

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES**  
**ESCUELA DE ECONOMÍA**



**OPTIMIZACIÓN DEL CONDITIONAL VALUE AT RISK:  
APLICACIÓN AL FONDO 3 DE LAS AFP'S EN PERÚ PARA LOS  
AÑOS 2009-2015**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
ECONOMISTA**

**AUTORES**

**JOSIMAR ALDAIR MEDINA ARAUCO  
VICTOR MANUEL MENDOZA VASQUEZ**

**ASESOR**

**DANIEL CASTRO VERGARA**

**<https://orcid.org/0000-0001-8377-2249>**

**Chiclayo, 2019**

**OPTIMIZACIÓN DEL CONDITIONAL VALUE AT RISK:  
APLICACIÓN AL FONDO 3 DE LAS AFP'S EN PERÚ PARA  
LOS AÑOS 2009-2015**

PRESENTADA POR:

**JOSIMAR ALDAIR MEDINA ARAUCO  
VICTOR MANUEL MENDOZA VASQUEZ**

A la Facultad de Ciencias Empresariales de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el Título de

**ECONOMISTA**

APROBADA POR:

Miryan Curo Asenjo

PRESIDENTE

Adalberto León Herrera

SECRETARIO

Daniel Castro Vergara

VOCAL

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1. Antecedentes .....	11
2.1.1. Antecedentes Históricos.....	11
2.1.2. Antecedentes Teóricos.....	12
2.2. Base Teórica.....	13
2.2.1. Portafolio eficiente.....	13
2.2.2. Sistema Privado de Pensiones y su marco regulatorio.....	16
2.2.3. Conditional Value at Risk (CVaR).....	20
2.3 Definición de términos básicos .....	22
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
3.1 Diseño de investigación .....	24
3.2 Área y línea de investigación .....	24
3.3 Operacionalización de Variables.....	24
3.4 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	24
3.5 Técnicas de procesamiento de datos.....	25
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>26</b>
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>36</b>
<b>IX. ANEXOS.....</b>	<b>37</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de inversión por tipo de fondo.....	19
Tabla 2. Operacionalización de variables.....	24
Tabla 3. Vértices de riesgo e indicadores.....	26
Tabla 4. Composición del Fondo3 en el año 2015.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Alternativas de inversión de un Fondo de Pensiones .....	19
Figura 2: Representación del CVaR.....	21
Figura 3. Representación de la convexidad del CVaR.....	22
Figura 4. Frontera eficiente con restricciones .....	28
Figura 5. Frontera eficiente con restricciones de mercado local de bonos. ...	28
Figura 6. Frontera Eficiente sin restricciones. ....	29
Figura 7. Fronteras Eficientes-comparación.....	29
Figura 8. Comparación rentabilidad Fondo 3 2015 con optimización CVaR ..	31
Figura 9. Frontera relajando restricciones.....	31

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este proyecto de tesis a Dios y a nuestros padres. A Dios porque ha estado con nosotros en cada paso que damos, cuidándonos y dándonos fortaleza para continuar, a nuestros padres, quienes a lo largo de nuestra vida han velado por nuestro bienestar y educación siendo nuestro apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se nos presentara sin dudar ni un solo momento en nuestra inteligencia y capacidad.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, porque en sus aulas, recibimos el conocimiento intelectual y humano de cada uno de los docentes de la Facultad de Ciencia Empresariales en la Escuela Profesional de Economía.

Especial agradecimiento a nuestro Asesor de Tesis el Mgtr. Daniel Castro Vergara por su visión crítica, conocimientos, experiencia y su motivación para lograr concluir con éxito nuestro proyecto.

Un agradecimiento especial al profesor Carlos León y a nuestro camarada Alfredo (botija), quienes nos orientaron de manera constante y tenaz en la búsqueda de nuestro proyecto de investigación.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación pretende demostrar que las AFP's pueden obtener una mejor relación riesgo rentabilidad utilizando la metodología CVaR para medir el riesgo. El comité de Basilea recomienda usar la metodología VaR por su simplicidad, sin embargo esta metodología presenta muchas deficiencias, la principal asumir que los retornos de los activos de un portafolio se distribuyen normalmente. Se utilizará un método de simulación histórica para optimizar el riesgo a través de la metodología CVaR. Para realizar la investigación haremos uso de programas informáticos como Excel y MatLab. El programa Excel servirá para depurar la data y el programa MatLab servirá para la optimización del CVaR.

Además, expondremos los resultados obtenidos por nuestra aplicación. Determinaremos la frontera eficiente del portafolio óptimo sujeto a las restricciones de inversión impuestas por la SBS y BCR, y la compararemos con la frontera eficiente del portafolio sin restricciones, posterior a eso, lo compararemos con el portafolio actual que mantienen las compañías administradoras de fondos de pensiones.

Palabras clave: Riesgo, rentabilidad, CVaR

C61, G11, G32

## **ABSTRACT**

The present research work aims to demonstrate that AFP's can obtain a better risk-return ratio using the CVaR methodology to measure risk. The Basel Committee recommends using the VaR methodology for its simplicity, however this methodology presents many shortcomings, the main one to assume that the returns of the assets of a portfolio are normally distributed. A historical simulation method will be used to optimize risk through the CVaR methodology. To carry out the research we will use computer programs such as Excel and MatLab. The Excel program will serve to debug the data and the program MatLab will serve to optimize the CVaR.

In addition, we will present the results obtained by our application. We will determine the efficient frontier of the optimal portfolio subject to the investment restrictions imposed by the SBS and BCR, and compare it with the efficient frontier of the portfolio without restrictions, after that, we will compare it with the current portfolio maintained by the companies managing funds of Pensions.

Keywords: Risk, returns, CVaR

JEL: C61, G11, G32

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día en el Perú existen dos modalidades de ahorro previsional, la Oficina de Normalización Previsional (ONP) y el Sistema privado de Pensiones (SPP). Según Medina (2016), el acceso a la participación del sector privado en la gestión de portafolios de inversión permitió resolver aquellos problemas inherentes relacionados con la ineficiente administración pública.

En el SPP es un esquema multifondos, pues en él existen 4 tipos de fondos, clasificados de manera ascendente según el riesgo que el aportante desee tomar. El fondo 3 es considerado el más riesgoso por tomar mayor posición de inversión en renta variable a comparación de los demás fondos.

Tomando como referencia el fondo 3, se espera que en el largo plazo este fondo sea el más rentable debido al riesgo que posee. Sin embargo, el resultado histórico según la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (SBS) muestra rentabilidades poco alentadoras. En los últimos 10 años el fondo 3 ha obtenido en promedio una rentabilidad de 8.57%. Esta rentabilidad comparada con el 8.31% del fondo 2 nos da una idea de la baja relación que existe entre riesgo y rentabilidad, ya que el estar expuesto a un mayor riesgo solo ha incrementado la rentabilidad en 0.26%.

El presente trabajo desarrollará una Metodología para optimizar el Condicional Value at Risk (CVaR) de los retornos del fondo 3 del SPP. Además, expondremos los resultados obtenidos por nuestra aplicación. Determinaremos la frontera eficiente del portafolio óptimo sujeto a las restricciones de inversión impuestas por la SBS y BCR, y la compararemos con la frontera eficiente del portafolio sin restricciones, posterior a eso, lo compararemos con el portafolio actual que mantienen las compañías administradoras de fondos de pensiones.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Antecedentes Históricos**

Desde un punto de vista histórico se pueden identificar cuatro períodos en los cuales ha venido evolucionando las medidas de riesgo (Navarrete, 2012). Por un lado tenemos las medidas de riesgo previas a los aportes de H. Markowitz. Luego están las medidas de riesgo basadas en la teoría de portafolio de Markowitz. Luego aparecieron las medidas de valor en riesgo y por último tenemos las medidas de riesgo coherentes.

Markowitz fue el primero en definir un marco teórico matemáticamente consistente para la optimización de un portafolio. Eligió a la desviación estándar como una medida de riesgo. Sin embargo, la desviación estándar no es una buena elección como medida de riesgo, debido a que ella penaliza de manera simétrica las desviaciones positivas y negativas de la media. Las deficiencias de la desviación estándar como una medida de riesgo fueron reconocidas por Markowitz, quien fue el primero que sugirió al desvío semiestándar como un sustituto (Markowitz, 1959).

Debido a los problemas que traía usar la desviación estándar, JPMorgan (1994) propuso la utilización de una medida de riesgo alternativa llamada valor en riesgo (VaR). Esta metodología se centra en el riesgo en sí mismo y en términos de pérdidas en lugar de las ganancias esperadas. Por otro lado, el Comité de supervisión Bancaria de Basilea el cual estandariza la regulación y la práctica bancaria a nivel internacional incluyó al VaR como medida de riesgo de mercado lo cual influyó en la rápida popularidad que ganó el VaR como medida de riesgo.

Por último están las medidas de riesgo coherente. Artzner, P. Delbaen, F. Eber, J. Heath, D (1997) propusieron los primeros axiomas de las medidas de riesgo coherentes. Según los autores, debido a que el riesgo

está relacionado con la variabilidad del valor futuro de una posición es mejor considerarla solo como valores futuros.

En el año 1999, Uryasev & Rockafellar dieron un nuevo enfoque sobre la optimización o cobertura de una cartera de instrumentos financieros para reducir el riesgo. Este enfoque se centra en minimizar el Valor en Riesgo condicional (CVaR) en lugar de minimizar el Valor en riesgo (VaR). CVaR, también llamado exceso de pérdida media, media Déficit o valor en riesgo de la cola, se considera de todos modos para ser una medida más homogénea del riesgo que el VaR. Esta técnica es adecuada para su uso por empresas de inversión, fondos mutuos, y cualquier negocio que evalúa los riesgos.

### **2.1.2. Antecedentes Teóricos**

En el año 2002, Rivas-Llosa & Camargo realizaron un trabajo de investigación donde analizaron el efecto que la presencia de restricciones de inversión ejerce sobre la capacidad de los inversores para adoptar un portafolio óptimo. Concluyeron que ante la existencia de limitaciones legales de inversión, los inversionistas institucionales pueden perder la capacidad para alcanzar un portafolio óptimo, en términos del ratio de rendimiento por unidad de riesgo definido por Sharpe. En tal sentido, es el rol de las instituciones reguladoras examinar las implicancias financieras del conjunto de restricciones imponibles al mercado, así como la pérdida de eficiencia que éstas ocasionarían.

Un estudio realizado por Romero-Meza & Laengle en el año 2005 concluyó en que el portafolio promedio del fondo C del Sistema privado de pensiones de Chile, caracterizado por su clasificación de intermedio en términos de inversión en renta variable, es ineficiente aún si se consideran las restricciones a la inversión. Esta ineficiencia se debe probablemente a la presencia de regulaciones adicionales, que afectan a las AFP's, como la exigencia de una rentabilidad mínima. Hay bastante consenso entre los observadores de esta industria que la elección de portafolio entre distintas AFPs son muy similares unas a otras. Por lo tanto, las condiciones

competitivas de la industria no garantizan que las AFPs prioricen la eficiencia en su elección de portafolio.

Las AFPs en Chile están sujetas a una serie de restricciones cuantitativas (límites de inversiones) impuestas por el agente regulador, es razonable esperar que el portafolio promedio efectivo durante ese periodo tenga un riesgo mayor que el que se podría obtener libre de estas restricciones.

En el año 2005, García & Romero aplican la metodología Conditional Value at Risk a las compañías de Seguro en Chile, a las cuales se les exige por norma de carácter general impuesta por la Superintendencia de Valores y Seguros, contar con un sistema de evaluación de riesgo de mercado de su cartera de inversión que estime la máxima pérdida probable de esta. Los resultados expuestos dieron respuesta a la hipótesis que señalaba: la pérdida de eficiencia es producto de la normativa la cual impone límites a las inversiones.

En el año 2005, Jara realizó una investigación sobre la Modelización de un fondo de pensiones en el mercado colombiano, esto le permitió analizar cuál debía ser el comportamiento óptimo del fondo. Concluye en que el marco regulatorio de AFP's en Colombia puede explicar las inversiones ineficientes de los fondos de pensiones. El modelo en general indica que el portafolio óptimo para una AFP tiene un perfil de retorno esperado sin llegar a la frontera eficiente. Adicionalmente el concluye en que si a la regulación se le omitiera la restricción de la rentabilidad mínima, las AFP optimizarán su utilidad esperada invirtiendo en un portafolio eficiente.

## **2.2. Base Teórica**

### **2.2.1. Portafolio eficiente**

Markowitz (1952) marcó el principio de la teoría moderna de portafolios a través de la selección de los mismos basado en el uso eficiente del riesgo.

Markowitz propuso optimizar portafolios en términos de los retornos esperados y la varianza de los mismos.

Este autor plasma la idea de que un inversor enfrente distintas alternativas al buscar obtener mayor niveles de rentabilidad aceptando mayores niveles de riesgo. Concluye en que existe un conjunto de portafolios óptimos definidos como aquellos que maximizan la rentabilidad dado un nivel de riesgo, o de manera análoga, existe para cada nivel de rentabilidad un riesgo mínimo. También concluye en que el riesgo total de un portafolio depende de las correlaciones entre los instrumentos que lo componen, a esto se le conoce como diversificación.

En el modelo planteado por Markowitz un inversionista puede calcular las correlaciones históricas o las covarianzas entre las acciones que conforman el portafolio. Con esta información, demostró con la técnica que se conoce con el nombre Análisis de Media Varianza, la posibilidad de construir una serie de portafolios que sean eficientes. Según Díaz, un portafolio eficiente es aquel que brinda un mayor retorno para un nivel de riesgo dado o, un menor nivel de riesgo para un retorno fijo. Tobin (1958) extiende el estudio del modelo de Markowitz al cuestionarse sobre lo que pasaría si los inversores se endeudaran o prestaran a una misma tasa de interés. La respuesta a este cuestionamiento fue que los inversores pueden elegir la misma cartera siendo indiferente su aversión al riesgo. Esto es, que la aversión al riesgo no depende de la inelasticidad de las expectativas frente a la tasa de interés, bastaría el supuesto de que el valor esperado de la ganancia/pérdida del capital producto de mantener activos que proporcionen mayor interés sea nulo.

Por otro lado, Sharpe propone en 1963 el modelo diagonal. Este es una simplificación del modelo de Markowitz ya que Sharpe consideraba que ese modelo implicaba un difícil proceso de cálculo ante la necesidad de conocer de forma adecuada todas las covarianzas existentes. Sharpe propone relacionar la evolución de la rentabilidad de cada activo financiero con un

determinado índice. Este fue el denominado modelo diagonal, debido a que la matriz de varianzas y covarianzas sólo presenta valores distintos de cero en la diagonal principal.

Sharpe se preguntó cómo sería si todos los inversionistas se comportaran como optimizadores del portafolio de Markowitz; decía que en equilibrio el portafolio de activos de riesgo individual es simplemente el portafolio de mercado. Esta observación implica que el portafolio de mercado es de eficiente variación, es decir, se apoya en la frontera del conjunto eficiente, y por tanto satisface las condiciones de primer orden de eficiencia, lo cual se convierte en una de las importantes ideas del Modelo de Precios de Activos de Capital (CAPM).

Nuevos métodos de medida y gestión de riesgo fueron desarrollándose años posteriores. Un ejemplo de esto fue JP Morgan(1994), quien propuso una nueva metodología llamada "Riskmetrics", consistía en un manejo del riesgo conocido como Value at Risk (VaR). El VaR estima, cual podría ser la pérdida máxima que puede tener una cartera con una probabilidad dada en un horizonte de tiempo establecido.

El VaR solo es una medida de riesgo coherente cuando está basado en distribuciones continuas normalizadas. Cuando esto no ocurre, el VaR no satisface la propiedad de subaditividad y deja de ser una medida de riesgo coherente, según Artzner et al.(1997). Estos autores también demostraron que el VaR presenta problema de convexidad, que es un tema relevante en cuanto a optimización se refiere.

Luego surgen nuevas herramientas de medición de riesgo. Uryasev y Rockafellar (2002) aportan el Conditional Value at Risk (CVaR) demostrando que presenta ventajas en la optimización de carteras. Conditional Value at Risk también conocido como "Expected Shortfall", es una metodología que puede ser empleada para optimizar portafolios de inversión así como reducir el riesgo de caer en grandes pérdidas. El CVaR mide la pérdida esperada

promedio de una cartera dado un horizonte de tiempo, tomando en cuenta casos en los que las pérdidas son mayores que el VaR.

Una de las bondades de la aplicación del CVaR que será mostrada, es que puede ser empleada dentro de un análisis riesgo versus retorno. Así, si queremos imponer un retorno específico al portafolio de inversión, con ésta metodología podemos calcular el portafolio óptimo que minimice el CVaR y simultáneamente cumpla con el retorno mínimo exigido.

De la misma manera podemos imponer restricciones al valor que alcance el CVaR, como también podemos establecer límites en cuanto a la conformación del portafolio óptimo, por ejemplo, modelar las restricciones de inversión impuestas por las entidades reguladoras que recaen sobre las AFP y Compañías de Seguros. O por último imponer restricciones con respecto al nivel de probabilidad  $\beta$  exigido. Y así, obtener el máximo retorno posible dado aquellas restricciones.

Por estas razones el CVaR es un sistema de manejo de riesgo mucho más confiable que el enfoque VaR por lo que se usará para modelar la frontera eficiente del fondo 3 de las AFP's y así demostrar nuestra hipótesis.

### **2.2.2. Sistema Privado de Pensiones y su marco regulatorio**

En el Perú existen dos sistemas previsionales para la jubilación: El sistema público administrado por la Oficina de Normalización Previsional (ONP) y el Sistema Privado de Pensiones (SPP). Para la presente investigación nos centraremos en el SPP. El sistema privado de pensiones consiste en un esquema de capitalización individual donde la administración de los fondos recae en agentes privados conocidos como AFP's.

Aplicar el sistema privado de pensiones ayudó a eliminar los problemas estructurales vigentes en el esquema de administración pública. Sin embargo, trajo consigo otro: la heterogeneidad del universo de afiliados (Mendoza, 2014). Por esta razón se introdujo en el SPP el esquema

multifondos con el cual cada AFP podrá administrar tres fondos diferentes de acuerdo al nivel de riesgo. Estos fondos son el Fondo 1 o de preservación de capital, el Fondo 2 o mixto y el Fondo 3 o de apreciación del capital.

Principalmente las AFP pueden diversificar su cartera en renta fija y renta variable. Las inversiones de los Fondos de Pensiones pueden efectuarse hasta en 24 tipos, instrumentos u operaciones de inversión.

- Valores emitidos por el estado peruano sin incluir el Banco Central de Reserva del Perú.
- Valores emitidos o garantizados por el Banco Central de Reserva del Perú.
- Valores emitidos por instituciones pertenecientes al sector público diferentes del Banco Central de Reserva del Perú garantizados por el gobierno central o el Banco Central.
- Valores emitidos por instituciones pertenecientes al sector público diferentes del Banco Central de Reserva del Perú.
- Depósitos a plazo y otros títulos representativos de captaciones por parte de empresas del sistema financiero.
- Bonos emitidos por personas jurídicas pertenecientes o no al sistema financiero.
- Instrumentos de inversión emitidos para el financiamiento hipotecario por empresas bancarias o financieras y sus subsidiarias.
- Instrumentos de inversión emitidos para el financiamiento hipotecario por otras entidades con o sin garantía del Fondo MiVivienda u otras instituciones.
- Otros instrumentos de corto plazo distintos a los de captación por parte de las empresas del sistema financiero.
- Operaciones de reporte.

- Acciones y valores representativos de derechos sobre acciones en depósito inscritos en una Bolsa de Valores.
- Certificados de suscripción preferente.
- Productos derivados de valores que se negocian en el mecanismo centralizado de negociación.
- Operaciones de cobertura de los riesgos financieros.
- Cuotas de participación de los fondos mutuos de inversión en valores y de los fondos de inversión.
- Instrumentos de inversión representativos de activos titulizados.
- Instrumentos financieros emitidos o garantizados por estados y bancos centrales de países extranjeros así como acciones y valores representativos de derechos sobre acciones en depósito inscritos en bolsas de valores; instrumentos de deuda; cuotas de participación de fondos mutuos y operaciones de cobertura de riesgos emitidas por instituciones extranjeras.
- Emisiones primarias de acciones y/o valores mobiliarios representativos de derechos crediticios dirigidos a financiar el desarrollo de nuevos proyectos.
- Instrumentos financieros destinados al desarrollo de proyectos de infraestructura, concesiones, viviendas, explotación de recursos naturales y bosques cultivados u otros sectores que por sus características requieran financiamiento de mediano y largo plazo.

Estos están categorizados en cinco instrumentos: Instrumentos representativos de derechos sobre participación patrimonial o títulos accionarios, instrumentos representativos de derechos sobre obligaciones o títulos de deuda, instrumentos derivados para cobertura y gestión eficiente de portafolio, activos en efectivo e instrumentos alternativos. A modo de resumen se presenta el siguiente gráfico acerca de las diversas alternativas de inversión.

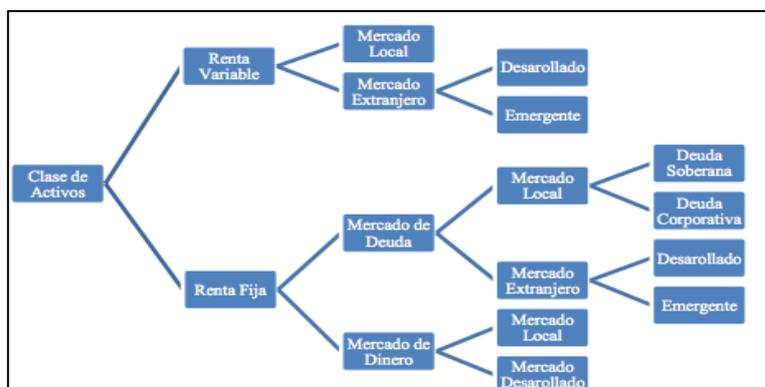


Figura 1. Alternativas de inversión de un Fondo de Pensiones  
Fuente: Elaboración Propia

Al implantar el esquema multifondos se establecieron límites de inversión en los diversos instrumentos según el nivel de riesgo de los fondos. Según el TUO (Texto Único Ordenado) de la ley del SPP estos límites de inversión son:

Tabla 1.  
Límites de inversión por tipo de fondo

	FONDO 0	FONDO 1	FONDO 2	FONDO 3
Títulos accionarios		Máx: 10%	Máx: 45%	Máx: 80%
Títulos de deuda	Máx: 75%	Máx: 100%	Máx: 75%	Máx: 70%
Instrumentos derivados cobertura		Máx: 10%	Máx: 10%	Máx: 20%
Activos en efectivo	Máx: 100%	Máx: 40%	Máx: 30%	Máx: 30%
Instrumentos alternativos			Máx: 15%	Máx: 20%

Nota. Elaboración propia

Adicionalmente se establecen límites de inversión generales. Estos son:

- La suma de las inversiones en instrumentos emitidos o garantizados por el Estado Peruano como máximo treinta por ciento (30%) del valor del Fondo.

- La suma de las inversiones en instrumentos emitidos o garantizados por el Banco Central de Reserva del Perú como máximo treinta por ciento (30%) del valor del Fondo.
- La suma de las inversiones a que se refieren los incisos anteriores precedentes no podrán superar de manera conjunta el cuarenta por ciento (40%) del valor del Fondo.
- La suma de las inversiones en instrumentos emitidos por Gobiernos, entidades financieras y no financieras cuya actividad económica mayoritariamente se realice en el exterior como máximo cincuenta por ciento (50%) del valor del fondo. El límite operativo seguirá siendo fijado por el Banco Central de Reserva.

### **2.2.3. Conditional Value at Risk (CVaR)**

En Rockafellar y Uryasev (1999), se exponen las propiedades fundamentales del CVaR y se muestran las ventajas significativas de esta metodología respecto al VaR tradicional y, se prueba que el CVaR puede cuantificar situaciones arriesgadas o de peligro más allá que el VaR y además comprueban su coherencia.

El CVaR que se propone como metodología para cuantificar el riesgo de mercado es una medida complementaria del VaR, que satisface todas las propiedades exigidas para ser una medida coherente de riesgo, desde el punto de vista académico de la teoría de la medida. Además, desde el punto de vista práctico y operativo, el CVaR supera los inconvenientes citados, ya que no sólo satisface la propiedad de subaditividad, sino que también es convexa, lo cual facilita la implementación de algoritmos de optimización y control.

Notaciones:

$\xi$ : Variable aleatoria pérdida

$\psi$ : distribución acumulada de la variable aleatoria  $\xi$ .

$\psi_\alpha$  = cola  $\alpha$  de la distribución, que es igual a cero para  $\xi$  por debajo del VaR, y es igual a  $(\psi - \alpha)/(1 - \alpha)$  para  $\xi$  mayor o igual que el VaR.

Definiciones:

**Valor en riesgo condicional superior (CVaR+):** Pérdidas esperadas que exceden estrictamente al VaR.

**Valor en riesgo condicional inferior (CVaR-):** Pérdidas esperadas que exceden débilmente al VaR. Es decir, pérdidas esperadas que son mayores o iguales al VaR.

$\psi$  (VaR) = Probabilidad de que  $x$  sea menor o igual al VaR.

**Valor en riesgo condicional (CVaR):** es un promedio ponderado del VaR y el CVaR+, dado por:

$$\text{CVaR}_\alpha(\xi) = \lambda \text{VaR} + (1 - \lambda) \text{CVaR}_\alpha^+(\xi)$$

$$\lambda = (\Psi(\zeta_\alpha) - \alpha) / (1 - \alpha), \quad 0 \leq \lambda \leq 1$$

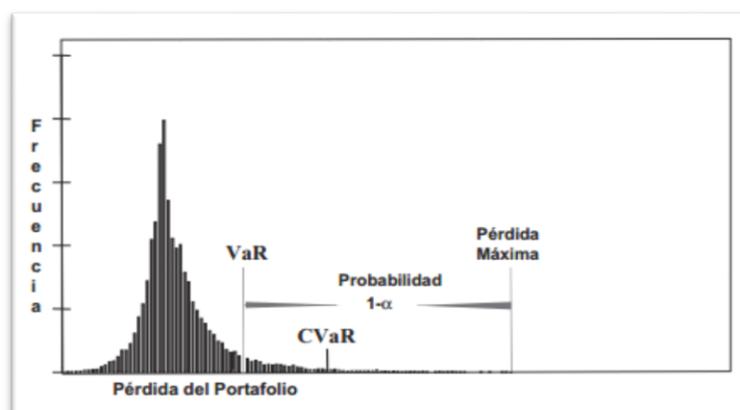


Figura 2: Representación del CVaR  
Fuente: Franco & Franco, 2005

Según Kibzun y Kuznetsov (2006), el CVaR bajo condiciones normales, es una función convexa con respecto a las posiciones tomadas, permitiendo la construcción de un algoritmo eficiente de optimización. Es decir, si la función de pérdida es convexa en una estrategia financiera para todas las realizaciones de un vector aleatorio, el CVaR es también convexo

en la estrategia. Siendo esta propiedad conveniente para la optimización de carteras.

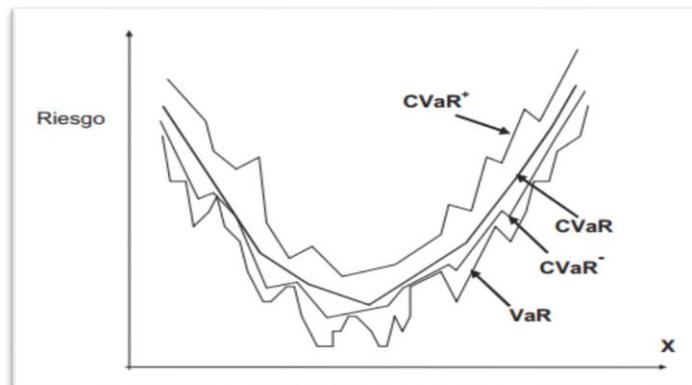


Figura 3. Representación de la convexidad del CVaR  
Fuente: Franco & Franco, 2005

El CVaR cuantifica las pérdidas que exceden el VaR y actúa como una cota superior para el VaR. Por lo tanto, portafolios con un bajo CVaR también tienen bajo VaR. El CVaR así definido es una representación convenientemente simple del riesgo, aplicable a distribuciones de pérdida no simétricas, que tiene en cuenta los riesgos más allá del VaR y es convexa. El CVaR puede ser optimizado, y simultáneamente se estaría minimizando el VaR.

### 2.3 Definición de términos básicos

- **Frontera eficiente:** Según Nasdaq, son las combinaciones de portafolios que maximizan el rendimiento esperado para un nivel de riesgo dado, o que minimiza el riesgo esperado para un nivel de rendimiento dado.
- **Riesgo:** Según la Bolsa de Valores de Lima, es la probabilidad de pérdida de capital que se afronta al tomar decisiones de inversión o ejercer una actividad empresarial.
- **Rentabilidad:** Según el Banco Central de Reserva del Perú, es la Capacidad de un activo para generar utilidad. Relación entre el importe de determinada inversión y los beneficios obtenidos una vez deducidos

comisiones e impuestos. La rentabilidad, a diferencia de magnitudes como la renta o el beneficio, se expresa siempre en términos relativos.

- **Administradoras de Fondos de Pensiones:** Según el Banco Central de Reserva del Perú, son las Instituciones financieras privadas cuyo fin es administrar un fondo de pensiones que está conformado por las aportaciones de los trabajadores afiliados al Sistema Privado de Pensiones, para financiar sus pensiones de jubilación, invalidez y supervivencia.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Diseño de investigación

La presente investigación es de tipo Cuantitativo, de corte longitudinal, series de tiempo. El diseño metodológico es no experimental. Este tipo de investigación es correlacional, pues consiste en recolectar series de datos históricos (Hernández et al, 2010).

#### 3.2 Área y línea de investigación

Nuestra área de investigación es el campo de las finanzas. Y la línea de investigación es la adecuada gestión del riesgo para poder mejorar la relación riesgo/rentabilidad.

#### 3.3 Operacionalización de Variables

Tabla 2.  
Operacionalización de variables

Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicador
La aplicación de una metodología CVaR a un portafolio de inversión de las Administradoras de Fondos de Pensiones permite obtener una mejor relación de rentabilidad/riesgo.	Rentabilidad	Histórica	Rendimiento del portafolio
	Riesgo	Riesgo de Mercado	<i>Conditional Value at Risk</i>

Nota: Elaboración propia

#### 3.4 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

La metodología estará basada en un modelo el cual define factores de riesgos propios a las características de cada instrumento financiero. Cada

factor de riesgo será definido por el valor de un índice o instrumento financiero particular al que llamaremos “vértice de riesgo”, el cual representa a un conjunto de activos financieros con similares características de riesgo.

Por lo tanto para evaluar el riesgo de la cartera de inversión, nos centraremos en medir las volatilidades y correlaciones asociadas a estos vértices de riesgo. Los cuales serán asignados según la naturaleza de los instrumentos financiero, ya sean estos: renta variable, renta fija, nacionales, extranjeros, etc. La justificación de utilizar vértices de riesgo que representen las fluctuaciones de precios de un conjunto de activos nace del hecho que es muy difícil y costoso obtener las series de precios históricos de cada activo en que se invierte. Las series históricas se obtuvieron de Investing, YahooFinance, SBS y Bloomberg.

### **3.5 Técnicas de procesamiento de datos**

Para el procesamiento de los datos se hará uso del programa Matlab, con el fin de poder estimar la distribución de los retornos y de esta manera proceder a hallar el CVaR. Para poder estimar la frontera eficiente del portafolio del fondo 3 con la metodología planteada, utilizaremos el objeto PortfolioCVaR, que se encuentra disponible en el Financial Toolbox del programa Matlab R2017.

#### IV. RESULTADOS

De acuerdo a la metodología Se agruparon los activos en los que invierten las AFP en vértices de riesgo. A continuación se muestran estos y los respectivos índices usados para describir su comportamiento.

*Tabla 3.  
Vértices de riesgo e indicadores*

<b>Vértice de riesgo</b>	<b>Índice</b>
Bonos corporativos Perú 0-3 años	SBS
Bonos corporativos Perú 3-10 años	SBS
Bonos corporativos Perú 10 años a+	SBS
Bonos Soberanos Perú1	Bono Perú 15
Bonos Soberanos Perú 2	Bono Perú 30
Bonos USA1	SHV
Bonos USA2-SHORT TERM	BSV
Bonos USA3	BIV
Bonos USA4-LONG TERM	BLV
Bonos No USA países desarrollados	IBGX
Bonos países emergentes	iShares J.P.Morgan Emerging Markets Bond ETF
Acciones local	SP/BVL PERU GEN
acciones extranjero USA	DOW Jones Industrial Average(DJI)
acciones extranjeras desarrollados	MSCI EAFE
Acciones extranjeras emergentes	MSCI Emerging Markets

Nota: Elaboración Propia

- **Se obtuvo la relación riesgo rentabilidad del fondo 3 de las Administradoras de Fondos de Pensiones en Perú para los años 2009-2015 mediante la optimización del CVaR.**

Se importó data de los índices mencionados en la Tabla 3 al programa MatLab. Con esta información se obtuvieron los retornos y posteriormente se realizó la optimización del portafolio con ayuda de PortfolioCVaR (Toolbox financiero) incluyendo las restricciones mencionadas en la Tabla 1. Además, se extrajo el retorno y el CVaR de cada punto de la frontera eficiente. Con esta información se planteó el siguiente ratio:

$$\text{RatioSharpeCVaR} = \frac{\text{Retorno}}{\text{CVaR}}$$

Obtuvimos el ratio en cada punto de la frontera y hallamos el mayor, el cual fue el ratio obtenido en el punto 76 de la frontera.

RETORNO	0,000840063
CVaR	0,0277

El máximo ratio hallado entonces sería:

$$\text{RatioSharpeMax} = \frac{0,000840063}{0.0277} = 0,03034$$

- **Se determinó la frontera eficiente del portafolio conformado por valores del Fondo 3 de las AFP a través de la metodología CVaR.**

Se extrajo la frontera eficiente de la optimización realizada con las restricciones planteadas en la Tabla 1.

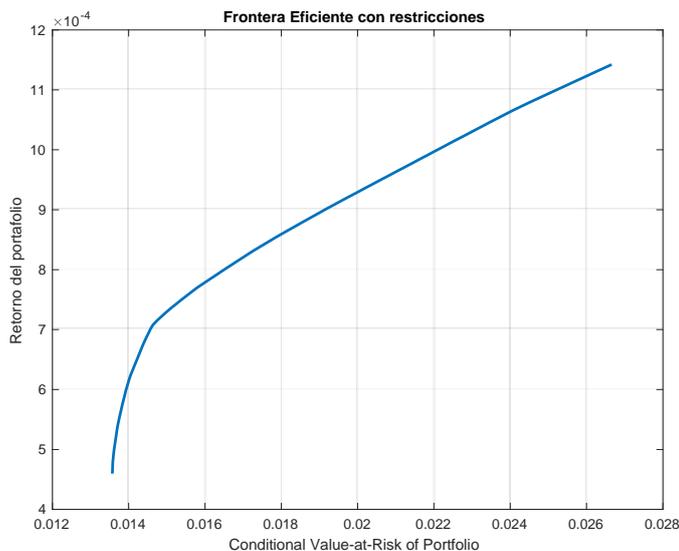


Figura 4. Frontera eficiente con restricciones  
Fuente: Elaboración Propia Matlab

Sin embargo, adicionalmente se consideró una restricción de tamaño de mercado en cuanto a los bonos corporativos en Perú. Esto debido a que en Perú el tamaño de este mercado apenas alcanza los 30 mil millones de soles (SBS 2015). Incluyendo esta restricción, la frontera eficiente sería:

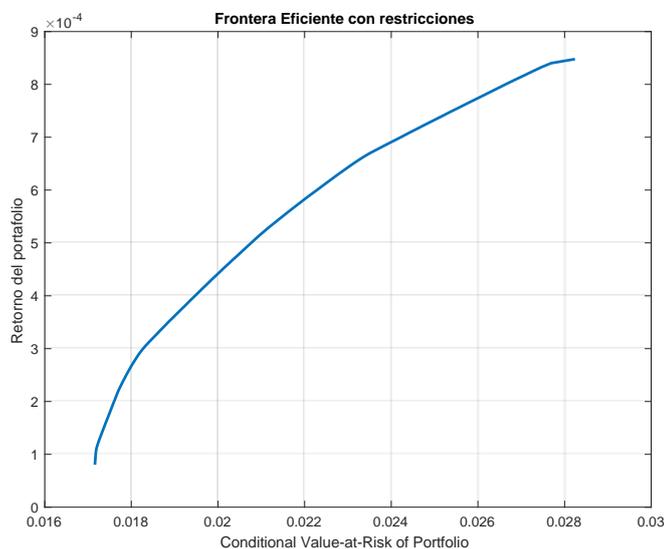


Figura 5. Frontera eficiente con restricciones de mercado local de bonos.  
Fuente: Elaboración Propia Matlab

- **Se determinó la frontera eficiente con y sin restricciones del Fondo 3 de las AFP a través de la metodología CVaR.**

Se realizó otra optimización en la que se considera la frontera eficiente del portafolio si no tuviera las restricciones mencionadas en la Tabla 1(Figura 6).

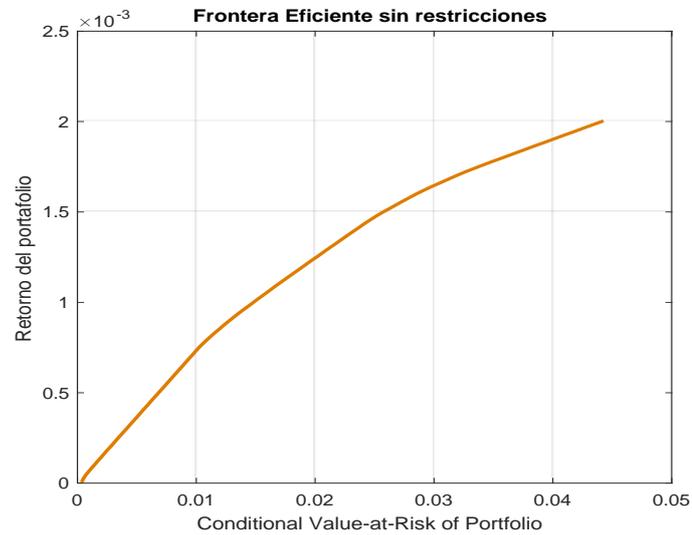


Figura 6. Frontera Eficiente sin restricciones.  
Fuente: Elaboración Propia. Matlab.

Se comparó las dos fronteras eficientes, una con restricciones y otra sin restricciones. Ambas utilizando la metodología CVaR. (Figura 7).

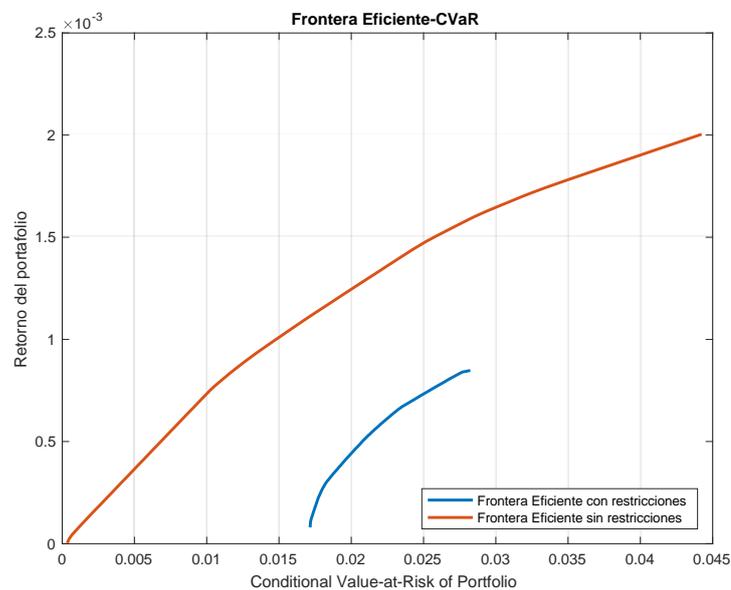


Figura 7. Fronteras Eficientes-comparación.  
Nota: Elaboración Propia. Matlab.

- **Se comparó la rentabilidad del Fondo 3 de las AFP en el año 2015 con la rentabilidad esperada del portafolio con la metodología CVaR.**

Obtuvimos la composición del Fondo 3 de las AFP en el año 2015 de la página web de la SBS. Con esta información reemplazamos los datos y hallamos la rentabilidad y el riesgo asumido (CVaR) para poder compararlo con la frontera hallada en los anteriores puntos.

*Tabla 4.*  
*Composición del Fondo3 en el año 2015*

<b>Vértice de riesgo</b>	<b>Pesos</b>
Bonos corporativos 0-3 años	1,057%
Bonos corporativos 3-10 años	2,227%
Bonos corporativos 10 años a+	1,807%
Bonos soberanos Perú1	2,229%
Bonos soberanos Perú2	1,466%
Bonos USA1	0%
Bonos USA2-SHORT TERM	0%
Bonos USA3	0,032%
Bonos USA4-LONG TERM	0,024%
Bonos No USA países desarrollados	0,580%
Bonos países emergentes	0,247%
Acciones local	21,529%
acciones extranjero USA	42,126%
acciones extranjeras desarrollados	7,973%
Acciones extranjeras emergentes	18,704%

Fuente: Elaboración Propia

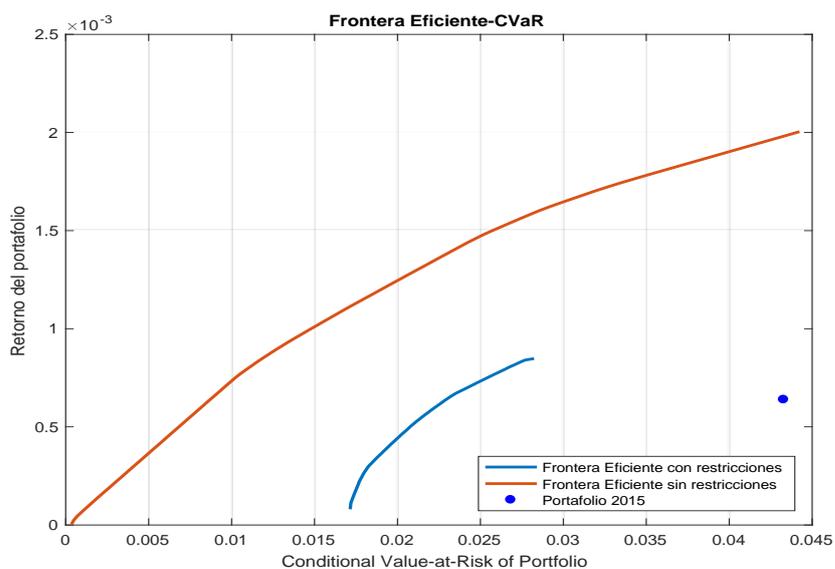


Figura 8. Comparación rentabilidad Fondo 3 2015 con optimización CVaR  
Nota: Elaboración propia. Matlab.

Adicionalmente, se relajaron algunas restricciones y se comparó la nueva frontera hallada con la frontera con restricciones. Las restricciones relajadas fueron:

Límite inversión en el extranjero=60%(antes 50%)

Límite inversión en renta variable=90%(antes 80%)

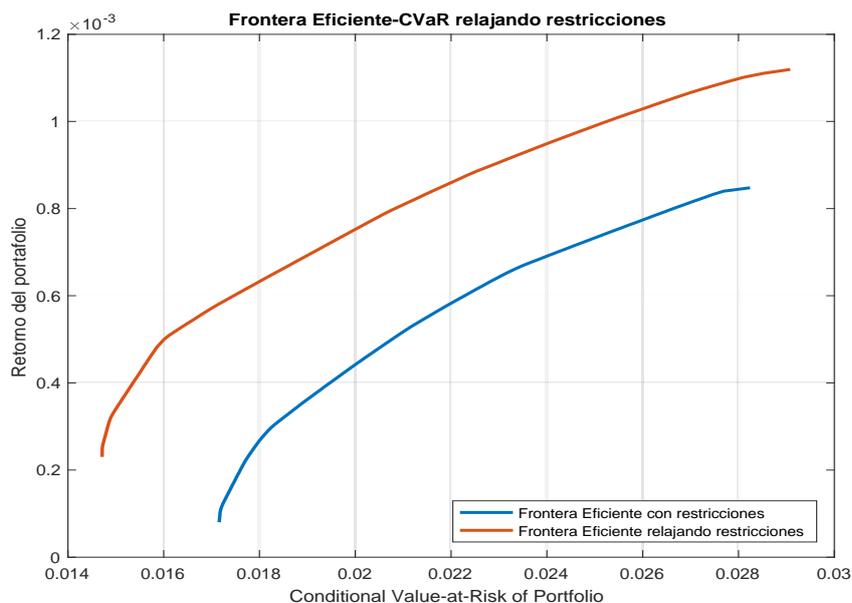


Figura 9. Frontera relajando restricciones  
Nota: Elaboración Propia. Matlab.

## V. DISCUSIÓN

La presente tesis surgió al observar la baja rentabilidad que ofrecen las AFP's a sus afiliados. Por esta razón se planteó optimizar el portafolio de las AFP's con una metodología poco tradicional: CvaR. Se esperaba obtener una mejor relación riesgo rentabilidad.

Utilizando el objeto PortfolioCVaR de la aplicación MatLab logramos optimizar el portafolio y hallar la frontera eficiente. En esta frontera encontramos el máximo Ratio Sharpe (utilizando CvaR en lugar de desviación estándar) el cual fue de 0,03034. Hallar este ratio nos permite tener una medida con la cual podemos comparar el portafolio del año 2015 y conocer si está siendo eficiente o no.

$$\text{Ratio Sharpe 2015} = \frac{0,000638426759707546}{0,0433} = 0,01474426$$

$$\text{RatioSharpeCVaR} = \frac{0,000840063}{0,0277} = 0,03034$$

El ratio del 2015 fue 0,01474426. Esto demuestra que las AFP's están siendo ineficientes en cuanto a la optimización de su portafolio ya que con el mismo nivel de riesgo se puede obtener una mayor rentabilidad. En otras palabras, el manejo del riesgo es ineficiente, ya que la rentabilidad que obtienen la pueden obtener asumiendo menos riesgos. Concretamente, las AFP's obtienen esa rentabilidad asumiendo un riesgo de 0,0433. Esta misma rentabilidad se puede obtener asumiendo solo un riesgo de 0,0236 de acuerdo a la figura 8.

Por otro lado, según García y Romero (2005) en su investigación acerca de las compañías de seguros en Chile señalan que la pérdida de eficiencia es producto de la normativa la cual impone restricciones a las investigaciones. Observando los resultados obtenidos en las figuras 7 y 9 podemos corroborar esa conclusión. Claramente se puede observar en estas figuras la pérdida de eficiencia de los portafolios óptimos que están sujetos a las restricciones de inversión, ya que para cada nivel de riesgo cuantificado

por el CvaR observamos que los portafolios no sujetos a tales restricciones consiguen un mayor retorno promedio. Por lo tanto en el Sistema Privado de Pensiones peruano encontramos una pérdida de eficiencia explicada por la rigidez de los límites exigidos a la inversión al igual que en el caso chileno con las compañías de seguros.

Mención aparte se merece la restricción de tamaño de mercado, los bonos corporativos emitidos en el Perú son bastante atractivos, sin embargo el tamaño de ese mercado no permite a las AFP's diversificar lo suficiente. Por esto, se observa en la figura 5 que un incremento en el tamaño del mercado de bonos corporativo nacional mueve la frontera hacia arriba, lo que indica que se podría obtener una mejor rentabilidad con el mismo riesgo asumido.

## VI. CONCLUSIONES

En la comparación de rentabilidades obtenidas a través de la metodología CVaR, en los portafolios con restricciones y sin restricciones, se observa que en un portafolio sin restricciones puede lograrse una mejor posición en cuanto a rentabilidad, sin embargo la idea no es esa. Por ejemplo, si se amplía totalmente el rango de inversión en el exterior las AFP's estarían incentivadas a invertir casi la totalidad del fondo en el extranjero; esto podría afectar negativamente al mercado bursátil peruano, el cual se quedaría sin fondos para poder transar. Quizás relajando algunos límites de inversión se podría obtener una mejor posición.

Para comprobar esta hipótesis se realizó una prueba de análisis de sensibilidad. Donde se comprueba que relajando solo dos supuestos, la nueva frontera eficiente se encuentra por encima de la antes obtenida.

Uno de los objetivos de esta investigación fue comparar la rentabilidad que obtuvo el Sistema Privado de Pensiones, AFP, con la rentabilidad que se obtuvo a través de la metodología CVaR. En base a los resultados de la investigación, se concluyó que la rentabilidad obtenida con la metodología CVaR es superior a la que se obtuvo con la metodología de las AFP's.

Esto hace suponer que el manejo y gestión de riesgos no fue lo suficientemente eficiente para poder justificar el riesgo que asumían los aportantes del fondo 3 de las AFP's frente a la rentabilidad que obtuvieron. Con esto demostramos la hipótesis del presente trabajo de investigación, las AFP's si pueden obtener una mejor rentabilidad optimizando el portafolio del fondo 3 a través de la metodología CVaR.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Una de las razones por las que las AFP's no logran obtener una rentabilidad que justifique el riesgo que asume el aportante, son en gran parte las restricciones de inversión que tienen. Se hizo uso del análisis de sensibilidad para poder comprobar esta hipótesis.

Por otro lado alentamos a la autoridad Normativa, en este caso la Superintendencia de Banca y Seguros, y AFP's y el BCRP, a que pueda revisar la composición de los límites de inversión y verificar si realmente cumplen eficientemente los objetivos para la cual fueron creados, ya que la pérdida de eficiencia en las inversiones producto de estos límites de inversiones, nos impulsa a cuestionar si requieren una actualización en sus porcentajes.

Asimismo, hemos comprobado que un mayor tamaño del mercado de bonos corporativos nacional mejora la frontera eficiente, por lo que es recomendable incentivar la emisión de bonos de este tipo.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artzner, P. Delbaen, F. Eber, J. Heath, D. (1999), *Coherent Measures of Risk*, *Mathematical Finance*, pp. 203-228.

Díaz, Gustavo. (2011) *El riesgo de mercado y su incidencia en los portafolios de inversión de las economías domésticas, caso adquisición de vivienda y activos financieros*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá

Franco, L. & Franco, E. (2005). *El valor en riesgo condicional CVaR como medida coherente de riesgo*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 4, 43-54.

García, R. (2005). *Optimización del Condicional Value at Risk: Aplicación a las Compañías de Seguros en Chile*. Universidad de Chile.

Hernández, R., Baptista, P. y Fernández, C. (2010). *Metodología de la Investigación*. México. McGraw Hill.

Jara, D. (2005). *Modelo de la Regulación de las AFP en Colombia y su Impacto en el Portafolio de los Fondos de Pensiones*.

Kibzun, A. y Kuznetsov, E. (2006): *Analysis of Criteria VaR and CVaR*, *Journal of Banking and Finance* 30, 779-796.

Llosa, R. & Camargo G. (2002). *Eficiencia financiera de los límites de inversión para las AFP: una aplicación al caso peruano*

Medina, C & Cáceres, G. (2016). *Construcción y gestión de portafolios mediante el modelo Black-Litterman: una aplicación a las AFP en Perú durante el periodo 2007-2015*. (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú.

Rockafellar, R. & Uryasev, S. (1999). "Optimization of Conditional Value-at-Risk".

Romero, M. & Laengle, S. (2005). *Implementación del Value at Risk Condicional (CVaR): El caso de las AFP en Chile*. Universidad de Chile.

Sharpe, William. (1964) *Capital Assets Prices: a theory of market under conditions of risk* *Journal of finance* no.19.

Tobin James.(1958). *Liquidity Preference as Behavior Towards Risk*. *Review of Economics Studies*. pp. 65-86.

## IX. ANEXOS

### Anexo 01. Programa de Optimización CVaR

```

clc;
clear;
EAFE1=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'A2:A366');
DJI1=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'B2:B366');
SPBVL1=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'C2:C366');
EMBI1=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'D2:D366');
SHV1=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'E2:E366');
IBGX1=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'F2:F366');
BSV1=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'G2:G366');
BIV1=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'H2:H366');
BLV1=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'I2:I366');
BP15=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'R3:R366');
BP30=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'S3:S366');
MSCIEM=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'L2:L366');
BC1=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'T3:T366');
BC2=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'U3:U366');
BC3=xlsread('data tesis', 'Hoja5', 'V3:V366');

% Small-cap data
RENTAVARIABLE = [SPBVL1, DJI1, EAFE1, MSCIEM];

% Bond ETF's
RENTAFIJA = [BLV1, BIV1, SHV1, BSV1, EMBI1, IBGX1];

%% 1.3) Convert price data to returns
% For portfolio optimization it is recommended to use returns data,
so we
% convert price data into returns.
RENTAVARIABLEReturns = price2ret(RENTAVARIABLE);
RENTAFIJAReturns = price2ret(RENTAFIJA);

%% 1.4) Visual Check on Returns

```

```

% Lets just do a quick visual check on our returns data. The Small-
Cap

% returns should have the highest risk, while the Large-Cap and the
Bond

% ETF's should have less variability.

figure;

subplot(2,1,1); plot(RENNAVARIABLEReturns); title('Retornos Renta
Variable ');

subplot(2,1,2); plot(RENNAFIJARReturns); title('Retornos Renta
Fija');

set(get(gcf, 'Children'), 'YLim', [-0.8 0.8]); % Set all Y axes to be
the same

%% 1.5) Combine assets

% We'll now add all of our data together so we have a single matrix
of the

% returns for all of our assets. We also add the ticker symbols
together

% so we have a list of all the assets in our single matrix.

%assetTickers = [smallCapTickers bondETFTickers BP15 BP30 BC1 BC2
BC3];

Returns = [RENNAVARIABLEReturns RENNAFIJARReturns BP15 BP30 BC1 BC2
BC3];

%% 2) CVaR Portfolio

% Here we create the CVaR object and use the object's methods to
pass in

% data and setup the CVaR problem. By setting the probability level
to

% 0.95, we are choosing to minimize the mean loss in the 5% of
portfolio

% returns with the highest losses.

%% 2.1) Setup portfolio

%definimos restricciones

A=[0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0]; % no mas de 50% en el extranjero

b=0.5;

pmc = PortfolioCVaR;

pmc =
pmc.setAssetList('SPBVL1', 'DJI1', 'EAFE1', 'MSCIEM', 'BLV1', 'BIV1', 'SHV
1', 'BSV1', 'EMBI1', 'IBGX1', 'BP15', 'BP30', 'BC1', 'BC2', 'BC3');

pmc = pmc.setScenarios>Returns);

```

```

pmc = pmc.setDefaultConstraints;
pmc=pmc.setInequality(A,b);
A=[1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];%no mas de 80% en acciones
b=0.8;
pmc=pmc.addInequality(A,b);
A=[0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];% no mas de 70% en deuda
b=0.7;
pmc=pmc.addInequality(A,b);
A=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0];%instrumentos respaldados por Per'
m·ximo 30%
b=0.3;
pmc=pmc.addInequality(A,b);
A=[0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 0 0];%30%maximo en instrumentos de
corto plazo
b=0.3;
pmc=pmc.addInequality(A,b);
A=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1];%restriccion tamaño mercado bonos
corporativos Per'
b=0.17
pmc=pmc.addInequality(A,b);
pmc = pmc.setProbabilityLevel(0.95);

%% 2.2) Plot the CVaR efficient frontier
% Get the weights of the CVaR efficient portfolios
pmcwgts = pmc.estimateFrontier(100);
% Plot the portfolios, and get the portfolio risks/returns
figure; [pmcRisk, pmcReturns] = pmc.plotFrontier(pmcwgts);
title('Frontera Eficiente con restricciones ');
ylabel('Retorno del portafolio')

%% 3) CVaR UnRestricted Portfolio
% Its a good idea to look at a portfolio problem according to
different
% risk measures. So lets create a mean-variance portfolio object,
and
% find the 10 efficient portfolios according to a Mean-Variance risk
proxy.
% The workflow is very similar to the CVaR portfolio workflow,
except that

```

```

% we use the estimateAssetMoments method now, to estimate the mean
and
% covariance of our return data.

%% 3.1) Setup portfolio

%pmv = Portfolio;

%pmv =
pmv.setAssetList('SPBVL1','DJI1','EAFE1','BLV1','BIV1','SHV1','BSV1'
,'EMBI1','IBGX1','BP15','BP30','MSCIEM');

%pmv = pmv.estimateAssetMoments>Returns);

%pmv = pmv.setDefaultConstraints;

pmcu = PortfolioCVaR;

pmcu =
pmcu.setAssetList('SPBVL1','DJI1','EAFE1','MSCIEM','BLV1','BIV1','SH
V1','BSV1','EMBI1','IBGX1','BP15','BP30','BC1','BC2','BC3');

pmcu = pmcu.setScenarios>Returns);

pmcu = pmcu.setDefaultConstraints;

%pmcu=pmcu.setInequality(A,b);

%A=[1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0];%no mas de 80% en acciones

%b=0.8;

%pmc=pmc.addInequality(A,b);

%A=[0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1];% no mas de 70% en deuda

%b=0.7;

%pmc=pmc.addInequality(A,b);

%A=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1];%instrumentos respaldados por Per'
m.ximo 30%

%b=0.3;

%pmc=pmc.addInequality(A,b);

pmcu = pmcu.setProbabilityLevel(0.95);

%% 3.2) Plot the Mean-Variance efficient frontier

% Get the weights of the mean-variance efficient portfolios
pmcuwgts = pmcu.estimateFrontier(100);

% Plot the portfolios, and get the portfolio risks/returns
figure; [pmcuRisk, pmcuReturns] = pmcu.plotFrontier(pmcuwgts);
title('Frontera Eficiente sin restricciones ');
ylabel('Retorno del portafolio')

%% 4) Compare CVaR and Mean-Variance portfolios

%% 4.1) Calculate Mean-Variance for CVaR Portfolios

% One way that we can compare the portfolios is to convert between

```

```

risk

% proxies. Here, we'll calculate the Mean-Variance risk of the 10
CVaR

% portfolios.

%pmcRiskStd = pmc.estimatePortStd(pmcwgts);

%% 4.2) Add CVaR Portfolios to Mean-Variance Plot

% Now that we have the mean-variance risk of the CVaR portfolios, we
can

% add them to the mean-variance frontier plot. We need to remember
to take

% the square root of the variance to get the standard deviation,
which is

% used on the x-axis of the plot.

figure;
pmc.plotFrontier(100);
hold on
pmcu.plotFrontier(100)
legend('Frontera Eficiente con restricciones',...
       'Frontera Eficiente sin restricciones',...
       'Location','SouthEast')
title('Frontera Eficiente-CVaR')
ylabel('Retorno del portafolio')

%% 4.3) Compare Weights

% Another way to compare the efficient portfolios is to look at the
% weights for the 10 portfolios. We'll visualize the weights for
the CVaR

% and Mean-Variance side-by-side using area plots. This allows us to
% see the mix of the different assets in each of the 10 efficient
% portfolios.

figure;

subplot(1,2,1);
area(pmcwgts');
title('Pesos del portafolio con restricciones');

subplot(1,2,2);

```

```

area(pmcuwgts');
title('Pesos del portafolio sin restricciones');

set(get(gcf,'Children'),'YLim',[0 1]);
legend(pmcu.AssetList);

%% 5) Analyze normality of data
%% 5.1) Let's analyze the returns
% Histogram of the returns of the Bond ETF's grouped into 50 bins
figure;

subplot(1,2,1);
hist(RENNAVARIABLEReturns(:),50);
histfit(RENNAVARIABLEReturns(:),50);
figure(gcf);histfit(RENNAVARIABLEReturns(:),50); figure(gcf)
title('RETORNOS RENTAVARIABLE');

subplot(1,2,2);
hist(RENNAFIJAReturns(:),50);
histfit(RENNAFIJAReturns(:),50);
figure(gcf);histfit(RENNAFIJAReturns(:),50); figure(gcf)
title('RETORNOS RENTAFIJA');

%% RATIO RETORNO RIESGO
RatioSharperrestricted=pmcReturns./pmcRisk;

pi=PortfolioCVaR;
pi =
pi.setAssetList('SPBVL1','DJI1','EAFE1','MSCIEM','BLV1','BIV1','SHV1',
', 'BSV1','EMBI1','IBGX1','BP15','BP30','BC1','BC2','BC3');

%arreglar
%pesos=[0.8252;0;0;0.00128;0.000639;0;0.0003368;0.000679;0.004124;0.
0722; 0.0776;0.002924];
%pesos1=[0.17;0.2;0;0;0.06;0;0.02;0.04;0.05;0.03;
0.15;0.27];%ajustado a la realidad
pesos2=[0.21529;0.42126;0.07973;0.18704;0.00024;0.00032;0.0;0;0.0024
7;0.0058;0.02229;0.01466;0.01057;0.02227;0.01807];
%pi=setInitPort(pi,pesos);

```

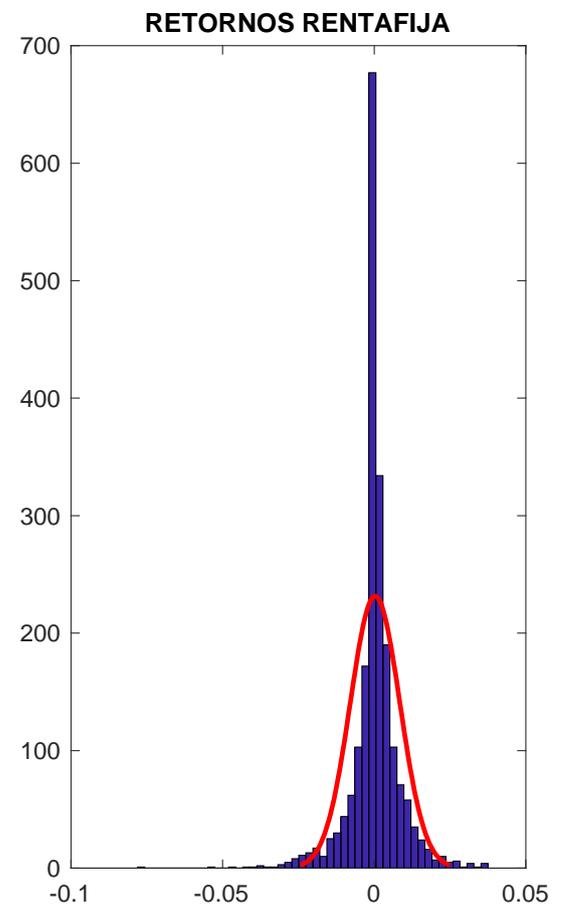
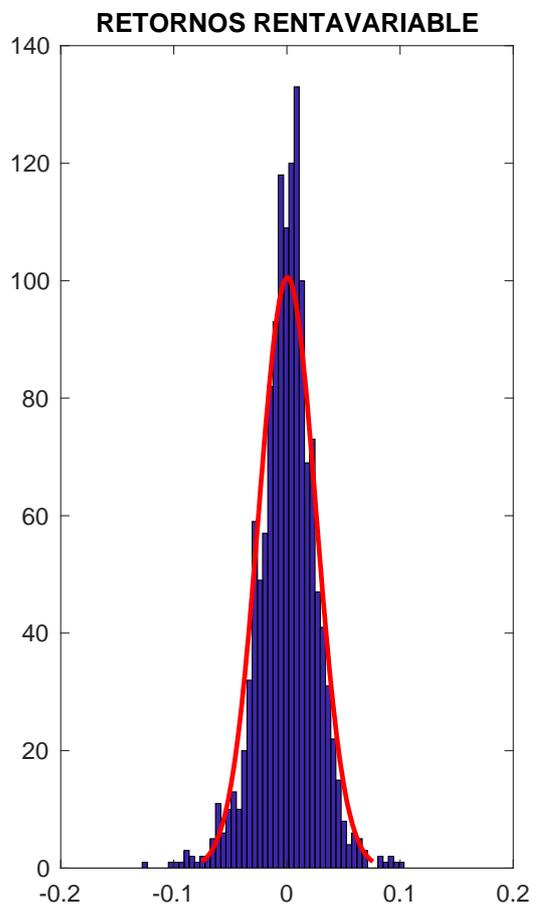
```

figure;
[piRisk, piReturns] = pmc.plotFrontier(pesos2)
%%
figure;
pmc.plotFrontier(100);
hold on
pmcu.plotFrontier(100);
hold on
pmc.plotFrontier(pesos2);
legend('Frontera Eficiente con restricciones',...
       'Frontera Eficiente sin restricciones',...
       'Portafolio 2015',...
       'Location','SouthEast')
title('Frontera Eficiente-CVaR')
ylabel('Retorno del portafolio')
%%ANALISIS DE SENSIBILIDAD
%CVaR relajando restricciones
A=[0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0];% no mas de 50% en el extranjero
b=0.5;
pmc2 = PortafolioCVaR;
pmc2 =
pmc2.setAssetList('SPBVL1','DJI1','EAFE1','MSCIEM','BLV1','BIV1','SH
V1','BSV1','EMBI1','IBGX1','BP15','BP30','BC1','BC2','BC3');
pmc2 = pmc2.setScenarios>Returns);
pmc2 = pmc2.setDefaultConstraints;
pmc2=pmc2.setInequality(A,b);
A=[1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];%no mas de 80% en acciones
b=0.8;
pmc2=pmc2.addInequality(A,b);
A=[0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];% no mas de 70% en deuda
b=0.7;
pmc2=pmc2.addInequality(A,b);
A=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0];%instrumentos respaldados por Per'
m·ximo 30%
b=0.3;
pmc2=pmc2.addInequality(A,b);

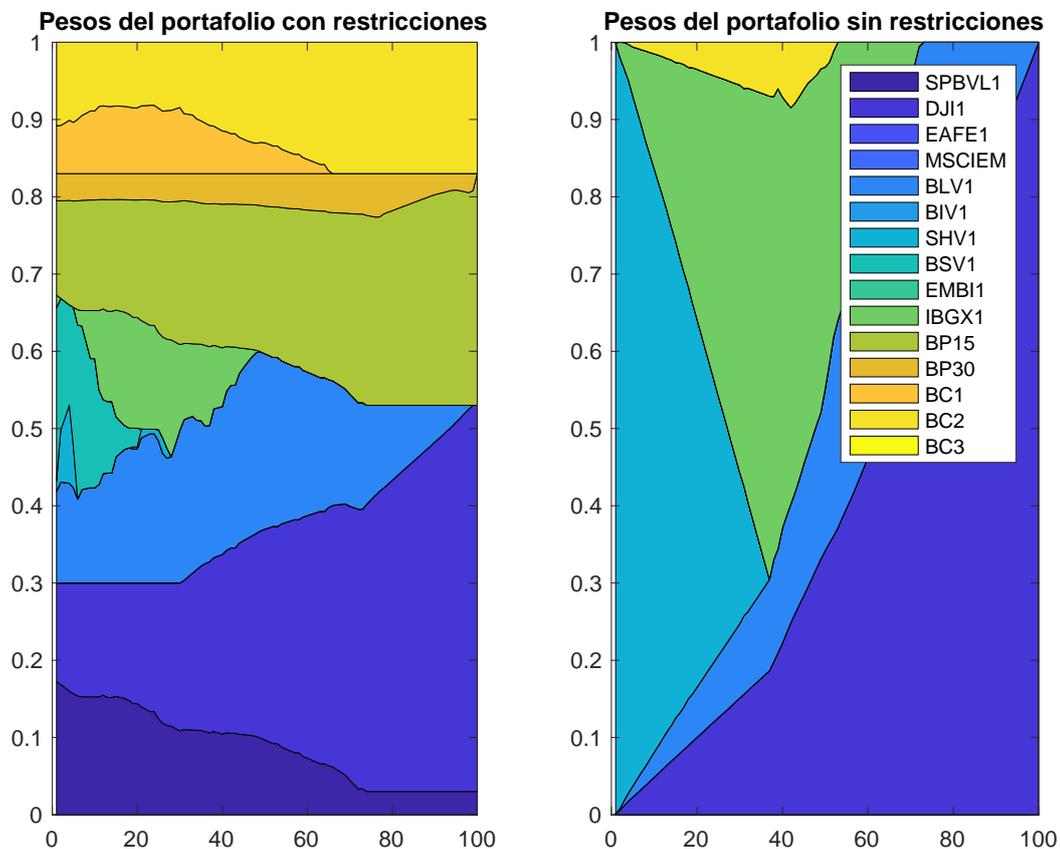
```

```
A=[0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 0 0];%30%maximo en instrumentos de
corto plazo
b=0.3;
pmc2=pmc2.addInequality(A,b);
A=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1];%restriccion tamaño mercado bonos
corporativos Per
b=0.27;
pmc2=pmc2.addInequality(A,b);
pmc2 = pmc2.setProbabilityLevel(0.95);
%GRAFICAMOS
figure;
pmc.plotFrontier(100);
hold on
pmc2.plotFrontier(100)
legend('Frontera Eficiente con restricciones',...
       'Frontera Eficiente relajando restricciones',...
       'Location','SouthEast')
title('Frontera Eficiente-CVaR con tamaño de mercado peruano mayor')
ylabel('Retorno del portafolio')
```

## Anexo 02. Comportamiento de los retornos



### Anexo 03. Composición de la frontera eficiente del portafolio optimizado



## Anexo 04. Comportamiento de los rendimientos de los vértices de riesgo

