El departamento también realiza análisis y propuestas de mejora en la gestión de las reservas y otros activos internacionales, por ejemplo:

- Asignación estratégica de activos.
- Redacción de informes que requieren explicaciones amplias.
- Análisis de informes con las entidades que el BCCR tiene participación accionaria.
- Metodologías de riesgos financieros.

Por su parte, el Departamento de Registro y Liquidación, previamente de la División de Gestión de Activos y Pasivos y que desde el año 2020 forma parte de la División de Sistemas de Pagos, tiene entre sus funciones (BCCR, 2021):

- Verificar, confirmar y liquidar las operaciones de inversión de los portafolios administrados por el BCCR y la comunicación con las contrapartes y el custodio en el exterior para darles seguimiento hasta que su trámite sea completado.
- Registrar en el sistema automatizado de administración de reservas, las operaciones de inversión de los portafolios gestionados por administradores externos.
- Verificar los saldos de los portafolios de inversión de las reservas de divisas administrados interna y externamente.

2.5 Recurso humano del BCCR

El BCCR cuenta actualmente con 1229 empleados de los cuales 764 son propiamente del Banco, 225 pertenecen a la SUGEF, 25 forman parte de CONASSIF, 79 son de SUPEN, 86 son de SUGEVAL y los restantes 50 son de la SUGESE.

El Banco Central cuenta con el Reglamento Autónomo de Servicios del BCCR (BCCR, 2018). Este documento, además de la Convención Colectiva, regula las relaciones de empleo público y privado entre el Banco y sus servidores y colaboradores.

La jornada de trabajo en el BCCR es de 40 horas semanales máximo. Para los servidores de confianza, la jornada ordinaria semanal será de 60 horas semanales con un máximo de 12 horas diarias. Además, el régimen salarial de la Institución se regula mediante una escala salarial gerencial y una escala salarial regular, ambas compuestas por salarios globales. Esto es, los colaboradores devengan un salario único global, cuya fijación corresponde a un posicionamiento en el mercado salarial, tomando como referencia sectores del mercado que guardan afinidad con las actividades que lleva a cabo la Institución.

La contratación de personal en el BCCR se realiza mediante la apertura de procesos de contratación, los cuales detallan los requisitos académicos y las habilidades que se buscan en los candidatos para llenar la vacante específica.

En la página web del BCCR, en la sección de Transparencia Institucional, el Banco cuenta con un registro en línea para facilitar los procesos de reclutamiento del personal. En esta misma página el Banco publica los puestos en concurso. La oferta de servicios que realicen los interesados tiene una vigencia de 1 año. Después de este periodo el sistema eliminará el registro automáticamente mientras que el interesado deberá actualizar sus datos para ser considerado nuevamente.

El Reglamento Autónomo de Servicios del BCCR establece que todos los servidores y colaboradores tienen derecho a recibir capacitación para favorecer sus competencias y habilidades en el desempeño de su puesto, financiado total o parcialmente por el BCCR. Para ello, el BCCR debe identificar sus necesidades de capacitación y desarrollo del personal de las diferentes unidades.

La Institución puede otorgar alguno o varios de los siguientes beneficios de capacitación a sus colaboradores:

- Licencia con goce de salario en aquellos casos en que el evento se realice dentro de la jornada laboral.
- Licencia sin goce de salario durante el periodo de estudios.
- Gastos de transporte cuando se trate de estudios en el exterior.
- Pago de matrícula o inscripción.
- Pago de impuestos y tasas de salida al exterior.
- Pago de viáticos cuando corresponda.
- Reintegro por compras de libros.
- Pago de seguros por enfermedad y accidentes.
- Reintegro de valor de las pruebas de grado, derechos de graduación y otros costos por requerimientos académicos de carácter obligatorio.

Las personas seleccionadas para participar de las actividades de capacitación deberán suscribir un contrato de estudios con las condiciones, beneficios y obligaciones que asume. El servidor o colaborador que participe y concluya satisfactoriamente las actividades de desarrollo o capacitación deberá reintegrarse inmediatamente a sus labores y permanecer al servicio de la institución por un plazo equivalente al doble del tiempo que empleó para obtener el título del programa de estudios, excepto en los casos en que el único beneficio fue un permiso sin goce de salario, caso en que el tiempo de servicio será igual al tiempo de dicha licencia.

2.6 Regulación interna

El Banco Central cuenta con un sistema de control interno que establece una jerarquía para integrar y ordenar los documentos que definen la operación del Banco, ver Figura 4. Así, las leyes, reglamentos y normas constituyen el primer nivel de la pirámide y corresponde al marco regulatorio externo del Banco.



Figura 4: Jerarquía Documental. Elaboración propia con información del BCCR.

En el segundo nivel se encuentran las políticas de alto nivel, en las cuales se estipula la voluntad de la Junta Directiva de cumplir con lo señalado en las leyes, estándares y reglamentos. La política de alto nivel tiene las siguientes características:

- Se genera únicamente cuando una ley o norma obligatoria exige establecer la voluntad de la más alta dirección.
- Es de carácter general.
- Demuestra compromiso con respecto a un tema particular.
- Es aprobada por la Junta Directiva del Banco.

Los manuales de políticas específicas conforman el tercer nivel. Estas son un conjunto de políticas derivadas de las políticas de alto nivel, que describen la forma en el Banco se asegura la eficacia de la implantación de los requisitos de la normativa aplicable.

En el cuarto nivel de la jerarquía documental se encuentran los controles y son el conjunto de acciones o mecanismos para prevenir o reducir el impacto de los eventos que ponen en riesgo la ejecución de los procesos requeridos para el cumplimiento de los objetivos del Banco. En el quinto nivel se encuentran los lineamientos y son directrices para cumplir con los controles y solventar las observaciones y recomendaciones de cumplimiento obligatorio.

De manera paralela al segundo y quinto nivel se encuentran los reglamentos internos que se desarrollan porque una ley o reglamento externo lo requiere. Finalmente, en el nivel más bajo se encuentran los procesos que son un conjunto de actividades que se agrupan principalmente en su área de pertinencia.

2.7 Servicios del BCCR

El Banco Central brinda los siguientes servicios:

- Mantener la estabilidad interna de la Moneda.
- Mantener la estabilidad externa y conservación de la Moneda Nacional.
- Producir información económica.
- Promover la eficiencia del Sistema de Pagos Internos y Externos.
- Ser consejero y banco-cajero del Estado.
- Promover un sistema de intermediación financiera estable, eficiente y competitivo.
- Promoción de la cultura.

El Banco Central ejerce funciones de consejero financiero, agente fiscal y banco-cajero del Estado. Esto hace que tenga muchas operaciones con instituciones estatales. Por ejemplo, el Gobierno y todas sus dependencias efectúan todas sus recaudaciones, pagos, remesas y

transacciones monetarias en el país y el extranjero por medio del Banco Central. En el caso de las municipalidades y las instituciones autónomas, estas pueden contratar el servicio de tesorería y recaudación similar a la estipulada para el Gobierno.

Además, los saldos en efectivo del Gobierno deberán ser depositados en el Banco Central excepto las cantidades que se administren en las respectivas oficinas para pago de menor cuantía. Los depósitos en garantía o en custodia del Gobierno y sus dependencias deberán efectuarse también en el BCCR.

El Banco Central percibe por sus servicios al Gobierno y sus dependencias o a las municipalidades o instituciones autónomas en su caso, las tasas que convinieren, basadas en el cómputo del costo de operación que tenga el Banco por la ejecución de tales servicios.

2.8 Activos, pasivos y patrimonio del BCCR

El Estado de Situación Financiera (ESF) del BCCR al 31 de diciembre del año 2020 reporta un total de activos por 5,32 billones (o 5,32 millones de millones) de colones, de los cuales 1,62 billones de colones corresponden a efectivo y equivalentes de efectivo, 2,75 billones de colones corresponden a inversiones en valores con residentes y no residentes. Por su parte, 36 miles de millones de colones lo conforman préstamos por cobrar, 813 miles de millones de colones son aportes a organismos internacionales, 69 miles de millones de colones corresponden a propiedad, mobiliario y equipo, 8,65 miles de millones de colones lo conforman activos intangibles de software y licencias. Finalmente, 10,89 miles de millones de colones son intereses y comisiones por cobrar y 4,6 miles de millones de colones son otros activos.

El ESF del BCCR reporta 7,54 billones de colones en pasivos de los cuales 1,50 billones de colones corresponden a billetes y monedas en circulación, 3,44 billones de colones son depósitos monetarios, 4,4 miles de millones son préstamos por pagar, 404 miles de millones de colones son pasivos con organismos internacionales y 2,09 billones de colones

corresponde a emisión de deuda. Finalmente, hay un total de 39.8 miles de millones por comisiones e intereses por pagar y 50,9 miles de millones de colones son otros pasivos.

Por su parte, el patrimonio negativo del BCCR asciende a 2,22 billones de colones. Este valor negativo se debe a las pérdidas que se le hicieron incurrir al Banco en la década de los años 70 e inicios de los 80.

2.9 Gestión de riesgo del BCCR

El Banco Central está dispuesto a asumir un nivel de riesgo bajo para el cumplimiento de los objetivos institucionales por lo que debe optar las medidas y controles necesarios para mantener bajos los riesgos a los que está expuesto (BCCR, 2013). Además, la Junta Directiva del Banco Central definió un bajo nivel de tolerancia al riesgo.

La Gerencia es la responsable de velar porque los riesgos sean gestionados adecuadamente, pero la gestión diaria de los riesgos es delegada a los diferentes directores de división en sus áreas de responsabilidad.

El Comité de Riesgos es un órgano dependiente de la Junta Directiva que se encarga de aprobar políticas, sistemas, metodologías, modelos y procedimientos para la operación eficiente del sistema integral de gestión de riesgos y, de proponer a la Junta Directiva los límites de exposición de riesgos y mejoras a las políticas de alto nivel.

El sistema de gestión de riesgos del Banco Central se basa en los siguientes principios básicos (BCCR, 2013):

- La protección de los activos de la organización.
- La integración de la gestión de riesgos a los procesos institucionales.
- La toma de decisiones basadas en riesgos, según la información disponible.

- El establecimiento de un esquema sistemático, incluyendo la priorización de los riesgos y procedimientos de escalamiento apropiados.
- La aplicación de un enfoque proactivo, orientado a la mejora continua en la administración de los riesgos que enfrenta y asegurando que la política de riesgo sea adecuada y pertinente.
- La gestión integral de los riesgos es dinámica, participativa y transparente.

La infraestructura del sistema de gestión integral de riesgos del Banco Central comprende los siguientes aspectos:

- Identificación y análisis de los riesgos que enfrenta el Banco.
- Evaluación de dichos riesgos, determinando cuales de ellos están fuera de los niveles establecidos y priorizándolos para tomar acciones sobre los más críticos.
- Tratamiento de los riesgos no aceptables, ya sea reduciendo su probabilidad o impacto o transfiriendo el riesgo.
- Aceptación del riesgo residual y establecer planes de mitigación.
- Documentación de los procesos y hallazgos.
- Seguimiento, comunicación y revisión para asegurar la mejora continua del sistema.

2.10 Análisis FODA

Como complemento de la descripción del Departamento de Administración de Reservas, encargado de gestionar la Cartera de Inversión del BCCR que es el objeto de estudio de este trabajo, en esta sección se presenta un análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA).

2.10.1 Fortalezas

- Personal relativamente joven, pero altamente capacitado para afrontar nuevos retos en la gestión de cartera, como el uso extensivo de bases de datos y herramientas de cómputo. Parte del personal tiene estudios de especialización en el exterior.
- Departamento con alto sentido de búsqueda de innovación y mejora continua por medio de investigación y desarrollo de nuevas estrategias que mejoren el perfil de riesgo y el retorno de la cartera.
- Confianza por parte de la administración superior y el Comité de Reservas en la gestión según los resultados de retorno y nivel de riesgo estipulados.
- Claridad del plan estratégico, lineamientos y el código de Gobierno Corporativo, lo que facilita la gestión del Departamento para el logro de las metas propuestas.

2.10.2 Oportunidades

- Capacitación a más personal del departamento con cursos o especializaciones en el exterior para mejorar la capacidad técnica y de decisión de los gestores.
- Automatización de los procesos internos y bases de datos para mejorar la eficiencia y desempeño del departamento.
- Aumento de la diversificación de las estrategias.
- Aumento del horizonte de inversión de uno a tres años.
- Mejoramiento de la gestión del riesgo por medio de metodología de presupuesto de riesgo.
- Inclusión de consideraciones de sostenibilidad en la cartera. Por ejemplo, incluir activos verdes, incluir métricas ambientales en la cartera.

2.10.3 Debilidades

- Poca flexibilidad para comprar licencias de software pues esto depende de la solicitud y asignación de presupuesto con mucho tiempo de anterioridad.
- No todo el personal del Departamento cuenta con las habilidades de programación y procesamiento de datos que dictan los perfiles actuales de gestores de cartera.

- La poca tolerancia al riesgo definido por el Banco hace que el riesgo sea muy restrictivo y esto limita la posibilidad de obtener mejores retornos, siempre dentro de un marco de buenas prácticas de gestión del riesgo.
- No se cuenta con una metodología de presupuesto de riesgo que permita a los gestores administrar mejor el riesgo y tener mejor certeza de los efectos que tendrá una estrategia en el error de seguimiento de la cartera.

2.10.4 Amenazas

- Alta rotación de personal que afecta disponer de alto recurso humano capacitado en temas avanzados de gestión de carteras en mercados internacionales.
- Reducción de las Reservas Internacionales Netas (RIN) Disponibles por la crisis económica en que se encuentra el país lo cual puede generar mayores restricciones en la gestión activa de la cartera.
- Posibilidad de tener menores recursos en administración si los gestores externos alcanzan un mejor desempeño que el departamento.
- Aumento del riesgo de la cartera por falta de una metodología clara de presupuesto de riesgo. El presente trabajo es una iniciativa del BCCR para atacar esta amenaza.

Capítulo 3: Gestión de las reservas de divisas del BCCR

Los objetivos fundamentales de la administración de las RIN Disponibles en poder del Banco Central son la conservación del capital y la liquidez. El banco procura maximizar el rendimiento obtenido de las reservas según las condiciones del mercado y las restricciones establecidas consistentes a un bajo nivel de tolerancia al riesgo.

Las RIN Disponibles del Banco Central tienen la siguiente estructura (BCCR, 2015):

- Cartera de Liquidez en Dólares: Su objetivo es solventar la necesidad de caja del Banco Central y la realización normal de pagos al exterior.
- Cartera de Liquidez en Euros: Su objetivo es gestionar los saldos mantenidos en Euros por las entidades financieras nacionales en el Banco Central.
- Cartera de Bonos en Dólares: El objetivo de esta cartera es maximizar el rendimiento de las reservas, dentro de los niveles de riesgo tolerables definidos. Tiene como objetivo secundario absorber las necesidades de liquidez que no son cubiertas por la Cartera de Liquidez en Dólares.
- Cartera de Bonos Soberanos con Cobertura Cambiaria: El objetivo de esta cartera es maximizar el rendimiento de las reservas, dentro de los niveles de riesgo tolerables definidos.

Según las políticas de gestión de reservas del Banco Central, esta puede otorgar a entidades del exterior la administración de una parte de las RIN Disponibles, llamados gestores externos. Dichas entidades deben cumplir con una serie de requisitos establecidos por el Banco y deben someterse al proceso de selección y evaluación llevado a cabo por la División de Activos y Pasivos.

Para cada gestor externo, la JD le establece el tamaño, los objetivos, los criterios de evaluación del programa de administración y los elementos que considere necesarios. La

aprobación final del gestor y la firma de los contratos respectivos están a cargo de la administración del BCCR.

El Banco Central cuenta con la Comisión de Reservas (CR) integrada por el presidente, el gerente quien preside el Comité, el director de la División de Activos y Pasivos, el director del Departamento de Administración de Reservas y el director del Departamento Análisis y Riesgo.

Las principales funciones de este comité son:

- Efectuar el rebalanceo de las carteras que conforman las RIN Disponibles
- Establecer límites cuantitativos de inversión en las carteras que se gestionan de forma interna.
- Autorizar inversiones en instrumentos en que sus características y riesgos sean muy distintas a las inversiones que componen la cartera gestionada de forma interna.
- Revisar periódicamente la gestión y desempeño del administrador externo de carteras del BCCR.
- Establecer lineamientos cuando lo estime prudente para la gestión de los riesgos de la cartera gestionada de forma externa.
- Autorizar las contrapartes con las que se podrán efectuar operaciones.
- Decidir la conveniencia de mantener o liquidar anticipadamente una posición, en caso de que se presente una pérdida de requisitos de inversión.
- Adoptar medidas que estime convenientes de forma urgente para reducir riesgos como movimientos de montos entre carteras, cambios en los índices de referencia o similar, cuando la Junta Directiva esté imposibilitada legal o materialmente para sesionar y existan condiciones en el mercado o necesidades de liquidez extraordinaria que requieran la pronta adopción de cambios en la Cartera de Reservas.

3.1 Cartera de Liquidez en Dólares

Esta cartera es gestionada por la División de Activos y Pasivos únicamente. Esta cartera debe ser como mínimo un 25% de las RIN Disponibles y se deberá mantener una parte en inversiones de alta liquidez. Esta cartera podrá ser invertida en los siguientes instrumentos:

- Notas de descuento, instrumentos de corto plazo y bonos emitidos por gobiernos soberanos, agencias gubernamentales, entidades multilaterales, supranacionales y entidades oficiales.
- Certificados de depósitos y depósitos bancarios a la vista y a plazo.
- Obligaciones de otros intermediarios financieros.
- Fondos federales y depósitos overnight.
- Papel comercial.
- Recompras con instrumentos del Tesoro o títulos de agencias de los Estados Unidos de América.

El desempeño de la Cartera de Liquidez en Dólares es contrastado con el índice de referencia de la LIBID con plazo promedio de un mes, calculado por la entidad Merrill Lynch.

Los plazos máximos por tipo de instrumento son de 3 meses, pero pueden ser de hasta 1 año para letras, notas de descuento o instrumentos de corto plazo de gobiernos, agencias gubernamentales, entidades multilaterales y garantizadas por gobiernos.

3.2 Cartera de Liquidez en Euros

Esta cartera es gestionada por la División de Activos y Pasivos y se invierte en activos denominados en euros. El monto será el necesario para mantener el calce con los pasivos que mantenga el Banco Central en euros.

Esta cartera puede ser invertida en los siguientes instrumentos:

- Notas de descuento, instrumentos de corto plazo y bonos emitidos por gobiernos soberanos, agencias gubernamentales, entidades multilaterales, supranacionales y entidades oficiales.
- Depósitos bancarios a la vista, overnight y a plazo.
- Certificados de depósito y papel comercial.

Los plazos máximos por tipo de instrumento son de 3 meses, pero pueden ser de hasta 1 año para notas de descuento o instrumentos de corto plazo de gobiernos, agencias gubernamentales, y entidades multilaterales.

3.3 Cartera de Bonos en Dólares

Esta cartera, también conocida como la Cartera de Inversión, es gestionada por la División de Gestión de Activos y Pasivos y otra parte está dada en administración a la firma externa Western Asset Management. Adicionalmente, el Banco Mundial gestiona la otra proporción de esta cartera, según los términos definidos en las políticas del Banco Central y en el convenio *Reserve Advisory & Management Program* y sus modificaciones, firmado entre el BCCR y dicha entidad.

El monto de la cartera de inversión corresponde al saldo de las RIN Disponibles, una vez deducido el monto de las restantes carteras que la componen. Esta cartera puede ser invertida en los siguientes instrumentos:

- Bonos gubernamentales con tasas fijas, variables o ligados a la inflación, no redimibles anticipadamente.
- Valores de deuda emitidos por agencias gubernamentales, entidades oficiales o emisiones bancarias garantizados por gobiernos, no respaldados por hipotecas u otro tipo de activos, ni redimibles anticipadamente.
- Depósitos y bonos emitidos por entidades supranacionales o multilaterales.
- Acuerdos de préstamos de títulos con instrumentos del Tesoro de Estados Unidos de América, títulos de agencias gubernamentales, entidades oficiales y multilaterales.
- Contratos de futuros y forwards.

Las inversiones de esta cartera pueden efectuarse en gobiernos soberanos, bancos centrales, agencias gubernamentales, entidades oficiales y entidades supranacionales o multilaterales, cuya calificación de riesgo propio o soberano de largo plazo, sea igual o superior a A+, A1 o A+, según las agencias calificadoras de riesgo internacional de Standard & Poor's, Moody's Investor Services o Fitch Ibcá, respectivamente.

Todas las entidades, excepto los gobiernos soberanos, bancos centrales y entidades multilaterales deberán contar con calificación de riesgo soberano de largo plazo del país de residencia, igual o superior a AA-, Aa3 o AA-, según las agencias calificadoras de riesgo internacional Standard & Poor's, Moody's Investor Services y Fitch Ibcá, respectivamente. En los países cuya moneda oficial es el dólar de Estados Unidos de América, se analizará los ratings soberanos en divisa local y en los demás países el rating soberano en moneda extranjera.

El desempeño de esta cartera será contrastado con el índice de referencia de bonos del Tesoro de los Estados Unidos con plazo al vencimiento entre uno y tres años, calculado por *Bloomberg*.

Los plazos máximos por tipo de instrumento son:

- Obligaciones emitidas por gobiernos soberanos, agencias gubernamentales y entidades multilaterales: 10 años.
- Operaciones de préstamo de títulos: 90 días.

El error de seguimiento *ex ante* deberá mantenerse por debajo de los 50 p.b. Si dicho límite es excedido a raíz de movimientos propios del mercado, la cartera debe ser re balanceada dentro de los 30 días naturales siguientes.

3.4 Cartera de Bonos Soberanos con Cobertura Cambiaria

Esta cartera es gestionada por administradores externos, específicamente por las firmas BlackRock y BNP Paribas, y la base de esta moneda es el dólar estadounidense en los países en los que se permiten inversiones. Esta cartera puede ser invertida en los siguientes instrumentos:

- Instrumentos de corto plazo: Certificados de Depósito a Plazo y Euro Certificados de Depósito a Plazo; Papel Comercial y Euro Papel Comercial; Depósitos Bancarios a la vista y a plazo.
- Instrumentos de largo plazo: Bonos, notas y otros instrumentos de deuda incluyendo instrumentos de descuento, emitidos con garantía incondicional de pagos puntuales de intereses, principal y premio (si existe), emitidos por alguna de las entidades autorizadas en el siguiente artículo. Pueden ser a tasas fijas, variables o ligadas a la inflación.
- Contratos “forward” sobre tipos de cambio denominados en alguna de las monedas autorizadas en el artículo anterior; siempre y cuando la contraparte cumpla con las condiciones establecidas en este capítulo de la presente normativa.
- Contratos de futuros donde el subyacente es un bono de gobierno soberano y es emitido por alguna de las bolsas de futuros autorizadas y denominada en alguna de las monedas autorizadas.

Las inversiones de esta cartera podrán efectuarse en bancos comerciales, gobiernos soberanos, agencias gubernamentales, entidades multilaterales y emisiones bancarias garantizadas por gobiernos.

Tanto el emisor como su país de domicilio deberán contar con una calificación de riesgo de largo plazo en la moneda de la emisión, igual o superior a AA-, Aa3 o AA-, según las agencias calificadoras de riesgo internacional de Standard & Poor's, Moody's Investor Services y Fitch Ibcá, respectivamente.

El desempeño de esta cartera será contrastado con el índice de referencia de bonos de gobiernos soberanos excluyendo Estados Unidos y Suiza, con calificaciones crediticias desde AAA hasta AA, ponderados por el Producto Interno Bruto (PIB), con cobertura en USD y plazo al vencimiento entre uno y tres años.

3.5 Recursos del BCCR para la gestión de carteras

El Departamento de Administración de Reservas cuenta con 7 funcionarios. En el Departamento de Mercado laboran 12 personas y en el Departamento de Registro y Liquidación laboral colaboran 8 personas.

En materia de recursos informáticos, el BCCR cuenta con diversos sistemas, bases de datos y herramientas de cálculo para realizar la gestión de las carteras internas y supervisión de las carteras internas y externas.

En lo que respecta a los sistemas y plataformas informáticas, el BCCR utiliza los sistemas *Findur*, *B-One*, y *WorkBench*, este último es un sistema del Banco Mundial. El Banco Central también utiliza sistemas de bases de datos de calificadoras de crédito como S&P, Moody's y Fitch y cuenta con licenciamiento para acceder a las bases de datos de *Bloomberg* y sus sistemas de negociación.

En materia de procesamiento de datos, el Banco utiliza software y herramientas de programación como Matlab, R y Python. La Figura 5 muestra la distribución de los recursos entre los 3 departamentos (BCCR, 2021).

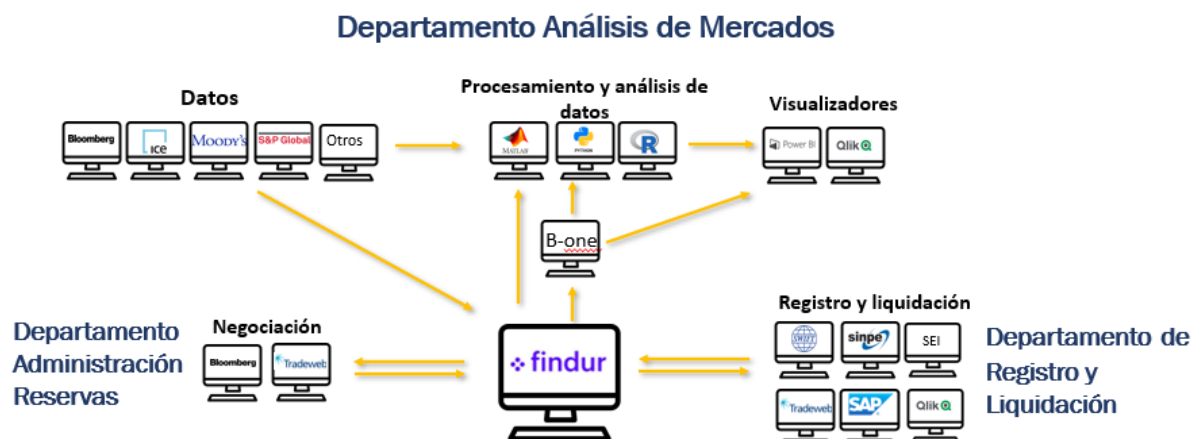


Figura 5: Recursos Informáticos para la Gestión de Carteras. Fuente y elaboración del BCCR.

3.6 Composición de las reservas actuales

La Figura 6 muestra la evolución de las reservas internacionales en el año 2020 e inicios del 2021. El monto de las RIN cayó a USD 7.225 millones al cierre del 2020, de los cuales USD 7.009 millones eran RIN Disponibles, es decir, aquellas que son invertidas en instrumentos transados en los mercados internacionales.

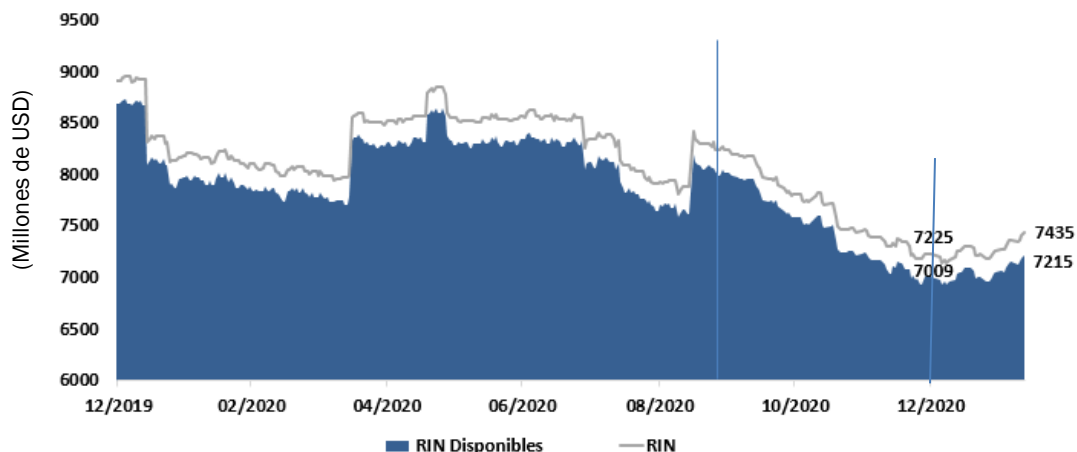


Figura 6: Evolución de las reservas de divisas. Fuente y elaboración BCCR.

Figura 6: Evolución de las reservas de divisas. Fuente y elaboración BCCR.

En el último trimestre del 2020 se observa una caída importante de las reservas por operaciones de estabilización bancaria y requerimientos de divisas del sector público no bancario.

En términos generales, los objetivos de la gestión de las reservas de divisas son asegurar la liquidez, la preservación del capital y finalmente maximizar el retorno. Esto es, se busca que las posiciones se puedan liquidar sin pérdida considerable en su valor justo, que no haya pérdida de capital en el horizonte anual con 99% de confianza y, una vez cumplidos esas metas, maximizar los retornos.

La asignación estratégica de activos del Banco Central, la cual se encarga de determinar el tamaño y características de los rubros que conforman las reservas, tiene actualmente definida la composición relativa mostrada en la Figura 7. El 50% de las RIN Disponibles están colocadas en la cartera de liquidez en dólares, el 40% en la cartera de inversión en dólares y, sólo el 10% en bonos soberanos con cobertura cambiaria. La cartera de liquidez en euros es menor a 1% en la actualidad y se considera despreciable para los efectos prácticos.

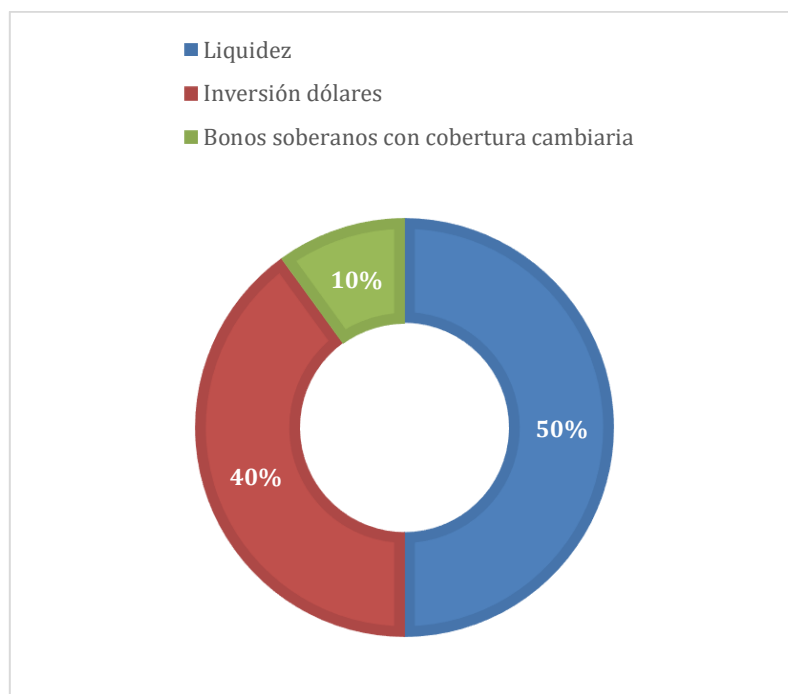


Figura 7: Composición relativa de las carteras de reservas en el año 2021. Fuente BCCR.

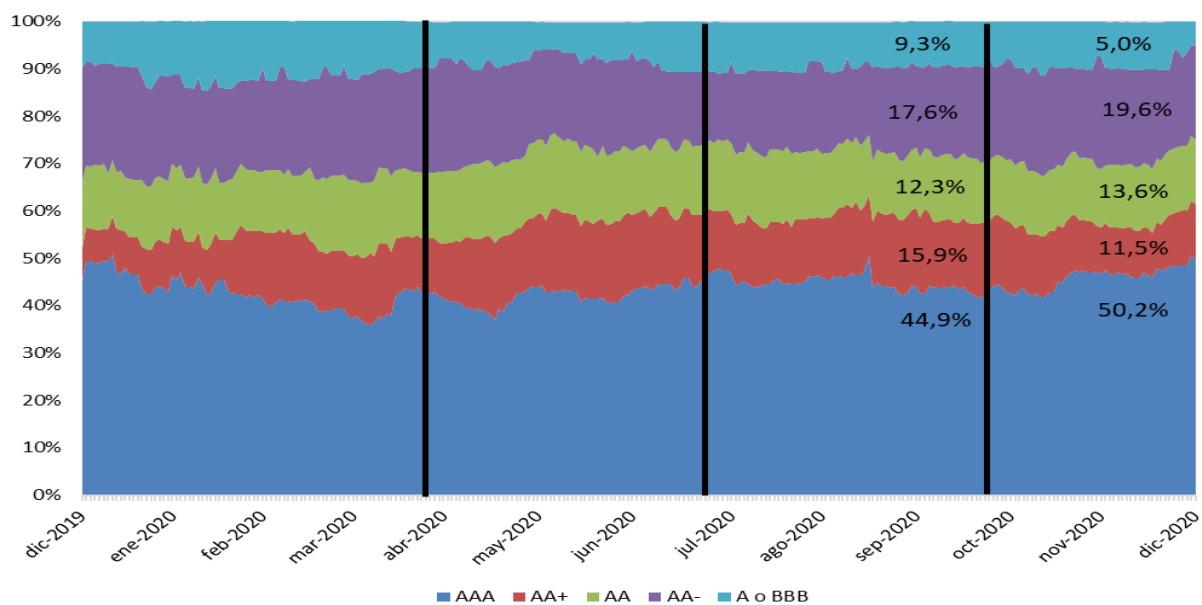


Figura 8: Evolución de la exposición de las reservas por calificación crediticia. Fuente y elaboración BCCR.

Las RIN Disponibles se invierten principalmente en bonos emitidos por gobiernos soberanos con alto perfil crediticio, entidades financieras domiciliadas en países desarrollados y en instituciones supranacionales. La Figura 8 muestra la evolución de la exposición por calificación crediticia en el año 2020. Nótese que, en la mayor parte del año 2020, casi el 50% de las reservas se invirtieron en emisores AAA, mientras que poco más del 40% se invirtieron en emisores AA. Esto muestra el bajo nivel de tolerancia al riesgo definido por el BCCR y respetado por los gestores.

Por su parte, la Figura 9 muestra la composición de las reservas por sector. Los bancos comerciales, las agencias fuera de Estados Unidos y el Gobierno de Estados Unidos son las entidades donde más se invierten las reservas.

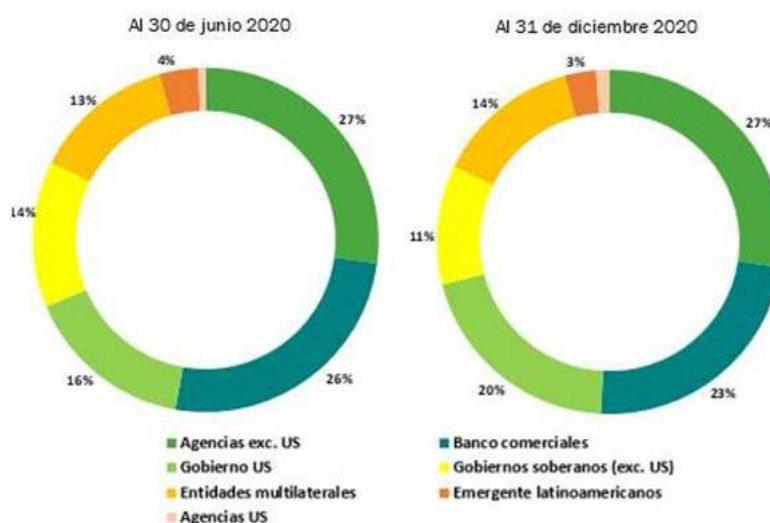


Figura 9: Composición de las reservas por sector. Fuente y elaboración BCCR.

La Figura 10 lista las estrategias utilizadas en el año 2020 en la Cartera de Inversión del BCCR. La proporción de estas estrategias varía según los análisis de oportunidad y conveniencia que realizan los gestores, por lo que no es representativo indicar la composición relativa en la cartera en un día particular.



Figura 10: Estrategias usadas de la cartera de Inversión en el año 2020. Fuente BCCR.

3.7 Retorno de las reservas

Una de las formas para analizar qué tan buena fue la gestión activa de las carteras es comparar los resultados de los retornos obtenidos y compararlos con los retornos de los índices de referencia.

La Figura 11 muestra el retorno de las carteras en el tercer y cuarto trimestre del 2020 y se comparan con los índices de referencia (Ref.) de donde es posible calcular el retorno en exceso (REA).

Cartera	III TRIMESTRE 2020			IV TRIMESTRE 2020		
	Cartera	Ref.	REA	Cartera	Ref.	REA
En Dólares						
Liquidez en Dólares	6.2	0.9	5.3	5.5	0.5	5.0
Cartera de Bonos	16.2	9.7	6.4	12.6	4.6	7.9
Cartera de Bonos Soberanos con Cobertura Cambiaria	12.1	8.9	3.2	17.1	8.6	8.5
Total Cartera US\$	10.3	4.7	5.5	9.6	3.0	6.6
Liquidez en Euros	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 11: Retorno de las carteras y los índices de referencia en el segundo semestre del 2020. Fuente y elaboración BCCR.

En todas las carteras se notan retornos en exceso (REA) positivos lo cual es indicador de una buena gestión activa de las carteras.

3.8 Proceso actual de gestión de reservas

El Departamento de Administración de Reservas tiene un flujo de trabajo bastante complejo que incluye la interacción con otros departamentos de la División Gestión Activos y Pasivos. En la Figura 12 se muestra un diagrama de flujo simplificado de la gestión de la cartera de inversión en dólares. En color negro se representa el proceso actual.

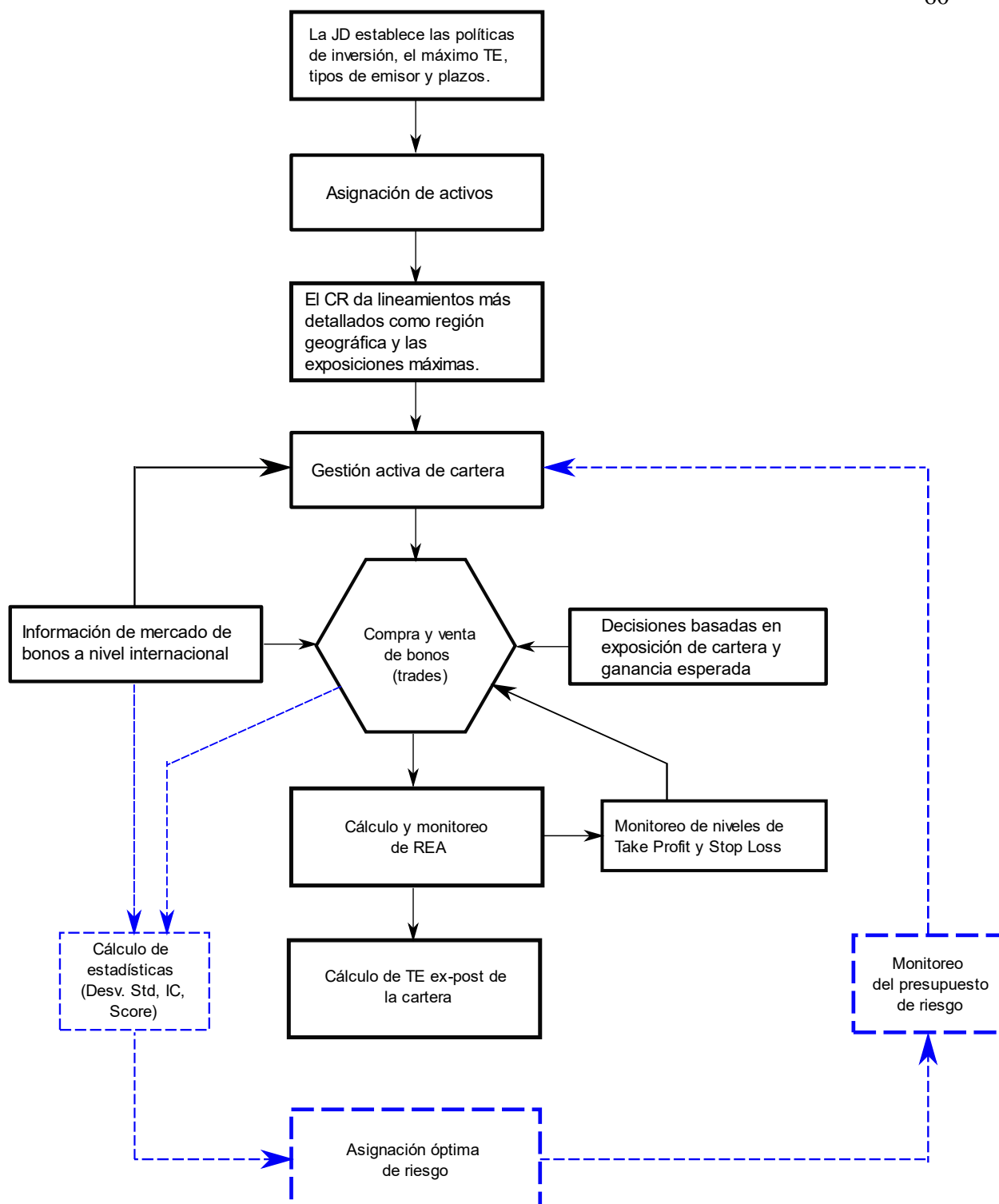


Figura 12: Diagrama de flujo del proceso de gestión de carteras en el BCCR.

La administración de las reservas se rige por las Políticas de Inversión definidas por la JD del BCCR que establece entre otras cosas el máximo TE que se puede administrar. La asignación estratégica de activos lo realiza el Departamento de Análisis de Mercado, que debe ser aprobado también por la JD. En esta etapa se define el porcentaje de las reservas que se van a invertir en los diferentes tipos de activos y que cumplen con los requerimientos definidos por la JD.

El CR utiliza las políticas generales de la JD y brinda mayores lineamientos en materia de la región geográfica de los emisores y las exposiciones máximas. Estos 2 órganos colegiados dictan entonces las reglas y límites con las que los gestores deben trabajar.

El resultado de la asignación estratégica es recibido por el Departamento de Administración de Reservas quien realiza a lo interna la gestión activa de la cartera. Este es un proceso que permite a los gestores crear valor extra al beneficiarse de ciertas condiciones del mercado. Su objetivo es mejorar los retornos con respecto a una gestión pasiva. En la gestión activa de cartera se escogen las diferentes estrategias a utilizar. Por ejemplo, *Deposits*, *ED Credits*, *Floaters*, entre otros.

Las estrategias son conformadas por negociación (*trades*) de compra y venta de bonos. Para cerrar una negociación, los gestores analizan la exposición de la cartera y la ganancia esperada. Los resultados de los *trades* son monitoreados a través del REA. Si los precios de los bonos adquiridos sobrepasan los niveles de *Take Profit* o *Stop Loss*, se evalúa su conveniencia de mantenerlos o realizar nuevas negociaciones de bonos.

Los impactos en el error de seguimiento de la cartera y el aporte de cada estrategia solo se conocen hasta el día después de ejecutada una negociación. En algunas situaciones, esta situación limita el aprovechamiento de oportunidades, particularmente cuando el TE se encuentra cerca de su valor máximo permitido.

Como parte de las mejoras que busca el Departamento de Administración de Reservas, en este trabajo se plantea un paso más en la selección de las estrategias dentro de la Cartera de Inversión, el cual consiste en optimizar el riesgo disponible entre las estrategias consideradas y redistribuir los pesos basado en esta optimización. Este nuevo proceso de presupuesto de riesgo se representa por los bloques en color azul.

Con la información de bonos en el mercado internacional y los bonos negociados, los gestores pueden obtener estadísticas de desviación estándar, IC y *Score*, así como las correlaciones entre las diferentes estrategias para calcular luego la asignación óptima del TE de la cartera. El resultado de la asignación óptima permite un monitoreo del presupuesto de riesgo de la cartera que se usarán como insumos o retroalimentación al proceso de gestión activa de cartera.

En el siguiente capítulo se desarrollará con detalle el bloque de asignación óptima de riesgo de la Figura 12. Se explicarán los datos de entrada, la formulación matemática y la descripción de la herramienta computacional que le permitirá al BCCR cerrar el lazo azul y con esto mejorar el desempeño de la administración de la cartera.

Capítulo 4: Asignación Óptima del Presupuesto de Riesgo

En este capítulo se explica la formulación matemática de asignación óptima del presupuesto de riesgo, según la teoría presentada en el Capítulo 1. Además, se presenta la estructura de la herramienta desarrollada para el BCCR y varios ejemplos de validación de dicha herramienta. Se espera que el Banco Central utilice este nuevo recurso para mejorar su gestión de inversiones a nivel internacional.

4.1 Problema de optimización en Python

En el capítulo 1 se introdujo la formulación matemática que permite asignar de manera óptima el riesgo entre las diferentes estrategias de una cartera de inversión. El objetivo de la formulación es maximizar el retorno de la cartera, sujeto a las restricciones impuestas por el máximo TE de la cartera y de las estrategias individuales. Las variables de decisión son los TE de las N_p estrategias y estos se agrupan en un vector columna $\mathbf{x} = [TE_1, \dots, TE_{N_p}]^T$.

A continuación, se detalla el problema de optimización a resolver y se estructura de una manera apropiada para su programación en el lenguaje de programación Python.

4.1.1 Formulación de la función objetivo

La función objetivo general propuesta en este trabajo está dado por:

$$\max \sum_{i=1}^{N_p} \frac{x_i \times IC_i \times Score_i}{\sigma_i} \quad (32)$$

Los valores de IC , $Score$ y σ son parámetros de entrada de la formulación matemática. La desviación estándar en el denominador es opcional y se usa solo como un factor de ajuste. Basado en esto, es posible generar diferentes alternativas según las preferencias de los gestores de cartera. Por ejemplo, si se elimina el ajuste por desviación estándar y el $Score$, la función objetivo se simplificaría a:

$$\max \sum_{i=1}^{N_p} x_i \times IC_i \quad (33)$$

La función por maximizar dada en (32) se programa en Python como el producto de un vector fila \mathbf{c} que contiene la información de IC , $Score$ y σ , y el vector de decisión \mathbf{x} . Matemáticamente,

$$\mathbf{c} \cdot \mathbf{x} \quad (34)$$

Si se toma por ejemplo la simplificación de la ecuación (33), entonces $\mathbf{c} = [IC_1, IC_2, \dots, IC_{N_p}]$.

4.1.2 Formulación de las restricciones

Restricciones lineales

Las restricciones lineales en este problema son aquellas que limitan TE de cada estrategia, la cual debe ser positiva y no mayor a un valor máximo definido por el usuario. A estas restricciones se les conoce como *bound constraints*:

$$0 \leq x_i \leq TE_i^{max}, \quad i = 1, \dots, N_p. \quad (35)$$

La forma como se incluyen estas restricciones en Python depende exclusivamente de la sintaxis del *solver* de optimización.

Restricción cuadrática

La restricción relacionada con el máximo TE de la cartera está dada por:

$$\sqrt{\mathbf{x}^T \boldsymbol{\Sigma} \mathbf{x}} \leq TE_p^{max} \quad (36)$$

donde $\boldsymbol{\Sigma}$ es la matriz de correlaciones de tamaño $N_p \times N_p$:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1N_p} \\ \rho_{21} & 1 & \cdots & \rho_{2N_p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{N_p1} & \rho_{N_p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (37)$$

Para incluir esta restricción en Python, ambos lados de la ecuación se deben elevar al cuadrado de la forma:

$$\mathbf{x}^T \Sigma \mathbf{x} \leq (TE_p^{max})^2 \quad (38)$$

Luego, por medio de un *for-loop* en Python se calcula la multiplicación $\mathbf{x}^T \Sigma$ y el resultado de este vector fila se multiplica por el vector columna \mathbf{x} . La forma como se incluye esta restricción en Python depende también de la sintaxis del *solver* de optimización.

La asignación óptima del TE en las estrategias, y que están contenidas en el vector de solución $\mathbf{x}^* = [TE_1^*, TE_2^*, \dots, TE_{N_p}^*]$, se utiliza para calcular los pesos implícitos de las estrategias. Para la *i*-ésima estrategia se utiliza el cálculo intermedio:

$$v_i = \frac{TE_i^*}{\sigma_i} \quad (39)$$

Finalmente, el peso implícito de la *i*-ésima estrategia es:

$$\omega_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^{N_p} v_i} \quad (40)$$

4.2 Descripción de los Solvers

Con el objetivo de tener las herramientas idóneas para resolver el problema de optimización anterior, se buscaron diferentes *solvers* de optimización que tuviera las siguientes características:

- Interfaz en Python por medio de un API.
- Capaz de resolver problemas con restricciones cuadráticas
- Licencia de uso gratuita o al menos con opciones de prueba (limitadas) o académicas

- De fácil uso y con buena documentación

Estas 4 condiciones fueron cumplidas a cabalidad por los paquetes Xpress, Gurobi y CPLEX (por medio de Pyomo). A continuación, se hace una breve descripción de estas herramientas de optimización.

4.2.1 Xpress

Xpress es un producto de software desarrollado por la empresa FICO. El software se especializa en la solución de problemas de optimización altamente complejos. Entre los problemas que puede resolver Xpress se encuentran (FICO, 2021):

- Programación lineal
- Programación de enteros mixta
- Programación cuadrática
- Programación con restricciones cuadráticas

Para instalar los módulos de Xpress en Python, en consola se utiliza la instrucción:

```
pip install xpress
```

Actualmente funciona para versiones de Python de 3.8 o inferior. FICO espera realizar en el corto plazo una nueva versión del API compatible con la versión 3.9 de Python. Este comando no solo instala el producto, sino que también provee una licencia gratuita para problemas con no más de 5000 variables de decisión y restricciones. El BCCR puede utilizar este producto sin costo alguno.

A manera de ejemplo, para resolver un problema como el siguiente en el API de Xpress para Python:

```
#  minimice
#      x1^2 + 2 x2
#  sujeto a
#      x1 + 3 x2 >= 4
#      -10 <= x1 <= 10
```

```
#         x1 entero
#         x2 >= 0
```

Se debe utilizar la siguiente sintaxis:

```
import xpress as xp

x1 = xp.var(vartype=xp.integer, name='x1', lb=-10, ub=10)
x2 = xp.var(name='x2', lb=0)

p = xp.problem(x1, x2,
               x1**2 + 2*x2, # funcion objetivo
               x1 + 3*x2 >= 4, # restricciones
               name='myexample') # (opcional)

p.solve()
print ("solution: {0} = {1}; {2} = {3}".format (x1.name,
p.getSolution(x1), x2.name, p.getSolution(x2)))
```

4.2.2 Gurobi

Gurobi es un producto de software de optimización. Se considera uno de los productos más poderosos y rápidos en el mercado de *solvers*. Entre los problemas que puede resolver Gurobi están (Gurobi, 2021):

- Programación lineal y cuadrática
- Programación lineal y cuadrática de enteros mixta
- Programación con restricciones cuadráticas

Para instalar los módulos de Gurobi en Python, en la consola se utiliza la instrucción:

```
pip install gurobi
```

El usuario debe instalar una licencia comercial o académica en la computadora para utilizar el producto. Las licencias académicas son gratuitas para estudiantes y funcionarios universitarios, tienen una vigencia de varias semanas, pero es renovable de manera indefinida.

Gurobi tiene una sintaxis bastante similar a la interfaz de programación de Xpress. A manera de ejemplo, para resolver un problema como el siguiente en el API de Gurobi para Python:

```
# maximice
#      x +   y + 2 z
# sujeto a
#      x + 2 y + 3 z <= 4
#      x +   y           >= 1
#      x, y, z binario
```

Se utiliza la sintaxis:

```
import gurobipy as gp
from gurobipy import GRB

try:

    # Crear nuevo modelo
    m = gp.Model("mip1")

    # Crear variables
    x = m.addVar(vtype=GRB.BINARY, name="x")
    y = m.addVar(vtype=GRB.BINARY, name="y")
    z = m.addVar(vtype=GRB.BINARY, name="z")

    # Definir objetivo
    m.setObjective(x + y + 2 * z, GRB.MAXIMIZE)

    # Incluir restriccion: x + 2 y + 3 z <= 4
    m.addConstr(x + 2 * y + 3 * z <= 4, "c0")

    # Incluir restriccion: x + y >= 1
    m.addConstr(x + y >= 1, "c1")

    # Optimizar modelo
    m.optimize()
```

4.2.3 CPLEX

CPLEX es un producto de software de optimización desarrollado por IBM. Ese producto puede resolver problemas del tipo (IBM, 2021):

- Programación lineal y cuadrática
- Programación lineal y cuadrática de enteros mixta
- Programación con restricciones cuadráticas

El API de CPLEX no es tan amigable como las opciones de Xpress y Gurobi por lo que se recomienda utilizar el software Pyomo para realizar la modelación del problema y luego llamar a CPLEX para resolver el problema. CPLEX se instala como cualquier otro software en la computadora. Una vez instalado, se debe abrir una ventana de comandos (cmd) y realizar los siguientes pasos:

1. Escribir `cd "C:\Program Files\IBM\ILOG\CPLEX_Studio201\python"`
2. Escribir `python setup.py install`

Para instalar Pyomo en Python, se escriben las instrucciones:

```
pip install Pyomo
```

Una vez que se tienen instalados los módulos respectivos, se procede a trabajar el modelado del problema con Pyomo y se escoge como solver CPLEX. La ventaja que tiene Pyomo es que es capaz de trabajar con diferentes solvers, solo se requiere cambiar una línea de código. Sin embargo, cualquier usuario que aprende a utilizar la sintaxis de Xpress o Gurobi no tendrá mayor incentivo en utilizar CPLEX y Pyomo.

Como el API de CPLEX no es tan amigable, Pyomo sí resulta conveniente pues simplifica considerablemente el modelado de los problemas en Python. Para efectos de este trabajo no se recomienda el uso de CPLEX (y Pyomo) porque el problema de optimización se puede formular fácilmente desde el API de Xpress o Gurobi.

A manera de ejemplo, para resolver un problema como el siguiente con CPLEX+Pyomo:

```
#  minimice
#      2x1 + 3x2
#  sujeto a
#      3x1 + 3x2 >= 1
#      x1, x2  >= 0
```

Se utiliza la sintaxis:

```
import pyomo.environ as pyo
from pyomo.environ import *
import cplex

model = pyo.ConcreteModel()
model.x = pyo.Var([1,2], domain=pyo.NonNegativeReals)
model.OBJ = pyo.Objective(expr = 2*model.x[1] + 3*model.x[2])
model.Constraint1 = pyo.Constraint(expr = 3*model.x[1] +
4*model.x[2] >= 1)

opt = pyo.SolverFactory('cplex')

results=opt.solve(model, tee=True)
```

4.2.4 Ejemplo ilustrativo del gestor externo Banco Mundial

A continuación, se desarrolla un ejemplo ilustrativo para resolver el problema de asignación de riesgo según la función objetivo (33) con restricciones lineales (35) y la restricción cuadrática (38).

Para resolver este problema se utilizan los 3 *solvers* anteriores y se comparan los respectivos resultados. Para validar el correcto uso de los solvers en Python, se trabaja con un caso académico desarrollado por el Banco Mundial en (Vela, 2019). Esta prueba considera una cartera de inversión con $N_p = 3$ estrategias y un TE máximo de cartera de 324 pbs. Este valor también se usa para definir el máximo TE de cada estrategia. Los datos de entrada para cada estrategia son:

Cuadro 3: Datos de estrategias en ejemplo propuesto por el Banco Mundial.

	ESTRATEGIA 1	ESTRATEGIA 2	ESTRATEGIA 3
IC	0,5	0,5	0,5
MÁXIMO TE	324 pbs	324 pbs	324 pbs

La matriz de correlaciones de las 3 estrategias está definida por:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & 0,10 & 0,5 \\ 0,10 & 1 & -0,3 \\ 0,5 & -0,3 & 1 \end{bmatrix} \quad (41)$$

De la matriz anterior es claro que las estrategias 2 y 3 presentan correlación negativa, lo cual es muy bueno para efectos de diversificación. Si se desarrolla la ecuación (38) con los datos brindados en (41), se obtiene la siguiente expresión:

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + 0,2x_1x_2 + 1x_1x_3 - 0,6x_2x_3 \leq (TE_p^{max})^2 \quad (42)$$

Por su parte, como las 3 estrategias presentan todas el mismo IC, la solución de optimización debe aprovechar la correlación negativa entre las 2 últimas estrategias para maximizar el retorno sin sobrepasar el TE máximo de 324 pbs. Es entonces esperable que la solución brinde mayor asignación del TE a las estrategias 2 y 3.

El Cuadro 4 presenta los resultados de la optimización para los 3 *solvers* analizados. Los códigos en Python que permiten obtener estos resultados se presentan en el Anexo A del documento.

Cuadro 4: Comparación de resultados del problema de optimización.

	ESTRATEGIA 1	ESTRATEGIA 2	ESTRATEGIA 3
XPRESS	39,98 pbs	261,42 pbs	249,12 pbs
GUROBI	39,98 pbs	261,43 pbs	249,12 pbs
CPLEX	39,98 pbs	261,42 pbs	249,12 pbs

De los resultados anteriores se comprueba que los 3 *solvers* brindan prácticamente los mismos valores. Además, como era de esperar, por la correlación negativa entre las estrategias 2 y 3, el optimizador asigna más TE a estas estrategias pues se obtiene un efecto diversificador de la cartera.

Finalmente, los resultados del Cuadro 4 concuerdan con los valores redondeados que se reportan en (Vela, 2019). Los resultados eran 40 pbs para Estrategia 1, 262 pbs para Estrategia 2 y 249 pbs para Estrategia 3.

4.3 Desarrollo de herramienta

La necesidad actual del Departamento de Administración de Reservas es contar con una herramienta de optimización que le permita asignar de manera óptima el riesgo según el máximo TE de la cartera.

Hasta este punto se presentó la formulación matemática que permite optimizar la asignación de riesgo por medio de las ecuaciones (32), (35) y (36) y también se demostró que el problema se puede resolver satisfactoriamente con los *solvers* Xpress, Gurobi y CPLEX.

En las siguientes secciones se presenta la herramienta desarrollada en Python que resuelve el problema de optimización para una cartera de inversión con N_p estrategias. Es decir, no hay límite al número de estrategias que el BCCR quiera considerar. Esto considera una lógica de programación en Python preparada para un problema de gran dimensión.

Esta nueva herramienta cumple con las solicitudes de funcionarios del Departamento de Administración de Reservas quienes utilizarán este trabajo para mejorar la gestión de la cartera de inversión del BCCR. La herramienta trabaja con los *solvers* Xpress y Gurobi por sus mayores facilidades de licenciamiento, instalación y modelado. Los resultados de ambos

solvers para diferentes pruebas no documentadas en el trabajo arrojaron resultados muy similares en todos los casos.

4.3.1 Estructura de la herramienta

La Figura 13 muestra la estructura de la herramienta desarrollada para el cumplimiento de los objetivos propuestos. Los datos de entrada de la herramienta son:

- El máximo TE de la cartera.
- La IC, la desviación estándar, el SCORE y los TE máximos de cada estrategia.
- La matriz de correlaciones de las estrategias.

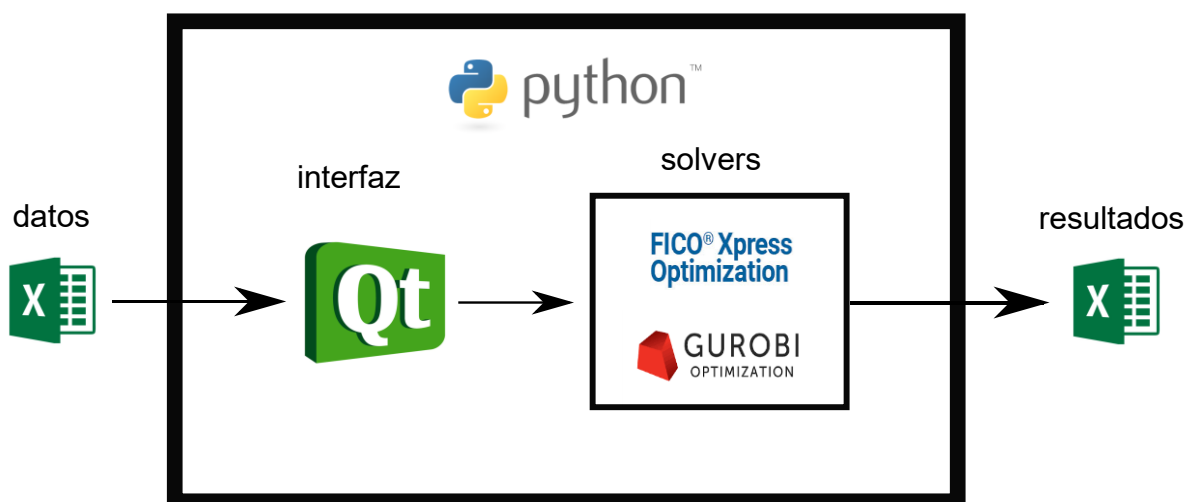


Figura 13: Estructura de herramienta en Python. Elaboración propia.

Estos datos deben ingresarse por medio de un archivo de Microsoft Excel que ingresa a la herramienta por medio de una interfaz de usuario. Esta interfaz se desarrolló en Qt Creator, una herramienta diseñada para crear carátulas de manera rápida y relativamente sencilla (QT, 2021).

El usuario también debe definir el tipo de función objetivo a utilizar. Se puede escoger el ajuste por desviación estándar de la ecuación (32) y se puede considerar o no el SCORE de cada estrategia.

El código de Python convierte la información contenida en el archivo de Excel y genera arreglos y listas para uso del *solver* seleccionado (Xpress o Gurobi). La salida de la herramienta es la asignación óptima del TE y los pesos implícitos calculados por medio de la ecuación (40) que se le entregan al usuario por un nuevo archivo de Microsoft Excel.

4.3.2 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica de la herramienta se muestra en la Figura 14. El usuario debe buscar y seleccionar el archivo de Excel con los datos de las estrategias que conforman la cartera. También se debe especificar la dirección en la computadora donde se desea guardar el archivo de salida de la herramienta.

El archivo de Excel que contiene los datos de entrada debe tener 3 hojas con los siguientes nombres: Estrategias, Correlaciones y Portafolio. La Figura 15 muestra el formato de los datos de entrada contenidos en la hoja Estrategias.

El usuario no debe cambiar el título de las columnas, pero sí puede cambiar el nombre de las estrategias. En el ejemplo se muestran los datos de entrada de 5 estrategias, cada una con un nombre genérico de A a la E. La columna de desviación estándar se utiliza únicamente cuando se desea realizar el ajuste de la función objetivo, las unidades de los datos en esta columna deben ser pbs, lo mismo para los datos en la columna Max. TE de cada estrategia.

Figura 14: Interfaz gráfica de la herramienta.

	A	B	C	D	E
1	Nombre	Std. Dev	IC	SCORE	Max. TE
2	Deposits	0,1	0,1	2	25
3	ED Spreads	2	0,1	2	25
4	Gen. Credits	9	0,3	2	25
5	Floaters	1	0,1	2	25
6	Pasiva	1,58	0,1	2	25
7					
8					

← → **Estrategias** | Correlaciones | Portafolio

Figura 15: Formato de datos de entrada en hoja Estrategias.

En la Figura 16, se muestra la forma como se debe ingresar la matriz de correlaciones entre los retornos de las estrategias. Nótese que esta hoja no requiere ningún título de columna,

sino que el elemento (1,1) de la matriz se ingresa en la casilla A1 de la hoja de Excel. Al ser una matriz de correlaciones, los elementos de la diagonal deben ser todos iguales a 1 y los elementos fuera de la diagonal deben ser valores entre -1 y 1. Para un problema con N_p estrategias, se debe incluir una matriz cuadrada de $N_p \times N_p$. Esta matriz es simétrica por definición, o sea el valor $\rho_{ij} = \rho_{ji}$.

	A	B	C	D	E
1	1	0,2	0,4	-0,2	0,3
2	0,2	1	0,3	0,1	0,4
3	0,4	0,3	1	0,2	0,5
4	-0,2	0,1	0,2	1	0,3
5	0,3	0,4	0,5	0,3	1
6					
7					
8					

Figura 16: Formato de datos de entrada en hoja Correlaciones.

Por su parte, la Figura 17 muestra el formato de los datos de entrada en la hoja Portafolio. El usuario solo debe ingresar el valor del máximo TE de la cartera. Este valor debe estar dado en unidades de pbs.

	A	B	C	D	E
1	MAX TE				
2		45			
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Figura 17: Formato de datos de entrada en hoja Portafolio.

La interfaz gráfica también le consulta al usuario si desea resolver el problema con Xpress o Gurobi y el tipo de formulación de la función objetivo. Al seleccionar *Formulación 1*, no se considera ningún ajuste por desviación estándar y el denominador de la función objetivo

presentado en la ecuación (32) se reemplaza por 1. Si se escoge la *Formulación 2* la función objetivo es tal como se muestra en la ecuación (32).

El usuario tiene la libertad de considerar o no el multiplicador *Score* en la ecuación (32). De esta forma, si se desea la función objetivo de la ecuación (33), el usuario debe seleccionar *Formulación 1* y deshabilitar la opción SCORE, tal como se muestra en la interfaz gráfica de usuario de la Figura 14.

Una vez ingresado el archivo con los datos de entrada, el usuario puede escoger hasta 10 estrategias para ser vistas de manera simultánea desde la interfaz. Esto no quiere decir que la herramienta no sea capaz de procesar más de 10 estrategias. Es solo una limitación del número de estrategias que pueden ser visualizadas desde la interfaz. El usuario siempre podrá ver los datos de entrada desde el archivo de Excel.

Si desea cambiar alguno de estos datos, el usuario puede realizar el cambio y la herramienta dará prioridad al dato escrito en la interfaz. Este dato no cambia el dato dado en el archivo de Excel.

Luego el usuario debe darle *click* al botón **Cargar datos** a la derecha de la interfaz gráfica. El usuario podrá visualizar entonces los datos de las estrategias seleccionadas. Aún si no se escoge ninguna estrategia para visualización, se debe dar click al botón de cargar datos para alimentar los *solvers* con los datos de entrada correspondientes.

La Figura 18 muestra el resultado de dar click al botón de cargar datos si el usuario previamente había seleccionado visualizar las primeras 3 estrategias. Es aquí cuando el usuario puede cambiar los datos de entrada para realizar pruebas sin modificar los datos de entrada originales en el archivo de Excel.

Cargar datos					<input checked="" type="radio"/> Solver Xpress <input type="radio"/> Solver Gurobi <input checked="" type="radio"/> Formulación 1 <input type="radio"/> Formulación 2 <input type="radio"/> SCORE				
Nombre de estrategia	Sigma	IC	SCORE	Máx. TE	Nombre de estrategia	Sigma	IC	SCORE	Máx. TE
Deposits	0.1	0.1	2	25	Seleccione				
ED Spreads	2.0	0.1	2	25	Seleccione				
Gen. Credits	9.0	0.3	2	25	Seleccione				
Seleccione					Seleccione				
Seleccione					Seleccione				

Figura 18: Visualización de los datos de entrada de 3 estrategias.

Una vez cargados los datos, el usuario debe dar *click* al botón **OK** y los resultados de la optimización se mostrarán en consola de Python y se guardarán en la carpeta de la computadora que el usuario seleccionó previamente.

El código fuente en Python de la herramienta de presupuesto de riesgo se presenta en detalle en el Anexo B del documento.

4.4 Resultados del modelo de presupuesto de riesgo

A continuación, se presentan 2 casos de muestra que sirven para validar la herramienta propuesta. El primer caso se basa en datos suministrados por el BCCR sobre 5 estrategias de la cartera actual de inversión y el segundo es un caso de prueba para mostrar el potencial de la herramienta para procesar y dar resultados a problemas con mayor número de estrategias. Como se mencionó anteriormente, la herramienta no tiene límite en el número de estrategias por considerar.

4.4.1 Asignación de riesgo a cartera con 5 estrategias

En esta sección se presentan los resultados de la asignación de riesgo en una cartera con 5 estrategias. La información de la desviación estándar σ de las estrategias, el IC y la matriz de correlaciones fue proporcionada por el Departamento de Administración de Reservas del BCCR. Los datos de TE máximo y el SCORE de cada estrategia fueron seleccionados

arbitrariamente con el fin de mostrar las capacidades del nuevo modelo de presupuesto de riesgo. El detalle de estos datos se presenta en las Figuras 15 a 17. TE máximo para esta cartera fue de 45 pbs.

La Figura 19 muestra los resultados de optimización con el solver *Xpress* para la *Formulación 1* y la *Formulación 2* (función objetivo ajustada por la desviación estándar). Resultados idénticos se obtuvieron al usar Gurobi por lo que no se reportan en el resto del documento.

Para ambas formulaciones, el TE de la cartera no supera los 45 pbs, con lo cual se cumple la restricción cuadrática del problema de optimización. Además, ninguna estrategia supera TE máximo individual de 25 pbs, lo cual confirma también el buen funcionamiento de las restricciones de desigualdad del problema de optimización.

Los gráficos en la Figura 19 muestran resultados muy diferentes según la función objetivo seleccionada. En la *Formulación 1*, la estrategia de *General Credits* recibe la mayor porción de asignación del TE porque tiene el IC más alto entre las estrategias, lo cual maximiza el retorno. Las estrategias de *Floaters* y *Deposits* se ven beneficiadas por tener correlación negativa entre ellas. Por su parte, *ED Spreads* no recibe una asignación tan alta por tener una correlación positiva de 0,3 con la estrategia de *General Credits*, que termina con el máximo TE permitido de 25 pbs. De manera similar, como la estrategia *Pasiva* tiene una correlación de 0,4 con *General Credits*, esto conlleva a una asignación nula de TE. El uso de las otras 4 estrategias tiene el mismo efecto en la maximización del retorno porque todas tienen un IE de 0,1, pero el uso de *Pasiva* aumentaría innecesariamente TE de la cartera según la matriz de correlaciones de entrada.

En la *Formulación 2*, la optimización llevó a una asignación máxima de 25 pbs a las estrategias de *Floaters* y *Deposits* porque presentan correlación negativa, lo cual beneficia a

la diversificación de la cartera, y porque tienen las desviaciones estándar más pequeñas, que al estar en el denominador de la ecuación (32) maximizan el retorno de la cartera.

Las estrategias *ED Spreads* y *Pasiva* presentan una asignación menor a los 10 pbs porque su uso no era tan beneficioso como *Floaters* y *Deposits*, pero ellas sí aportan a la maximización del retorno. Finalmente, a la estrategia de *General Credits* se le asignó un TE de 0 pbs en la *Formulación 2* porque es la que presentaría el menor aporte a la maximización del retorno modelado en la ecuación (32), al poseer una desviación estándar muy alta en el denominador.

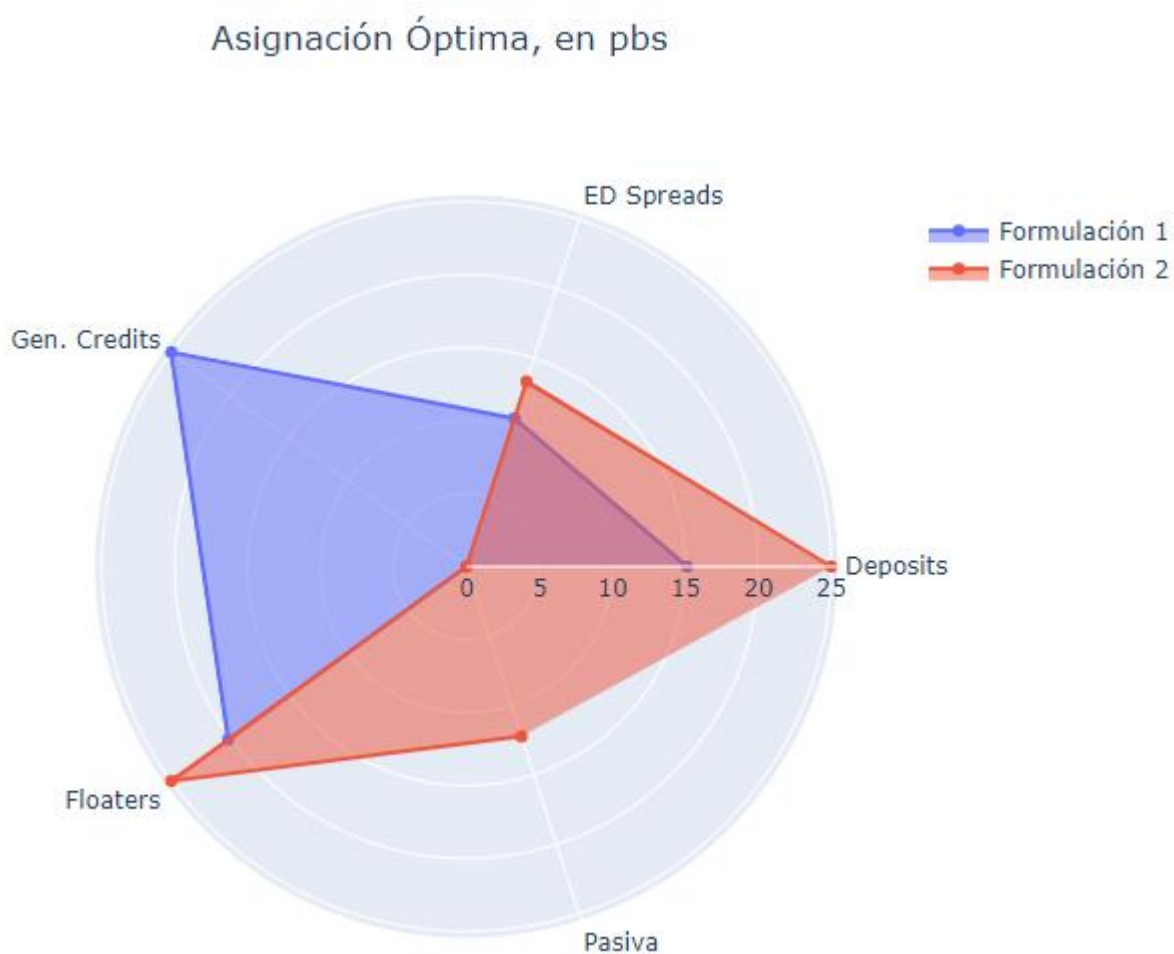


Figura 19: Gráfico tipo radar de los resultados de la optimización para 5 estrategias.

4.4.2 Asignación de riesgo a cartera con 25 estrategias

Con el objetivo de mostrar las capacidades computacionales de la herramienta desarrollada, se muestran los resultados de una cartera hipotética con $N_p = 25$ estrategias con un TE_p^{max} de 65 pbs. Las características de estas estrategias se muestran en el Cuadro 5. Nótese que las columnas de desviación estándar (σ) e IC presentan un patrón de números que se repite. Esto permitirá entender mejor los resultados del problema de optimización. Además, los elementos fuera de la diagonal de la matriz Σ tienen un valor de 0,2. Esto quiere decir que el *solver* no tendrá preferencia sobre ninguna de las estrategias desde el punto de vista de afectación al TE total, pero sí de aquellas que maximicen el retorno de acuerdo con el IC (y σ en *Formulación 2*).

Cuadro 5: Datos de entrada de características de las estrategias de cartera.

NOMBRE	σ	IC	SCORE	TE_i^{max}
EST. 1	4	0,2	2	25
EST. 2	3	0,3	2	26
EST. 3	2	0,4	2	25
EST. 4	3	0,3	2	28
EST. 5	4	0,2	2	29
EST. 6	3	0,3	2	30
EST. 7	2	0,4	2	29
EST. 8	3	0,3	2	28
EST. 9	4	0,2	2	27
EST. 10	3	0,3	2	26
EST. 11	2	0,4	2	25
EST. 12	3	0,3	2	26
EST. 13	4	0,2	2	27
EST. 14	3	0,3	2	28
EST. 15	2	0,4	2	29
EST. 16	3	0,3	2	30
EST. 17	4	0,2	2	29
EST. 18	3	0,3	2	28
EST. 19	2	0,4	2	27
EST. 20	3	0,3	2	26
EST. 21	4	0,2	2	25
EST. 22	3	0,3	2	26
EST. 23	2	0,4	2	27

EST. 24	3	0,3	2	28
EST. 25	4	0,2	2	29

La Figura 20 muestra los resultados de asignación óptima de esta cartera. En ambas formulaciones TE de la cartera es de 65 pbs y los TE asignados a cada estrategia no superan los valores definidos en el Cuadro 5.

En la *Formulación 1*, el *solver* asigna TE a aquellas estrategias con los IC más altos de 0,4 y 0,3. A las estrategias con IC de 0,2 se les asignó un TE de 0 pbs pues no ayudaban a maximizar el retorno de la cartera.

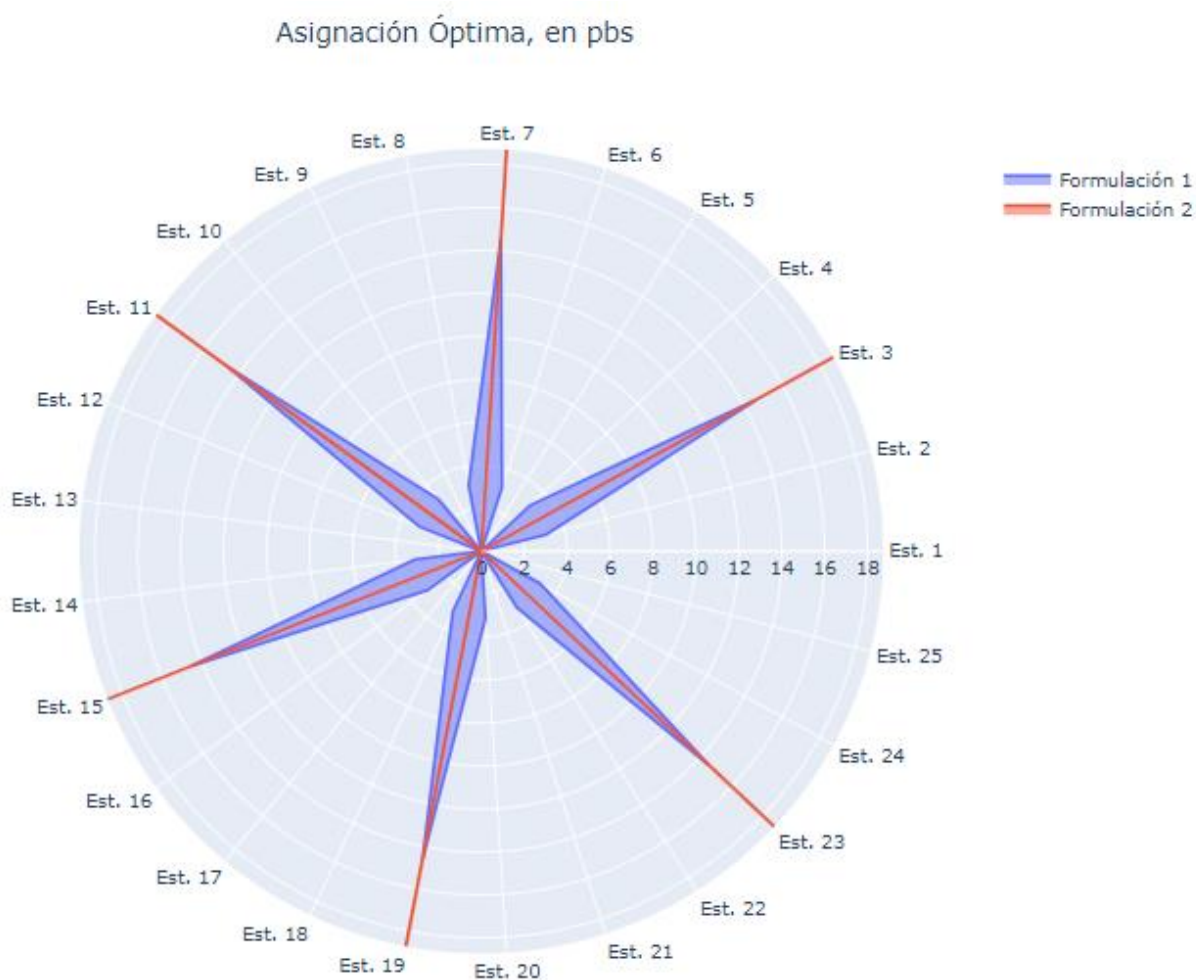


Figura 20: Gráfico tipo radar de los resultados de la optimización para 25 estrategias.

En la *Formulación 2*, al considerar el ajuste por desviación estándar, se encuentra que las estrategias que más aportan al retorno son aquellas cuya relación IC/σ son mayores. Este fue el caso para las estrategias 3, 7, 11, 15, 19 y 23. Todas las otras estrategias quedan sin TE pues su uso no maximiza el retorno de la cartera modelado por la ecuación (32).

Con los resultados obtenidos para las 2 carteras anteriores, se demuestra que la herramienta propuesta brinda resultados acordes a los datos de entrada. En todos los casos se realizaron pruebas con los *solver* Xpress y Gurobi y se obtuvieron resultados idénticos.

4.5 Beneficios esperados para el BCCR

El nuevo modelo de presupuesto de riesgo permitirá al BCCR hacer una asignación del TE basada en una herramienta robusta de optimización y no solo depender del conocimiento del gestor. Esto permite entonces aprovechar al máximo el uso del riesgo disponible entre las estrategias.

El uso de esta nueva herramienta permitirá que las decisiones de inversión de los gestores sean mejor justificadas, distribuyendo el presupuesto de riesgo de la cartera del BCCR en aquellas estrategias (negociaciones) con mejor retorno esperado.

Es a través del modelo de Presupuesto de Riesgo propuesto que será posible distribuir el riesgo de una forma eficiente y explícita entre las diferentes estrategias. Una de las debilidades del proceso actual, es que los gestores podrían estar utilizando una gran parte de este riesgo en estrategias que no tengan un alto retorno; por el contrario, estar dejando de lado estrategias que ayuden a diversificar mejor el riesgo de la cartera.

Con los resultados del nuevo modelo de presupuesto de riesgo se podrá reasignar el riesgo del portafolio en las estrategias que tengan la mejor relación de retorno esperado y riesgo. Finalmente, el presupuesto de riesgo le permitirá al BCCR identificar en cuáles estrategias

son muy buenos los gestores y en cuáles no. De esta forma se abre la oportunidad de focalizarse en las estrategias con mejor desempeño desde el punto de vista retorno/riesgo. Disponer del modelo de Presupuesto de Riesgo permitirá a los gestores del Banco Central mejorar el proceso de inversión, conociendo mayores detalles de las estrategias planteadas (por ejemplo, su aporte a la diversificación de la cartera) y con base en ello obtener un mejor rendimiento del portafolio. Aunque es difícil garantizar rentabilidades a futuro en los mercados financieros internacionales, esta herramienta ayudaría a generar un mayor retorno sobre el índice de referencia, preliminarmente en alrededor de 2 puntos base por año (cerca de \$200.000), considerando datos históricos.

El disponer de una metodología de presupuesto de riesgo coloca al BCCR dentro de un selecto grupo de bancos centrales que apoyan sus decisiones de inversión en esta herramienta financiera, cumpliendo con las mejores y más modernas prácticas de gestión de carteras a nivel internacional. Ninguna institución en Costa Rica dispone de un marco de análisis como el propuesto, y no existe ningún otro banco central en Centroamérica que cuente con este instrumento de análisis. Precisamente, la importancia de la metodología de Presupuesto de Riesgo es que ayudará al BCCR a identificar la combinación óptima de estrategias de inversión cumpliendo los objetivos de la autoridad monetaria, reduciendo la probabilidad de resultados negativos en el portafolio.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

Al finalizar el presente trabajo de investigación y desarrollo se llegan a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1 Conclusiones

- El nuevo modelo de presupuesto de riesgo le permitirá al Departamento de Administración de Reservas tomar decisiones de inversión basadas en una metodología robusta, sencilla y de costo nulo para el BCCR. Esto mitiga el riesgo de la toma de decisiones basadas únicamente en el conocimiento y la experiencia de un gestor de portafolios, por lo cual el proceso puede ser replicable y no depende de una única persona.
- De la revisión de *solvers* disponibles en el mercado para Python y con versiones de prueba, se encontró que Xpress, Gurobi y CPLEX tienen capacidad de resolver problemas de programación cuadrática con restricciones cuadráticas, que es el tipo de problema a resolver con el modelo de presupuesto de riesgo planteado. Sin embargo, Xpress y Gurobi presentan ventajas desde el punto de vista de facilidad de programación del problema a resolver. Por este motivo se escogió el uso de Xpress y Gurobi en la herramienta desarrollada.
- El lenguaje de programación Python brindó grandes ventajas para la realización de este trabajo. Primero porque es una herramienta que ya utiliza el personal del Departamento de Administración de Reservas y segundo porque tiene la posibilidad de trabajar con APIs de los paquetes de optimización más robustos del mercado. Sumado a esto, la herramienta Qt Creator se acopló fácilmente a la herramienta para brindar al usuario una interfaz gráfica muy amigable.
- La formulación propuesta permite tomar ventaja de correlaciones negativas entre los retornos de las estrategias de la cartera para lograr el efecto de diversificación. Según

se mostró en las pruebas realizadas, aquellas estrategias con correlaciones negativas tienen alta posibilidad de resultar con una asignación alta del TE.

- Se desarrolló una herramienta en Python capaz de asignar de manera óptima el riesgo entre las diferentes estrategias. La salida de la herramienta es un archivo de Excel con los valores óptimos de TE y una lista de pesos implícitos. Además, se brinda un gráfico tipo radar de los resultados. Este tipo de gráfico permite una fácil visualización de los resultados, incluso si se usan decenas de estrategias.
- La herramienta no tiene límite en el número de estrategias a utilizar. Por otra parte, el código está debidamente documentado en caso de que funcionarios del BCCR quieran realizar cambios al modelo propuesto en este trabajo.
- La herramienta le permite al usuario considerar un ajuste por desviación estándar en la función objetivo. De los resultados obtenidos se encontró que la Formulación 1 y 2 brindan resultados muy diferentes. El BCCR debe decidir la formulación a usar de manera permanente.
- El modelo de presupuesto de riesgo le dará nuevas herramientas al BCCR para identificar en cuáles estrategias los gestores son muy buenos y cuáles no. Esto les permitirá enfocarse en las mejores estrategias y buscar mientras tanto nuevas formas de negociar bonos de estrategias que a la fecha no han dado los resultados esperados.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda al BCCR proponer una metodología que les permita definir el SCORE de las estrategias pues es un dato que actualmente no utilizan, pero la herramienta ya está preparada para recibir y procesar este dato en la función objetivo del problema de optimización.
- Se recomienda al BCCR la adquisición de la licencia gratuita del *solver* Xpress pues es capaz de resolver problemas cuya suma de variables y restricciones no sea mayor a 5000. De acuerdo con conversaciones con funcionarios del BCCR, es difícil que el

problema de asignación óptima de riesgo llegue a tener tal dimensión para la cartera de inversión en dólares.

- Se recomienda al BCCR evaluar la conveniencia del uso del ajuste por desviación estándar pues el Banco Mundial y el Banco Central de Colombia no lo utilizaron en las referencias facilitadas por el BCCR para el desarrollo de este proyecto.
- Se recomienda adquirir la versión académica de Gurobi pues tiene todas las capacidades de una licencia comercial, pero está sujeta a una fecha de caducidad. Si el BCCR no desea adquirir la licencia académica ni comercial, se recomienda eliminar la opción de Gurobi de la herramienta y quedarse con Xpress. En todos los casos analizados se obtuvo el mismo resultado con todos los *solvers*. Esto garantiza la robustez y exactitud de los 3 solvers comerciales.
- Se recomienda capacitar a todo el personal del Departamento de Administración de Reservas en el lenguaje de programación Python pues tiene muchas herramientas estadísticas y matemáticas aplicables a la gestión de carteras. Esta
- Se recomienda al BCCR presentar la herramienta desarrollada ante el CR del Banco y solicitar la autorización de uso dentro del proceso de gestión activa de la cartera de inversión en dólares.

Referencias

- Amadeo, K. (2020). Central Banks, Their Functions and Role. *The Balance*.
<https://www.thebalance.com/what-is-a-central-bank-definition-function-and-role-3305827>
- BCCR. (2012). *Código de Gobierno Corporativo del Banco Central de Costa Rica*.
- BCCR. (2013). *Política de Gestión Integral de Riesgos*.
- BCCR. (2015). *Políticas para la gestión de las reservas internacionales*.
- BCCR. (2018). *Reglamento Autónomo de Servicios del Banco Central de Costa Rica*.
- BCCR. (2019). *Encaje Mínimo Legal*.
https://activos.bccr.fi.cr/sitios/bccr/ComunicadosPrensa/Docs_Comunicados_Prensa/2019-06-03-Encaje-minimo-legal_BCCR.pdf
- BCCR. (2020a). *Coyuntura macroeconómica ante la pandemia y revisión de proyecciones 2020-2021*.
- BCCR. (2020b). *Informe de Política Monetaria*.
- BCCR. (2020c). *Plan Estratégico 2020-2023*.
- BCCR. (2021). *Gestión de las Reservas Internacionales*.
- CIA. (2018). *The World Factbook*. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2188rank.html>
- CR. (1995). *Ley Orgánica del Banco Central de Costa Rica*.
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=40928
- Elderson, F., & Mauderer, S. (2019). *A sustainable and responsible investment guide for central banks' portfolio management*.
- Fabozzi, F. (2012). *The Handbook of Fixed Income Securities*. McGraw Hill.
- FICO. (2021). *Xpress Optimization*. <https://www.fico.com/fico-xpress-optimization/docs/latest/solver/optimizer/HTML/chapter20090603104425.html>
- Frances Donald. (2021). *Macro disruptors: hidden themes that could reshape the world economy*.
- Gurobi. (2021). *Gurobi Optimization*. <https://www.gurobi.com/>
- IBM. (2021). *CPLEX Optimization*.
https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSSA5P_12.8.0/ilog.odms.cplex.help/CPLEX/homepages/cplex_KC_home.html
- Ley 7558. (n.d.). *Ley Orgánica del Banco Central de Costa Rica*.
- Nagy, M. et al. (2019). The new conceptual risk budget framework and implementation of the new FX reserves investment strategy at the Central Bank of Hungary. *SSRN, 104k*, 1–12.
- Neil Pearson. (2002). *Risk Budgeting: Portfolio Problem Solving with Value-at-Risk*. John Wiley & Sons.
- QT. (2021). *QT Designer Manual*.
- Ross, S. and W. R. and J. J. and J. B. (2018). *Finanzas Corporativas* (11th ed.). McGraw Hill.

Singh, J. (n.d.). *Top 9 Functions of Central Bank – Explained!*

<https://www.economicdiscussion.net/banks/top-9-functions-of-central-bank-explained/613>

Vela, D. (2019). *Overview of Risk Budgeting*.

Anexo A

Solución de problema de optimización de ejemplo ilustrativo del Banco Mundial con el solver Xpress.

```
import xpress as xp
import numpy as np

TEmax=324 # pb
c_vector=np.array([0.5,0.5,0.5])
rho12=0.10
rho13=0.50
rho23=-0.3
CorrMat=[[1, rho12, rho13],[rho12, 1, rho23],[rho13, rho23, 1]]
nvar=len(c_vector)
x = [xp.var(lb=0,ub=TEmax,vartype=xp.continuous) for i in range(nvar)]

# constraint 1
AuxVec=[] # empty array used later for multiplication x'*CorrMat*x
for j in range(nvar):
    AuxVec.append(sum(x[i]*CorrMat[i][j] for i in range(nvar)))
constraint1=sum(AuxVec[i]*x[i] for i in range(nvar)) <= TEmax**2

Myobjective= sum(c_vector[i]*x[i] for i in range(nvar))

model = xp.problem()
model.addVariable(x)
model.setObjective(Myobjective,sense=xp.maximize)
model.addConstraint(constraint1)
model.solve()
sol=model.getSolution()
# extract solution
print('x1:',sol[0])
print('x2:',sol[1])
print('x3:',sol[2])
```

Solución de problema de optimización de ejemplo ilustrativo del Banco Mundial con el solver *Gurobi*.

```

import gurobipy as gp
import numpy as np
from gurobipy import GRB

TEmax=324
c_vector=np.array([0.5,0.5,0.5])
rho12=0.10
rho13=0.50
rho23=-0.3
CorrMat=[[1, rho12, rho13],[rho12, 1, rho23],[rho13, rho23, 1]]
nvar=len(c_vector)

model=gp.Model()
x=model.addVars(nvar,lb=0.0, ub=TEmax, vtype=GRB.CONTINUOUS)

# constraint 1
AuxVec=[] # empty array used later for multiplication x'*CorrMat*x
for j in range(nvar):
    AuxVec.append(sum(x[i]*CorrMat[i][j] for i in range(nvar)))
constraint1=sum(AuxVec[i]*x[i] for i in range(nvar)) <= TEmax**2

Myobjective= sum(c_vector[i]*x[i] for i in range(nvar))

# Set objective
model.setObjective(Myobjective, GRB.MAXIMIZE)

# add constraints
model.addConstr(constraint1)

# Optimize model
model.optimize()
#sol=model.getVars()
sol=[]

for v in model.getVars():
    sol.append(v.x)

print('x1:',sol[0])
print('x2:',sol[1])
print('x3:',sol[2])

```

Solución de problema de optimización de ejemplo ilustrativo del Banco Mundial con el solver CPLEX y Pyomo.

```

import pyomo.environ as pyo
from pyomo.environ import *
from gurobipy import *
import numpy as np
import cplex
import mosek

c_vector=np.array([0.5,0.5,0.5])
nvar=len(c_vector)
rho12=0.10
rho13=0.50
rho23=-0.3
CovMat=[[1, rho12, rho13],[rho12, 1, rho23],[rho13, rho23, 1]]
TEmax=324

model = pyo.ConcreteModel()

model.x = pyo.Var(list(range(1, nvar+1)), domain=pyo.NonNegativeReals)

def ObjRule(model):
    return sum(c_vector[i]*model.x[i+1] for i in range(nvar))

#def Cons1(model):
#    #return(model.x[1]**2 + model.x[2]**2 +
#model.x[3]**2+2*model.x[1]*model.x[2]*rho12+2*model.x[1]*model.x[3]*rho13
#+2*model.x[2]*model.x[3]*rho23 <= TEmax**2)

def Cons1(model):
    AuxVec=[] # empty array used later for multiplication x'*CovMat*x
    for j in range(nvar):
        AuxVec.append(sum(model.x[i+1]*CovMat[i][j] for i in
range(nvar)))
    return(sum(AuxVec[i]*model.x[i+1] for i in range(nvar)) <= TEmax**2)

def Cons2(model):
    return(model.x[1] <= TEmax)

def Cons3(model):
    return(model.x[2] <= TEmax)

def Cons4(model):
    return(model.x[3] <= TEmax)

model.OBJ = pyo.Objective(rule=ObjRule, sense=pyo.maximize)

```

```
model.Constraint1 = pyo.Constraint(rule=Cons1)
model.Constraint2 = pyo.Constraint(rule=Cons2)
model.Constraint3 = pyo.Constraint(rule=Cons3)
model.Constraint4 = pyo.Constraint(rule=Cons4)

opt = pyo.SolverFactory('cplex') # gurobi

results=opt.solve(model,tee=True)
#model.display

# Write the output
results.write()

## Get the output
print('x1:',model.x[1].value)
print('x2:',model.x[2].value)
print('x3:',model.x[3].value)

constraintcheck=(model.x[1].value**2 + model.x[2].value**2 +
model.x[3].value**2+2*model.x[1].value*model.x[2].value*rho12+2*model.x[1
].value*model.x[3].value*rho13+2*model.x[2].value*model.x[3].value*rho23)
**(1/2)
print('El TE del portafolio en bps es:', constraintcheck)
```

Anexo B

```
#
# This Python file uses the following encoding: utf-8
"""
En este archivo se crea un programa de optimizacion
que calcula el presupuesto de riesgo de una cartera del BCCR
Autor: Gustavo Valverde Mora, PADE UCR, 2021
"""

import os
import pandas as pd
import gurobipy as gp
import xpress as xp
import numpy as np
import plotly.express as px
import plotly.offline
from gurobipy import GRB
from PySide2.QtWidgets import QWidget
from PySide2.QtWidgets import QFileDialog
from PySide2.QtWidgets import QMessageBox
from PySide2.QtCore import QFile
from PySide2.QtUiTools import QUiLoader
from PySide2.QtWidgets import QApplication

class RiskBudget(QWidget):
    # Constructor
    def __init__(self):
        super(RiskBudget, self).__init__()
        self.load_ui()
```

```

self.start_gui()
self.error_folder = True
self.ok = False
self.list_indexcombo=[]
self.list_MaxTE_strat=[]
self.list_Sigma_strat=[]
self.list_IC_strat=[]
self.list_SCORE_strat=[]
self.list_strategies=[]
self.corr_mat=[]

# Función que se encarga de cargar la interfaz gráfica
def load_ui(self):
    loader = QUiLoader()
    path = os.path.join(os.path.dirname(__file__), "interfaz.ui")
    ui_file = QFile(path)
    ui_file.open(QFile.ReadOnly)
    self.dlg = loader.load(ui_file, self)
    ui_file.close()

# Start the GUI
def start_gui(self):
    # Select input file
    self.dlg.psb_BuscarInput.clicked.connect(self.select_file_input)

    # Select output location
    self.dlg.psb_BuscarOutput.clicked.connect(self.select_folder_output)

    # show input parameters based on comboBox
    self.dlg.psb_ShowData.clicked.connect(self.Show_Data)

    # Close window and validate input file
    self.dlg.OkButton.rejected.connect(self.close)
    self.dlg.OkButton.accepted.connect(self.validate_input)

    # Set default options for solver and formulation
    self.dlg.radioSolver_1.setChecked(True)
    self.dlg.radioFor_1.setChecked(True)
    self.dlg.radioScore.setChecked(False)

def validate_input(self):
    self.error_folder = False
    archivo = self.dlg.lineEdit_InputFile.text()

    if archivo == "" or len(self.list_Sigma_strat)== 0:
        self.error_folder = True

    if self.error_folder is True:
        title = "Error"
        msg_ = "Por favor ingrese un archivo de entrada y cargue los datos"
        QMessageBox.information(None, title, msg_)
    else:
        self.ok = False
        self.close()

    # Update the value of maximum portfolio's Tracking error.
    TEmax = self.dlg.lineEdit_Port_MaxTE.text() # max tracking error (in bps)

    # Update the values that were updated in the GUI
    if len(self.list_indexcombo) != 0: # only if user selected a change in one or more
strategies
    #
        if self.list_indexcombo[0] != 0:

```

```

        self.list_MaxTE_strat[self.list_indexcombo[0]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_TE1.text())
        self.list_Sigma_strat[self.list_indexcombo[0]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_Sigma1.text())
        self.list_IC_strat[self.list_indexcombo[0]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_IC1.text())
        self.list_SCORE_strat[self.list_indexcombo[0]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_SC1.text())

        if self.list_indexcombo[1] != 0:
            self.list_MaxTE_strat[self.list_indexcombo[1]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_TE2.text())
            self.list_Sigma_strat[self.list_indexcombo[1]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_Sigma2.text())
            self.list_IC_strat[self.list_indexcombo[1]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_IC2.text())
            self.list_SCORE_strat[self.list_indexcombo[1]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_SC2.text())

        if self.list_indexcombo[2] != 0:
            self.list_MaxTE_strat[self.list_indexcombo[2]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_TE3.text())
            self.list_Sigma_strat[self.list_indexcombo[2]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_Sigma3.text())
            self.list_IC_strat[self.list_indexcombo[2]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_IC3.text())
            self.list_SCORE_strat[self.list_indexcombo[2]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_SC3.text())

        if self.list_indexcombo[3] != 0:
            self.list_MaxTE_strat[self.list_indexcombo[3]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_TE4.text())
            self.list_Sigma_strat[self.list_indexcombo[3]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_Sigma4.text())
            self.list_IC_strat[self.list_indexcombo[3]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_IC4.text())
            self.list_SCORE_strat[self.list_indexcombo[3]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_SC4.text())

        if self.list_indexcombo[4] != 0:
            self.list_MaxTE_strat[self.list_indexcombo[4]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_TE5.text())
            self.list_Sigma_strat[self.list_indexcombo[4]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_Sigma5.text())
            self.list_IC_strat[self.list_indexcombo[4]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_IC5.text())
            self.list_SCORE_strat[self.list_indexcombo[4]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_SC5.text())

        if self.list_indexcombo[5] != 0:
            self.list_MaxTE_strat[self.list_indexcombo[5]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_TE6.text())
            self.list_Sigma_strat[self.list_indexcombo[5]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_Sigma6.text())
            self.list_IC_strat[self.list_indexcombo[5]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_IC6.text())
            self.list_SCORE_strat[self.list_indexcombo[5]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_SC6.text())

        if self.list_indexcombo[6] != 0:
            self.list_MaxTE_strat[self.list_indexcombo[6]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_TE7.text())
            self.list_Sigma_strat[self.list_indexcombo[6]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_Sigma7.text())
            self.list_IC_strat[self.list_indexcombo[6]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_IC7.text())

```

```

        self.list_SCORE_strat[self.list_indexcombo[6]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_SC7.text())

        if self.list_indexcombo[7] != 0:
            self.list_MaxTE_strat[self.list_indexcombo[7]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_TE8.text())
            self.list_Sigma_strat[self.list_indexcombo[7]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_Sigma8.text())
            self.list_IC_strat[self.list_indexcombo[7]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_IC8.text())
            self.list_SCORE_strat[self.list_indexcombo[7]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_SC8.text())

        if self.list_indexcombo[8] != 0:
            self.list_MaxTE_strat[self.list_indexcombo[8]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_TE9.text())
            self.list_Sigma_strat[self.list_indexcombo[8]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_Sigma9.text())
            self.list_IC_strat[self.list_indexcombo[8]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_IC9.text())
            self.list_SCORE_strat[self.list_indexcombo[8]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_SC9.text())

        if self.list_indexcombo[9] != 0:
            self.list_MaxTE_strat[self.list_indexcombo[9]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_TE10.text())
            self.list_Sigma_strat[self.list_indexcombo[9]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_Sigma10.text())
            self.list_IC_strat[self.list_indexcombo[9]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_IC10.text())
            self.list_SCORE_strat[self.list_indexcombo[9]-
1]=float(self.dlg.lineEdit_SC10.text())

        # Run the optimization
        if len(self.list_Sigma_strat) > 0:
            self.run_optimization(TEmax)

        # Select the location of the Excel file
        def select_file_input(self):
            msg = "Seleccione el archivo de Excel de entrada"
            file_types = "Archivos Excel (*.xlsx *.xls)"

            filename, _ = QFileDialog.getOpenFileName(None, msg, "", file_types)
            self.dlg.lineEdit_InputFile.setText(filename)

        # Read the name of the available strategies and portfolio's max. TE
        self.read_Excel_file()

        def select_folder_output(self):
            msg = "Seleccione la ubicación del archivo de salida"
            foldername = QFileDialog.getExistingDirectory(self.dlg, msg,
            "",)
            self.dlg.lineEdit_OutputFolder.setText(foldername)

        def read_Excel_file(self):

            # Read the names of strategies to populate the comboBox
            Excel_file_path=self.dlg.lineEdit_InputFile.text() # string of file path
            strategies_data=pd.read_excel(Excel_file_path,sheet_name='Estrategias')
            list_strategies=list(['Seleccione'])+strategies_data['Nombre'].tolist()
            self.list_strategies=strategies_data['Nombre'].tolist() # to be used in optimization
report only
            self.dlg.comboBox_1.clear()
            self.dlg.comboBox_2.clear()
            self.dlg.comboBox_3.clear()

```



```
self.dlg.comboBox_4.clear()
self.dlg.comboBox_5.clear()
self.dlg.comboBox_6.clear()
self.dlg.comboBox_7.clear()
self.dlg.comboBox_8.clear()
self.dlg.comboBox_9.clear()
self.dlg.comboBox_10.clear()
self.dlg.comboBox_1.addItem(list_strategies)
self.dlg.comboBox_2.addItem(list_strategies)
self.dlg.comboBox_3.addItem(list_strategies)
self.dlg.comboBox_4.addItem(list_strategies)
self.dlg.comboBox_5.addItem(list_strategies)
self.dlg.comboBox_6.addItem(list_strategies)
self.dlg.comboBox_7.addItem(list_strategies)
self.dlg.comboBox_8.addItem(list_strategies)
self.dlg.comboBox_9.addItem(list_strategies)
self.dlg.comboBox_10.addItem(list_strategies)

# Read the correlation matrix
mat_corr_data=pd.read_excel(Excel_file_path,sheet_name='Correlaciones',header=None)
self.corr_mat=mat_corr_data.to_numpy()

def Show_Data(self):

    self.dlg.lineEdit_TE1.clear()
    self.dlg.lineEdit_TE2.clear()
    self.dlg.lineEdit_TE3.clear()
    self.dlg.lineEdit_TE4.clear()
    self.dlg.lineEdit_TE5.clear()
    self.dlg.lineEdit_TE6.clear()
    self.dlg.lineEdit_TE7.clear()
    self.dlg.lineEdit_TE8.clear()
    self.dlg.lineEdit_TE9.clear()
    self.dlg.lineEdit_TE10.clear()

    self.dlg.lineEdit_Sigma1.clear()
    self.dlg.lineEdit_Sigma2.clear()
    self.dlg.lineEdit_Sigma3.clear()
    self.dlg.lineEdit_Sigma4.clear()
    self.dlg.lineEdit_Sigma5.clear()
    self.dlg.lineEdit_Sigma6.clear()
    self.dlg.lineEdit_Sigma7.clear()
    self.dlg.lineEdit_Sigma8.clear()
    self.dlg.lineEdit_Sigma9.clear()
    self.dlg.lineEdit_Sigma10.clear()

    self.dlg.lineEdit_IC1.clear()
    self.dlg.lineEdit_IC2.clear()
    self.dlg.lineEdit_IC3.clear()
    self.dlg.lineEdit_IC4.clear()
    self.dlg.lineEdit_IC5.clear()
    self.dlg.lineEdit_IC6.clear()
    self.dlg.lineEdit_IC7.clear()
    self.dlg.lineEdit_IC8.clear()
    self.dlg.lineEdit_IC9.clear()
    self.dlg.lineEdit_IC10.clear()

    self.dlg.lineEdit_SC1.clear()
    self.dlg.lineEdit_SC2.clear()
    self.dlg.lineEdit_SC3.clear()
    self.dlg.lineEdit_SC4.clear()
    self.dlg.lineEdit_SC5.clear()
    self.dlg.lineEdit_SC6.clear()
    self.dlg.lineEdit_SC7.clear()
    self.dlg.lineEdit_SC8.clear()
```

```

self.dlg.lineEdit_SC9.clear()
self.dlg.lineEdit_SC10.clear()

# Read the Excel file
Excel_file_path=self.dlg.lineEdit_InputFile.text() # string of file path
strategies_data=pd.read_excel(Excel_file_path,sheet_name='Estrategias')
self.list_MaxTE_strat=strategies_data['Max. TE'].tolist()
self.list_Sigma_strat=strategies_data['Std. Dev'].tolist()
self.list_IC_strat=strategies_data['IC'].tolist()
self.list_SCORE_strat=strategies_data['SCORE'].tolist()

# Read the portfolio's MAX TE (this value might be updated by the user)
portafolio_data=pd.read_excel(Excel_file_path,sheet_name='Portafolio')
TEmax_orig=str(portafolio_data['MAX TE'].tolist()[0])
self.dlg.lineEdit_Port_MaxTE.clear()
self.dlg.lineEdit_Port_MaxTE.setText(TEmax_orig)

# get the index of the selected strategy
indexcombo1 = self.dlg.comboBox_1.currentIndex()
indexcombo2 = self.dlg.comboBox_2.currentIndex()
indexcombo3 = self.dlg.comboBox_3.currentIndex()
indexcombo4 = self.dlg.comboBox_4.currentIndex()
indexcombo5 = self.dlg.comboBox_5.currentIndex()
indexcombo6 = self.dlg.comboBox_6.currentIndex()
indexcombo7 = self.dlg.comboBox_7.currentIndex()
indexcombo8 = self.dlg.comboBox_8.currentIndex()
indexcombo9 = self.dlg.comboBox_9.currentIndex()
indexcombo10 = self.dlg.comboBox_10.currentIndex()

# show value in the corresponding box
if indexcombo1 != 0:
    self.dlg.lineEdit_TE1.setText(str(self.list_MaxTE_strat[indexcombo1-1]))
    self.dlg.lineEdit_Sigma1.setText(str(self.list_Sigma_strat[indexcombo1-1]))
    self.dlg.lineEdit_IC1.setText(str(self.list_IC_strat[indexcombo1-1]))
    self.dlg.lineEdit_SC1.setText(str(self.list_SCORE_strat[indexcombo1-1]))

if indexcombo2 != 0:
    self.dlg.lineEdit_TE2.setText(str(self.list_MaxTE_strat[indexcombo2-1]))
    self.dlg.lineEdit_Sigma2.setText(str(self.list_Sigma_strat[indexcombo2-1]))
    self.dlg.lineEdit_IC2.setText(str(self.list_IC_strat[indexcombo2-1]))
    self.dlg.lineEdit_SC2.setText(str(self.list_SCORE_strat[indexcombo2-1]))

if indexcombo3 != 0:
    self.dlg.lineEdit_TE3.setText(str(self.list_MaxTE_strat[indexcombo3-1]))
    self.dlg.lineEdit_Sigma3.setText(str(self.list_Sigma_strat[indexcombo3-1]))
    self.dlg.lineEdit_IC3.setText(str(self.list_IC_strat[indexcombo3-1]))
    self.dlg.lineEdit_SC3.setText(str(self.list_SCORE_strat[indexcombo3-1]))

if indexcombo4 != 0:
    self.dlg.lineEdit_TE4.setText(str(self.list_MaxTE_strat[indexcombo4-1]))
    self.dlg.lineEdit_Sigma4.setText(str(self.list_Sigma_strat[indexcombo4-1]))
    self.dlg.lineEdit_IC4.setText(str(self.list_IC_strat[indexcombo4-1]))
    self.dlg.lineEdit_SC4.setText(str(self.list_SCORE_strat[indexcombo4-1]))

if indexcombo5 != 0:
    self.dlg.lineEdit_TE5.setText(str(self.list_MaxTE_strat[indexcombo5-1]))
    self.dlg.lineEdit_Sigma5.setText(str(self.list_Sigma_strat[indexcombo5-1]))
    self.dlg.lineEdit_IC5.setText(str(self.list_IC_strat[indexcombo5-1]))
    self.dlg.lineEdit_SC5.setText(str(self.list_SCORE_strat[indexcombo5-1]))

if indexcombo6 != 0:
    self.dlg.lineEdit_TE6.setText(str(self.list_MaxTE_strat[indexcombo6-1]))
    self.dlg.lineEdit_Sigma6.setText(str(self.list_Sigma_strat[indexcombo6-1]))
    self.dlg.lineEdit_IC6.setText(str(self.list_IC_strat[indexcombo6-1]))
    self.dlg.lineEdit_SC6.setText(str(self.list_SCORE_strat[indexcombo6-1]))

```

```

if indexcombo7 != 0:
    self.dlg.lineEdit_TE7.setText(str(self.list_MaxTE_strat[indexcombo7-1]))
    self.dlg.lineEdit_Sigma7.setText(str(self.list_Sigma_strat[indexcombo7-1]))
    self.dlg.lineEdit_IC7.setText(str(self.list_IC_strat[indexcombo7-1]))
    self.dlg.lineEdit_SC7.setText(str(self.list_SCORE_strat[indexcombo7-1]))

if indexcombo8 != 0:
    self.dlg.lineEdit_TE8.setText(str(self.list_MaxTE_strat[indexcombo8-1]))
    self.dlg.lineEdit_Sigma8.setText(str(self.list_Sigma_strat[indexcombo8-1]))
    self.dlg.lineEdit_IC8.setText(str(self.list_IC_strat[indexcombo8-1]))
    self.dlg.lineEdit_SC8.setText(str(self.list_SCORE_strat[indexcombo8-1]))

if indexcombo9 != 0:
    self.dlg.lineEdit_TE9.setText(str(self.list_MaxTE_strat[indexcombo9-1]))
    self.dlg.lineEdit_Sigma9.setText(str(self.list_Sigma_strat[indexcombo9-1]))
    self.dlg.lineEdit_IC9.setText(str(self.list_IC_strat[indexcombo9-1]))
    self.dlg.lineEdit_SC9.setText(str(self.list_SCORE_strat[indexcombo9-1]))

if indexcombo10 != 0:
    self.dlg.lineEdit_TE10.setText(str(self.list_MaxTE_strat[indexcombo10-1]))
    self.dlg.lineEdit_Sigma10.setText(str(self.list_Sigma_strat[indexcombo10-1]))
    self.dlg.lineEdit_IC10.setText(str(self.list_IC_strat[indexcombo10-1]))
    self.dlg.lineEdit_SC10.setText(str(self.list_SCORE_strat[indexcombo10-1]))

self.list_indexcombo=[indexcombo1,indexcombo2,indexcombo3,indexcombo4,indexcombo5,indexcombo
6,indexcombo7,indexcombo8,indexcombo9,indexcombo10]

# run the optimization solver
def run_optimization(self,TEmax):

    # Extract the solver option
    if self.dlg.radioSolver_2.isChecked() == True:
        SolverOption='Gurobi'
    else:
        SolverOption='Xpress'

    # Extract the formulation option
    if self.dlg.radioFor_1.isChecked() == True:
        FormulationOption=1
    else:
        FormulationOption=2

    # Check if SCORE will be included in Obj. Function
    if self.dlg.radioScore.isChecked() == True:
        UseSCORE=True
    else:
        UseSCORE=False

    # Get the data for optimization
    TEmax=float(TEmax)
    #
    IC_list=self.list_IC_strat # List of IC for strategies
    MaxTE_list=self.list_MaxTE_strat # List of max tracking errors for strategies
    SD_list=self.list_Sigma_strat # List of standard deviations for strategies
    SCORE_list=self.list_SCORE_strat # List of SCORES for strategies
    CorrMat=self.corr_mat # Correlation matrix
    #
    # Define multipliers for objective function
    #
    if FormulationOption==2:
        if UseSCORE==True:
            c_vector_aux1=np.divide(np.array(IC_list), np.array(SD_list))
            c_vector=np.multiply(c_vector_aux1,np.array(SCORE_list))
        else:

```

```

        c_vector=np.divide(np.array(IC_list), np.array(SD_list))

if FormulationOption==1:
    if UseSCORE==True:
        c_vector=np.multiply(np.array(IC_list),np.array(SCORE_list))
    else:
        c_vector=np.array(IC_list)
#
# define cont. variables with lower and upper bounds
nvar=len(SD_list) # number of variables (strategies)

if SolverOption=='Gurobi':
    model=gp.Model()
    x=model.addVars(nvar,lb=0.0, ub=MaxTE_list, vtype=GRB.CONTINUOUS)
    #
    # constraint 1
    AuxVec=[] # empty array used later for multiplication x'*CorrMat*x
    for j in range(nvar):
        AuxVec.append(sum(x[i]*CorrMat[i][j] for i in range(nvar)))
    constraint1=sum(AuxVec[i]*x[i] for i in range(nvar)) <= TEmax**2
    # Objective
    Myobjective= sum(c_vector[i]*x[i] for i in range(nvar))
    #
    # Set objective
    model.setObjective(Myobjective, GRB.MAXIMIZE)
    #
    # add constraints
    model.addConstr(constraint1)
    #
    # Optimize model
    model.optimize()
    sol=[]
    #
    for v in model.getVars():
        sol.append(v.x)

if SolverOption=='Xpress':
    #
    # define cont. variables with lower and upper bounds
    x = [xp.var(lb=0,ub=MaxTE_list[i],vartype=xp.continuous) for i in range(nvar)]
    #
    # constraint 1
    AuxVec=[] # empty array used later for multiplication x'*CorrMat*x
    for j in range(nvar):
        AuxVec.append(sum(x[i]*CorrMat[i][j] for i in range(nvar)))
    constraint1=sum(AuxVec[i]*x[i] for i in range(nvar)) <= TEmax**2
    # Objective
    Myobjective= sum(c_vector[i]*x[i] for i in range(nvar))
    #
    model = xp.problem()
    model.addVariable(x)
    model.setObjective(Myobjective,sense=xp.maximize)
    model.addConstraint(constraint1)
    model.solve()
    sol=model.getSolution()

#
# Report results
#
# Compute implicit weights
array_sol=np.array(sol)
array_Std=np.array(self.list_Sigma_strat)
array_wgt=np.divide(array_sol, array_Std)
sum_wgt=np.sum(array_wgt)

```

```

        impl_wgts=list(np.divide(array_wgt,sum_wgt)) # list of implicit weights after
optimization
        #
        print('SOLUCIÓN DE OPTIMIZACIÓN PARA PORTAFOLIO CON T.E. MAX DE %1.2f PUNTOS BASE:'
% TEmax)
        #
        results=pd.DataFrame() # create empty dataframe
        results['Estrategias']=self.list_strategies
        results['T.E. Asignado']=sol
        results['T.E. Máximo']=self.list_MaxTE_strat
        results['SCORE']=self.list_SCORE_strat
        results['Peso']=impl_wgts

        print(results)

        df=pd.DataFrame(dict( # create empty dataframe
        r=sol,
        theta=self.list_strategies))
        fig = px.line_polar(df, r='r', theta='theta', line_close=True)
        fig.update_layout(title={'text': "Asignación Óptima, en
pbs", 'y':0.99, 'x':0.5, 'xanchor': 'center', 'yanchor': 'top'})
        fig.update_traces(fill='toself')
        fig.show()

"""
Las siguientes líneas se usan para abrir la ventana que se creó en Qt
"""
if __name__ == "__main__":
    app = QApplication([])
    widget = RiskBudget()
    widget.show()
    app.exec_()

```