# OPTIMIZACIÓN Y REBALANCEO DE PORTFOLIOS SISTEMÁTICOS.

*Tras unas pinceladas históricas sobre las dos formas paradigmáticas de entender la Teoría de Carteras, nos adentraremos en la optimización de portfolios construidos con productos no convencionales, como los sistemas de trading con derivados. Analizaremos el proceso de asignación de activos mediante criterios múltiples, empleando como hilo conductor un portfolio simulado con el que iremos detallando los pasos a seguir para su correcta optimización y rebalanceo en diferentes escenarios.*

POR ANDRÉS A. GARCÍA

## LOS DOS ENFOQUES PARADIGMÁTICOS DE LA TEORÍA DE CARTERAS

La "Moderna Teoría de Carteras" representa un importante avance respecto a los modelos tradicionales de asignación de activos, en su mayoría subjetivos y ambiguos. Es la primera vez que se aplican con éxito las matemáticas financieras a un problema de toma de decisiones tan escurridizo y complejo como la construcción y optimización de carteras. Pero han pasado ya seis décadas desde su formulación y, al perecer, muchos gestores tradicionales y de *Hedge Funds* (Burder[1] *et al*, 2011) siguen aferrados al enfoque media-varianza (M-V) formulado por Markowitz[2] en 1952. Este modelo de asignación proporciona un marco conceptual sólido para balancear carteras que combinan acciones y bonos, pero resulta bastante inapropiado para bregar con productos complejos que invierten en decenas de mercados internacionales, realizan sofisticadas operaciones de cobertura con derivados e incluso incorporan programas de trading algorítmico. Y es que el modelo M-V y sus diversas variantes (Sharpe[3] W., 1963) solo es útil para inversores que tienen "preferencias cuadráticas"; es decir, cuyo perfil de aversión puede situarse linealmente en algún punto de una Frontera Eficiente definida en términos de retorno por unidad de riesgo.

> EL MODELO MARKOWITZ –SHARPE PROPORCIONA UN MARCO CONCEPTUAL SÓLIDO PARA BALANCEAR CARTERAS QUE COMBINAN ACCIONES Y BONOS, PERO RESULTA BASTANTE INAPROPIADO PARA BREGAR CON PRODUCTOS COMPLEJOS.

[1] Benjamin B., Koudiraty A., Darolles y S. Roncalli (2011), "Portfolio Allocation of Hedge Funds", *Lyxor White Paper* (5).
[2] Markowitz H. (1952), "Portfolio Selection", *Journal of Finance* (7) pp. 77-91.
[3] Sharpe W. (1963) "A Simplified Model for Portfolio Analysis", *Management Science*, (8) pp. 277-293. Véase también (2007): "Expected Utility Asset Allocation", *Financial Analysts Journal* (63) pp. 18-30.

Diferentes estudios se han encargado en poner de manifiesto que no existe una percepción unívoca del riesgo. Por tanto, más que un "criterio de utilidad", iríamos a una multiplicidad de criterios, lo que implica emplear diferentes estimadores del riesgo en diferentes contextos de inversión (Adam[4] *et al*, 2008 y Buraschi[5] *et al.* 2010).

Por otra parte, el bello esquema de maximizar el retorno esperado para cada nivel de riesgo o, a la inversa, minimizar el riesgo (medido en términos de desviación estándar) para cada nivel de retorno esperado (en términos de rentabilidad media), cuando se lleva a la práctica choca contra en infranqueable muro de la incertidumbre:

ES MUY DIFÍCIL PROYECTAR EL BENEFICIO A FUTURO EMPLEANDO SERIES HISTÓRICAS.

— Es muy difícil proyectar el beneficio a futuro empleando series históricas. De hecho, como pusieron de manifiesto estudios académicos posteriores (Kallberg y Ziemba[6], 1983, Jobson y Korkie[7], 1980) la determinación del retorno medio es un factor mucho más crítico en el modelo M-V que la covarianza entre activos. Los errores de estimación de la media son hasta 20 veces más importantes que los errores en la desviación.
— La normalidad del retorno es otro de los elementos que suscitan gran controversia. Este supuesto del modelo M-V, que procede de la hipótesis del *Random walk* o Teoría Eficiente de los mercados, se asienta en la idea de que los precios de los activos siguen un paseo aleatorio en el tiempo, por lo que su beneficio medio (en días, semanas o meses) está normalmente distribuido. Ahora bien, se ha demostrado que muchos activos se mueven en rachas o tendencias de gran amplitud que generan largas colas en la distribución del retorno, apartándose tres desviaciones o más de la media.
— Aunque la correlación entre activos se ha mostrado más estable y predecible que el retorno, también genera un problema práctico, sobre todo en carteras de gran tamaño: El cómputo de los porcentajes de asignación a partir de una inmensa matriz de varianzas y covarianzas es complicado y arroja resultados cada vez más imprecisos a medida que aumenta el tamaño. Con todo existen algunas simplificaciones como la propuesta por Sharpe en 1963. También existen optimizadores cuadráticos para el cómputo M-V a gran escala[8].

No me extenderé más con este asunto. Bástenos señalar que, pese a sus deficiencias, el modelo M-V ha contado —y en buena medida aún cuenta— con el favor del mundo académico y de la industria financiera. Proporciona un marco intuitivo y coherente para tomar decisiones de inversión y balancear portfolios sencillos. Sin embargo, cuando nos adentramos en la

[4] Adam A., Houkari M. and Laurent J.P. (2008), "Spectral Risk Measures and Portfolio Selection", *Journal of Banking and Finance* (32) pp. 1870-1882.
[5] Buraschi A., Kosowski R. and Trojani F. (2010), "When There Is No Place to Hide: Correlation Risk and the Cross-Section of Hedge Fund Returns", *Review of Financial Studies* (27) pp. 581-616.
[6] J. G. Kallberg y W. T. Ziemba (1983) "Comparison of Alternative Utility Functions in Portfolio Selection Problems", Management Science, vol. 29, pp. 1257 – 1276.
[7] Jobson, J.D., and Korkie, B. (1980) "Estimation for Markowitz efficient portfolios", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 75, No. 371, pp. 544-554.
[8] Hirschberger, M., Qi Y. y Steuer R.E. (2008) "Large-Scale MV Efficient Frontier Computation via a Procedure of Parametric Quadratic Programming" *Journal Decision Support Systems* (51) pp. 250-255.

gestión alternativa y la construcción de carteras que incorporan productos derivados y sistemas de trading cuantitativo, se hace preciso buscar nuevas metodologías y herramientas.

Un planteamiento diferente, nacido también en la década de los 50, busca aumentar el capital a la mayor tasa de crecimiento posible, o lo que es lo mismo, maximizar la media geométrica del retorno de la cartera. De este modo, la función de utilidad renuncia a balancear el riesgo y asume que un "inversor racional" elegirá la combinación de activos con la que obtenga el valor más alto de la riqueza terminal[9]. Por simplificar, podemos situar el origen de este segundo enfoque en John Kelly (1956) y su determinación, en juegos de azar, de la fracción óptima a apostar para maximizar el beneficio esperado. Descubrió que existe una proporción óptima de capital que el jugador puede arriesgar en cada apuesta (lo que de aquí en adelante se conocerá como Criterio de Kelly): Conociendo la esperanza matemática (TA) del juego y el ratio entre apuestas ganadoras y perdedoras (WL), podemos determinar la facción óptima a arriesga como: F = TA/WL. Si el juego se compone de una secuencia *n* de apuestas ese valor de "f" será el que maximice la media geométrica de las apuestas y, en consecuencia, el que nos garantice en mayor retorno esperado. Este planteamiento posteriormente sería adaptado por por Ralph Vince[10] (1990) al caso del trading y la especulación bursátil.

Al margen del juego y la especulación, primero Latane[11] (1959) y luego otros autores como Breiman[12] (1961) o Hakansson[13] (1971) adaptaron la maximización de la media geométrica (GMM) al caso de la optimización y balanceo de carteras de acciones. Latane llegó a la conclusión de que la maximización de la media geométrica es un criterio de utilidad perfectamente válido para un inversor racional, ya que estaría maximizando la probabilidad de que en un horizonte terminal su cartera obtenga la máxima rentabilidad entre todas las combinaciones posibles de un conjunto dado de activos. Una vez establecida formalmente esta propiedad de los portfolios GMM, diversos autores han tratado de estimar el tiempo que se necesita para estar "razonablemente" seguros de que el modelo GMM bate a cualquier otro modelo de cartera[14]. Estudios posteriores buscaron soluciones de compromiso entre los

LA MAXIMIZACIÓN DE LA MEDIA GEOMÉTRICA ES UN CRITERIO DE UTILIDAD PERFECTAMENTE VÁLIDO PARA UN INVERSOR RACIONAL

[9] H. Letane demostró que, de todos los portfolios posibles, aquel que maximiza la riqueza terminal (al final del horizonte inversor) es siempre -con probabilidad igual a 1- el portfolio con la media geométrica más alta. Véase: "Criteria for Choice Among Risky Ventures", *Journal of Political Economy* (1959) pp. 144-155.

[10] Vince, R. (1990) *Portfolio Management Formulas: Mathematical Trading Methods for the Futures, Options, and Stock Markets*, Wiley & Sons.

[11] Latane, H. (1959). "Criteria for Choice Among Risky Ventures." *Journal of Political Economy* (67) pp. 144-155.

[12] Breiman, L. (1961). "Optimal Gambling Systems for Favorable Games." *Fourth Berkeley Symposium on Probability and Statistics* (1) pp. 65-78.

[13] Hakansson, N. (1971). "Capital Growth and the Mean-Variance Approach to Portfolio Selection." *Journal of Financial and Quantitative Analysis* (6) pp. 517-557.

[14] Aucamp, D. (1993) "On the extensive number of plays to achieve superior performance with the geometric mean strategy", *Management Science* 39 (9) pp. 1163-1172.

modelos M-V y GMM y también se desarrollaron interesantes propuestas[15] para determinar la Frontera Eficiente en portfolios tipo GMM.

Es bastante conocida la controversia que surgió en el mundo académico entre ambos enfoques, pero visto en retrospectiva tampoco fue para tanto. Paul Samuelson[16] (1963) fue el más crítico al aducir que no es lo mismo para un "inversor racional" maximizar el retorno que maximizar la función de utilidad. Y, efectivamente, balancear el retorno en función de la aversión al riesgo o, lo que es lo mismo, elegir el punto de la Frontera Eficiente que se corresponda con las preferencias de cada inversor tipo parece la opción más coherente. Pero claro, ese planteamiento solo es compatible con intereses cuadráticos y con un modelo M-V de periodo único. Si el inversor, como señaló incluso el propio Markowitz[17], contempla periodos indefinidamente largos y la reinversión del retorno mediante rebalanceos periódicos, la opción mejor es el modelo GMM. Con todo, también reclamó prudencia al recomendar no seleccionar portfolios con media aritmética y varianza iguales o superiores a los obtenidos maximizando la media geométrica. A la obsesión por maximizar la función de utilidad como elemento central de la Teoría de Carteras, ya había respondido una década antes A. Roy[18] con las siguientes palabras el mismo año que Markowitz dio a conocer su modelo:

> SEGÚN SAMUELSON NO ES LO MISMO PARA UN "INVERSOR RACIONAL" MAXIMIZAR EL RETORNO QUE MAXIMIZAR LA FUNCIÓN DE UTILIDAD.

> "Al llamar a una función de utilidad en nuestra ayuda, se logra una apariencia de generalidad a costa de una pérdida de significación práctica y de aplicabilidad en nuestros resultados. Un hombre que busca consejos sobre sus acciones no estará agradecido por la sugerencia de que debe maximizar la utilidad esperada. "

J. Estrada[19] (2010) denomina con gran acierto "Portfolio S" o SRM[20] al tipo de cartera que se puede obtener balanceando conforme al modelo M-V y "Portfolio G" o GMM[21] a aquella combinación de activos que maximiza la media geométrica. Seguidamente, y combinando los planteamientos de diversos autores, vamos a resumir en una tabla las ventajas y desventajas de cada modelo de cartera:

[15] Véase por ejemplo: Bernstein, W. y David W. (1997). "Diversification, Rebalancing, and the Geometric Mean Frontier." Unpublished manuscript. http://www.effisols.com/basics/rebal.pdf
Estos autores desarrollaron la aplicación MVO Plus (http://effisols.com/mvoplus/index.htm) que puede calcular la frontera eficiente para los modelos MV y GGM y hacer rebalanceos multiperiodo.
[16] Samuelson, P. (1963). "Risk and Uncertainty: A Fallacy of Large Numbers." *Scientia*, 1-6.
[17] Markowitz, H.(1959). *Portfolio Selection. Efficient Diversification of Investments*. John Wiley & Sons.
[18] Roy, A. (1952). Safety first and the holding of assets. *Econometrica* 20 (3) pp. 431-449.
[19] J. Estrada (2010) "Geometric mean maximization: an overlooked portfolio approach?" *Journal of Investing,* vol. 19, no. 4, pp. 134–147. Este artículo es una excelente revisión de los modelos MV y GGM, situando el debate entre ambos planteamientos en su perspectiva histórica.
[20] SRM son las siglas de *Sharpe Ratio Maximization*, ya que se puede demostrar formalmente que el portfolio situado en la frontera con mejores propiedades es aquel que maximiza el ratio de Sharpe.
[21] GMM (*Geometric Mean Maximization*).

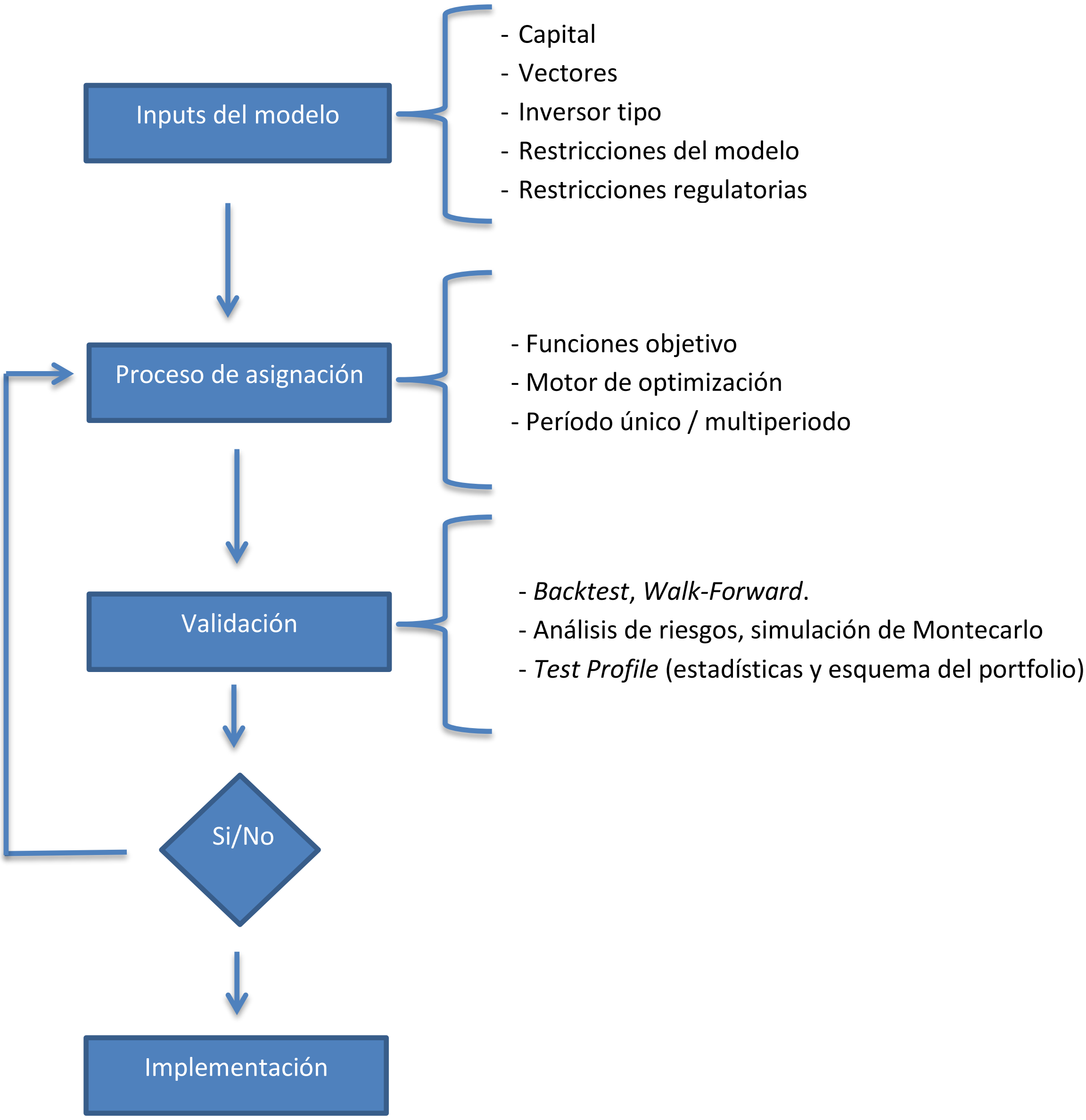
| Portfolio M-V | Portfolio GMM |
|---|---|
| El esquema M-V o rentabilidad esperada por unidad de riesgo, permite seleccionar de manera sencilla carteras para diferentes perfiles de aversión al riesgo. | No es eficiente en términos de media y varianza. Genera mayor volatilidad. |
| La selección de carteras en la Frontera Eficiente facilita la toma de decisiones de asignación de activos; es intuitiva y sencilla. | La fracción de capital invertida en cada activo es independiente del capital disponible en cada período. |
| No es fácil una respuesta clara a la pregunta de qué portfolio de la Frontera se debe seleccionar. En la mayoría de los casos, elegir el que maximice el ratio de Sharpe es la mejor opción. | La fracción de capital invertida en cada activo solo es proporcional al retorno generado por ese activo. No se tiene en cuenta el riesgo. |
| Estimar la rentabilidad futura y riesgo de los activos partiendo de series históricas resulta problemático. | Miopía: La estrategia de asignación es independiente del horizonte temporal. |
| Es un modelo de período único. No contempla la reinversión del beneficio ni el rebalanceo en el tiempo. | Si los activos son infinitamente divisibles la probabilidad de ruina es igual a 0. |
| La función de utilidad solo es aplicable partiendo de la base del periodo único e inversores con intereses cuadráticos. | Si de todos los activos hay al menos uno con retorno esperado positivo en cada período la probabilidad de ruina es también 0. |
| Se asume la infinita divisibilidad de los activos. En los mercados de acciones no hay problema porque la granularidad es alta, pero en los de derivados sí. | En el largo plazo el portfolio GMM obtiene mayor beneficio que cualquier otra estrategia aplicada sobre el mismo conjunto de activos. |
| Genera portfolios más estables y con menos riesgo en el corto plazo. | La estrategia es óptima en un contexto inversor que se acomoda a una función de utilidad logarítmica. |
| En el largo plazo se obtiene un beneficio terminal más pobre que con el modelo GMM. | La estrategia resulta más apropiada cuanto mayor es el horizonte inversor. |
| Al optimizar maximizando el ratio de Sharpe se obtiene mayor diversificación que con el modelo GMM. | Los portfolios optimizados con el criterio de máximo crecimiento están en general menos diversificados. |

## OPTIMIZACIÓN DE PORTFOLIOS DE SISTEMAS.

Un portfolio o programa sistemático es una estructura de inversión que combina estrategias cuantitativas de trading aplicadas a diferentes tipos de activos (acciones, ETFs, futuros, opciones, etc.) Llamamos vector de inversión ($V_i$) al binomio sistema/activo. Cada $V_i$ tienen un histórico de operaciones del que extraemos las estadísticas básicas igual que si se tratase de un producto cotizado y que utilizamos para balancear la cartera. Por tanto, desde la Teoría de Carteras, no hay diferencia entre balancear un portfolio de sistemas o de cualquier otra clase de activos. Sin embargo, cuando los sistemas se aplican a productos derivados hay que tener en cuenta dos características inherentes a estos productos: El apalancamiento y la granularidad. Trabajar con estructuras apalancadas implica asumir niveles de riesgo más altos por unidad de capital invertida y, la menor granularidad, impide una asignación tan precisa como en el caso de las acciones. El efecto de la escasa granularidad es más palpable en programas poco capitalizados.

> UN PORTFOLIO O PROGRAMA SISTEMÁTICO ES UNA ESTRUCTURA DE INVERSIÓN QUE COMBINA ESTRATEGIAS CUANTITATIVAS DE TRADING APLICADAS A DIFERENTES TIPOS DE ACTIVOS.

Un modelo de optimización típico respondería al siguiente esquema:




Los *inputs* del modelo son los condicionantes que determinan *a priori* el tipo de cartera que se puede construir. Las limitaciones de capital afectarán al tipo de sistemas y activos con los que se podrá trabajar. Esto es aún más crítico en la operativa con futuros. Cada vector de inversión requiere un capital que estará determinado por las garantías exigidas para operar ese producto y por el *drawdown* (DD) del sistema. En este contexto entendemos por "granularidad" la unidad de asignación para cada vector o capital mínimo para operarlo con un contrato. Cuando el portfolio es poco granular resultará muy difícil lograr un nivel de diversificación satisfactorio y un proceso de asignación eficiente con capitales pequeños.

> CUANDO EL PORTFOLIO ES POCO GRANULAR RESULTARÁ MUY DIFÍCIL LOGRAR UN PROCESO DE ASIGNACIÓN EFICIENTE CON CAPITALES PEQUEÑOS.

Las estrategias a implementar dependerán de factores como las tecnologías disponibles, las características de los mercados en los que se va a operar y el enfoque estratégico del propio gestor. En la gestión profesional los vectores posibles también se ven afectados por cuestiones regulatorias específicas de cada producto como el apalancamiento permitido, la posible prohibición de posiciones cortas, el uso de determinado tipo de órdenes o las limitaciones sobre operativa con derivados.

Por otra parte, toda cartera se construye para satisfacer las demandas de un determinado perfil inversor. Cada perfil se caracteriza por un nivel de aversión al riesgo, una expectativa de beneficio y un horizonte de la inversión. Teniendo en cuenta estos condicionantes se construye una cartera o programa modelo que satisface las demandas de un grupo específico de inversores. Cada vector de esa cartera podrá tener un riesgo superior o inferior siempre y cuando no se sobrepase el riesgo global especificado para el conjunto. Esto afecta de manera significativa al proceso de asignación y obliga a establecer restricciones en la ponderación máxima y mínima tanto en grupos de activo como en activos o vectores individuales.

TODA CARTERA SE CONSTRUYE PARA SATISFACER LAS DEMANDAS DE UN DETERMINADO PERFIL INVERSOR.

## PROCESO DE ASIGNACIÓN

El proceso de asignación es la estrategia de ponderación diseñada para optimizar el beneficio y diluir el riesgo, diversificando el capital en diferentes proporciones entre todos los vectores disponibles.

En carteras medianas y grandes es un proceso complejo que requiere la utilización de *software* específico. Actualmente hay dos tendencias:

a) **Aplicaciones propietarias**.- Son programas de optimización de carteras desarrollados por empresas para uso particular o corporativo. La diversidad es enorme; desde aplicaciones centradas en un modelo de asignación específico que trazan la Frontera Eficiente y poco más, hasta sofisticadas herramientas que permiten balancear un número ilimitado de productos, incorporar todo tipo de restricciones y aplicar criterios múltiples. Algunas permiten también rebalanceos periódicos, análisis de riesgos y proyección a futuro del retorno esperado. Ejemplos de este grupo serían *Optifolio*[22] y *Morningstar Direct*[23].

*b)* **Plataformas abiertas de programación y análisis estadístico**.- En el ámbito de la investigación destacan dos plataformas que se han convertido en un standard para el mundo académico: MATLAB y R. Del primero destacamos el complemento *Portfolio Optimization*[24] que incorpora un completo conjunto de herramientas para el balanceo

[22] http://www.risk-o.com/optifolio_es.php
[23] http://www.morningstar.com/company/direct
[24] https://es.mathworks.com/discovery/portfolio-optimization.html

de carteras, análisis de riesgos, motores de optimización para el cálculo de la Frontera Eficiente según el modelo M-V y el CVaR, determinación de objetivos múltiples y rebalanceo. Pero sin duda, la mayor diversidad de aplicaciones para optimización de portfolios la encontramos en el entorno R que, al tener una estructura de código abierto y distribuirse bajo licencia GNU GPL, está ampliamente extendido en el mundo académico. Por su calidad y pertinencia para este artículo destacamos los siguientes proyectos:

- *PortfolioAnalytics*[25].- Es un paquete de utilidades para la optimización de portfolios que incluye varios procedimientos de asignación y rebalanceo de activos. Se pueden realizar optimizaciones complejas; objetivos y escenarios, restricciones de todo tipo y análisis de riesgos.
- *PerformanceAnalytics*[26].- Este paquete contiene una amplia colección de funciones para el análisis de la rentabilidad y el riesgo en todo tipo de portfolios. Incluye funciones avanzadas para analizar retornos que no están distribuidos normalmente y numerosos ratios econométricos.
- *fPortfolio*[27].- Completísima colección de funciones para optimizar carteras y realizar diversos tipos de *backtests*. Calcula y grafica la Frontera Eficiente por diferentes métodos e incluye otros modelos de asignación.
- *FRAPO*[28].- Paquete de funciones de optimización y análisis de portfolios contenidos en el libro de Bernhard Pfaff[29] (2016).
- *ROML*[30].- Entorno para la resolución de problemas avanzados de optimización de portfolios. Su principal aportación es que incluye un lenguaje algebraico de optimización.
- *PortfolioEffectHFT*[31].- Paquete específicamente construido para el mundo HFT. Permite realizar asignaciones dinámicas y rebalanceos continuos en períodos intradiarios. Incluye herramientas para el auto calibrado del ruido en *time frames* muy pequeños y la monitorización del riesgo en tiempo real.

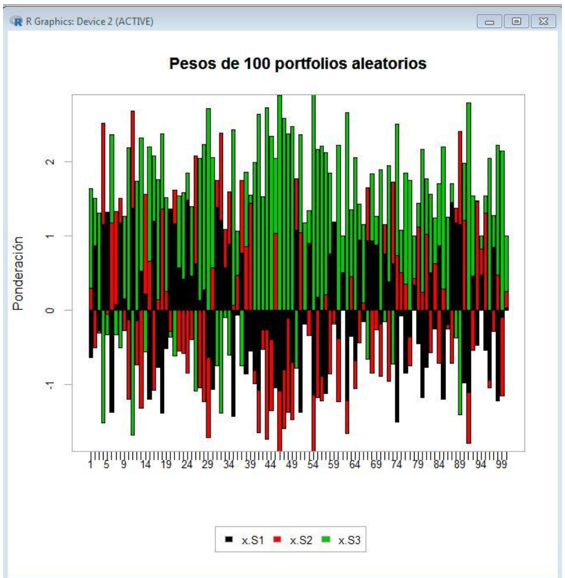
UN ELEMENTO CLAVE EN LOS PROCESOS DE ASIGNACIÓN Y REBALANCEO ES EL MOTOR DE OPTIMIZACIÓN.

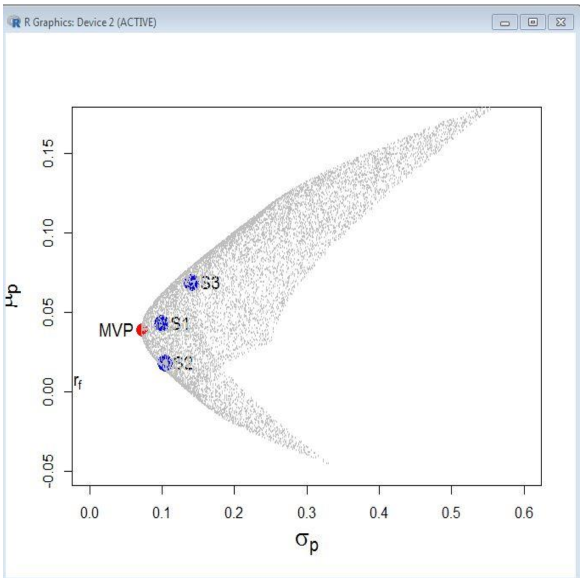
Un elemento clave en los procesos de asignación y rebalanceo es el **motor de optimización**. No todos los optimizadores sirven para resolver problemas de optimización de carteras. El uso de optimizadores genéricos consume mucho tiempo con problemas complejos en los que intervienen demasiados parámetros y objetivos múltiples. A menudo se obtienen resultados poco realistas o erróneos debido al uso de un método de optimización inadecuado. Los problemas de optimización de

[25] https://cran.r-project.org/web/packages/PortfolioAnalytics/index.html
[26] https://cran.r-project.org/web/packages/PerformanceAnalytics/index.html
[27] https://cran.r-project.org/web/packages/fPortfolio/index.html
[28] https://cran.r-project.org/web/packages/FRAPO/index.html
[29] Pfaff B. (2016) Financial *Risk Modelling and Portfolio Optimisation with R,* Wiley*,* Nueva York.
[30] https://r-forge.r-project.org/R/?group_id=2199
[31] https://cran.r-project.org/web/packages/PortfolioEffectHFT/index.html

carteras requieren alguno de estos métodos de optimización: Cuadrático, lineal o vectorial, no lineal (tipo GNR), estocástico o evolutivo y generador aleatorio de carteras.

Por ejemplo, los problemas de asignación con el modelo M-V y la determinación de la Frontera Eficiente requieren un optimizador cuadrático, si utilizamos como función objetivo el CVaR o el Ratio Rachev será más eficiente una optimización lineal y si optimizamos con el ratio Omega será preciso utilizar un optimizador estocástico o evolutivo. Muchos de estos problemas y otros que no caen en estos grupos pueden resolverse por el procedimiento de los “portfolios aleatorios”[32]. Básicamente se trata de generar permutaciones aleatorias de los porcentajes de asignación que satisfagan las restricciones del modelo. El conjunto resultante de carteras puede estar formado por miles o cientos de miles de portfolios alternativos y daría lugar a gráficos como estos[33]:




La principal ventaja de esta técnica es que permite rastrear todas las carteras posibles en el espacio de búsqueda de un problema de optimización específico y no solo el subconjunto de carteras situado en la Frontera Eficiente o aquella única combinación de activos que maximiza el criterio diana elegido.

LA PRINCIPAL VENTAJA DE LA TÉCNICA DE LOS PORTFOLIOS ALEATORIOS ES QUE PERMITE RASTREAR TODAS LAS CARTERAS POSIBLES EN EL ESPACIO DE BÚSQUEDA DE UN PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN ESPECÍFICO.

[32] Sobre este tema véase por ej.: Patrick Burns y su plataforma: *Portfolio Probe.* http://www.portfolioprobe.com/about/random-portfolios-in-finance/

[33] La imagen superior se ha obtenido permutando únicamente tres activos (S1, S2, S3). El punto rojo es el portfolio de mínima varianza global (MVP). Cada uno de los 2000 puntos grises es un portfolio aleatorio con pesos distintos de cada activo. En el gráfico de la izquierda pueden verse los pesos relativos de 100 portfolios cogidos al azar.

## CRITERIOS DIANA O FUNCIONES OBJETIVO.

Capítulo aparte merece el análisis de los distintos criterios de optimización. Cada criterio o función objetivo debe ser consecuente con los *inputs* del modelo o planteamientos generales a los que responde la construcción del portfolio. Por ejemplo, para un inversor tipo con intereses cuadráticos y que quiera maximizar la función de utilidad del modelo M-V, el criterio para balancear la cartera será el ratio de Sharpe. Para otro con menor aversión al riesgo, un horizonte temporal mayor y que no quiera reinvertir el beneficio utilizaremos un ratio que priorice el retorno (como el Omega) y un enfoque de período único. Si el inversor es aún más agresivo y busca componer muy deprisa reinvirtiendo el beneficio en un horizonte temporal indefinido nos iríamos al MMG multiperíodo con política de rebalanceos trimestral o mensual.

> CADA CRITERIO O FUNCIÓN OBJETIVO DEBE SER CONSECUENTE CON LOS INPUTS DEL MODELO O PLANTEAMIENTOS GENERALES A LOS QUE RESPONDE LA CONSTRUCCIÓN DEL PORTFOLIO.

En este punto conviene aclarar un concepto: Un *enfoque multiperíodo* implica que el beneficio se reinvierte a perpetuidad y que los rebalanceos se hacen con el capital generado al final cada periodo. Por el contrario, en un *enfoque de período único* el inversor hace retiradas periódicas o el fondo reparte el beneficio obtenido como dividendo. Se hacen balanceos para mantener el portfolio alineado con los objetivos iniciales del programa (por ej. en términos de riesgo o diversificación), pero no con el propósito de componer el retorno.

Veamos pues los principales criterios a utilizar:

a) *Optimización M-V*:

Siendo el Retorno Esperado ($\mu_p$), la varianza ($\sigma^2_p$) y el activo libre de riesgo ($R_f$) el problema de optimización consistiría, como hemos visto, en maximizar el ratio de Sharpe ($SR_p$), de tal modo que:

Max P {$w*x_1$, $w*x_2$…$w*X_n$)

$$SRp = \frac{\mu p - \mathrm{Rf}}{\sigma p}$$

Y sujeto a: $\sum_{i=1}^{n} = 1$ y todo $x_i \geq 0$

También se puede obtener un portfolio eficiente minimizando la varianza ($\sigma^2_p$) para un nivel de retorno esperado (o a la inversa):

Min $\sigma^2_p$

s/a

$$\sum_{i=1}^{n} Rxi = \%R$$

$\sum_{i=1}^{n} =$ 1 y todo $x_i \geq 0$

b) *Optimización GMM*:

Para optimizar la media geométrica partiendo de la media aritmética ($\mu_p$) y la varianza ($\sigma^2_p$) de las rentabilidades empíricas en series históricas podemos emplear la siguiente expresión logarítmica:

Max P {$w*x_1$, $w*x_2$…$w*X_n$)

$$GM_p \approx \{\ln(1+\mu_p) - \frac{\sigma(p)^2}{2*(1+\mu p)^2}\}$$

s/a

$\sum_{i=1}^{n} =$ 1 y todo $x_i \geq 0$

Bernstein y David W (1997) proponen la siguiente fórmula simplificada para la media geométrica, aunque es una aproximación con resultados más imprecisos:

$$G \approx \mu_p - \frac{\sigma(p)^2}{2*(1+\mu p)}$$

c) *Optimización MVG (Mínima varianza global):*

La cartera MVG es la que presenta la varianza mínima posible, con independencia der retorno esperado. Esto implica resolver el siguiente problema de optimización:

Min $\overline{W}$ = $w'\sum w$

Siendo $\overline{W}$ el vector de los pesos asignados a cada activo y $\sum$ la matriz de covarianzas.

s/a

$$\sum_i wi = 1$$

$$\forall i \; 0 \leq wi \leq 1$$

*d) Optimización DR (Diversification Ratio).*

En este modelo establecemos como criterio de asignación la máxima diversificación global de la cartera. Para ello seguimos el enfoque de Yves Choueifaty[34] que propone el *Diversification Ratio* (DR) como estimador que mide la volatilidad media ponderada por tamaño frente a la volatilidad general de la cartera:

$$DR = \frac{\mathrm{w}'\sigma}{\sqrt{\mathrm{w}'\Omega\mathrm{w}}}$$

Siendo:

*w* la matriz de ponderaciones, σ el vector de volatilidades y w'Ωw el producto de la matriz de covarianzas y ponderaciones.

Por tanto el problema de optimización es:

Max {DR}

s/a

$\sum_i wi = 1$ y $\forall i \; 0 \leq wi \leq 1$

e) *Optimización del riesgo máximo en términos de VaR y CVaR*.

En general minimizar cualquier función del riesgo $F_{(r)}$ de un portfolio es un problema de optimización con la siguiente estructura:

Min: $F_{(r)}$

s/a

$$\sum_{i=1}^{n} = 1$$

$$r \geq 0$$

El VaR (valor en riesgo) y el CVaR (valor en riesgo condicional) son dos de los estimadores del riesgo más empelados por las instituciones financieras. El VaR puede definirse como la pérdida más alta que puede ocurrir con un determinado nivel de confianza. Por ejemplo, si VaR = 500€ y el intervalo de confianza es del 0,95, entonces tenemos una probabilidad del 95% de no exceder una pérdida de 500€ en el período al que hace referencia el VaR (datos diarios, semanales, mensuales, etc.)

[34] Choueifaty, Yves, and Yves Coignard. “Toward Maximum Diversification.” *Journal of Portfolio Management*, Vol. 34, No. 4 (2008), pp. 40–51.

De este modo la expresión a minimizar sería:

$VaR_\alpha = \min\{r \in R : P(-R > r) \leq 1-\alpha\}$

Siendo: α el intervalo de confianza R el retorno de la cartera y –R la pérdida.

En la práctica, a partir de la serie del retorno el VaR es el valor situado en el percentil α de la serie:

$VaR_\alpha = \text{percentil}(\alpha, R)$

Para una distribución normal del retorno, el CVaR[35] podemos definirlo como:

$CVaR_\alpha = [-R \mid R \leq -VaR_\alpha]$, donde $R \in (\mu_p, \sigma^2_p)$

O lo que es lo mismo, la media ponderada de los valores situados en la cola derecha de la distribución a partir del valor de percentil (α, R).

$CVaR_\alpha = \sum_{R \leq VaR} R \,/\, \sum_{R \leq VaR} 1$

s/t

$CVaR < VaR > 0$

$\sum_i wi = 1$

*f) Optimización del ratio de Rachev*[36]

Es una medida tipo R/R en la que se compara la cola derecha de la distribución del retorno (*Expected Tail Return*) con la cola izquierda (*Expected Tail Loss*) en un intervalo de confianza similar al del VAR (0,05 < α > 0,95). Por tanto la expresión a maximizar sería:

$$R.Ratio = \frac{CVaR\alpha +}{CVaR\alpha -}$$

*s/t*

$\sum_i wi = 1$ y $\forall i \; 0 \leq wi \leq 1$

---

[35] Conocido también como *Mean Excess Loss*, *Mean Shortfall* y *Tail VaR.*

[36] Rachev, S., C. Menn, F. Fabozzi (2005) *Fat-Tailed and Skewed Asset Return Distributions: Implications for Risk Management, Portfolio Selection, and Option Pricing*. New Jersey: JohnWiley Finance.

*g) Optimización del ratio Omega*[37].

Se trata también de un ratio tipo R/R que se define como la probabilidad de las ganancias obtenidas respecto de las pérdidas a partir de un nivel que se considera como parámetro. Es decir se divide la distribución acumulada del retorno F(x) en dos tramos R < r > R de tal modo que:

$$\Omega(r) = \frac{\int_r^{\infty} 1 - F(x)\, dx}{\int_{-\infty}^{r} F(x) dx}$$

Dónde: r es el umbral de rentabilidad mínima exigida para cada operación o período (días, semanas, meses) en la serie de retornos. En muchos casos este parámetro queda fijo, con un valor de r=0,01. Una de las ventajas[38] de balancear con este ratio es que variando r en función de Ω podemos conseguir resultados equivalentes a los que se obtienen con otros ratios.

La optimización del ratio Ω es un problema de cómputo no lineal, por tanto las mejores herramientas de optimización son las estocásticas y evolutivas.

*h) Optimización del ratio de Calmar*[39].

Este ratio, conocido también como *Drawdown Ratio,* pertenece a la familia R/R y suele ser muy utilizado por la industria *Hedge Fund* y gestores alternativos. Se define como el cociente entre el retorno anualizado (AROR) y el DD máximo de un activo.

$$Calmar = \frac{AROR}{DDm}$$

Podemos optimizar un portfolio en términos de DDm para un nivel mínimo de rentabilidad esperada o realizar la asignación maximizando directamente el ratio.

## EL PORTFOLIO BENCKMARK

Para calibrar la calidad de una optimización con alguno de los criterios mencionados es preciso comparar su performance con la de otra carrera sin optimizar que llamaremos portfolio *benckmark*. Existen dos enfoques sobre su construcción: Algunos gestores prefieren emplear como *benckmark* carteras equiponderadas por riesgo (*Equal Risk Portfolio*). Si

PARA CALIBRAR LA CALIDAD DE UNA OPTIMIZACIÓN CON ALGUNO DE LOS CRITERIOS MENCIONADOS ES PRECISO COMPARAR SU PERFORMANCE CON LA DE OTRA CARRERA SIN OPTIMIZAR QUE LLAMAREMOS PORTFOLIO BENCKMARK.

[37] Keating C. y Shadwick W. (2002) “A Universal Performance Measure”, Finance Development Centre Limited, Londres.
[38] Véase mi artículo: “Rebalanceo de carteras sistemáticas y Ratio Omega” (abril-2013) Tradingsys.org.
[39] Young T. W. (1991) "Calmar Ratio: A Smoother Tool", *Futures Magazine* (Oct-1991).

bien el problema de este enfoque es que el riesgo de un activo —Por ejemplo medido por la *beta* en el caso de las acciones de un índice— es un parámetro muy volátil y hay que hacer continuos ajustes. Por ello la mayoría de los gestores utilizan como *benckmark* portfolios tipo 1/n o equiponderados por valor (*Equal Weighted Porfolios*). Esta práctica está muy extendida en la industria; existen índices equiponderados y productos invertibles como ETFs[40] que baten sistemáticamente a los índices convencionales.

Construir *benckmarks* de este tipo para carteras de acciones es muy sencillo, basta con asignar cantidades iguales y dividir por la cotización de cada valor para calcular el número de acciones de cada activo. En este caso la granularidad es máxima, incluso con cuentas poco capitalizadas. Sin embargo, al trabajar con portfolios de sistemas que operan con futuros la asignación en proporciones iguales será mucho más imprecisa. Lo primero que tendremos que calcular es la unidad de asignación o capital requerido por contrato para cada vector de inversión:

PARA DETERMINAR EL CAPITAL NECESARIO PARA OPERAR LA CARTERA SE TOMA COMO REFERENCIA EL DRAWDOWN DE MONTECARLO EN EL NIVEL DE PORTFOLIO.

$V_i = G + DDm * n$

Donde G son las garantías exigidas por el *broker* para cada producto y DDm es el drawdown máximo del sistema. Es conveniente tomar como referencia el DD obtenido en simulaciones de Montecarlo al 95% e incluir un factor de confianza *n* que expresa nuestro grado de certidumbre sobre el DDm. Este tipo de asignación, que denominaremos “Asignación Equiponderada por Simulación de Montecarlo” (AESM), incluye por tanto dos variables que habrá que considerar en los rebalanceos múltiples: G, cuyo valor puede aumentar o disminuir en el tiempo y DDm que solo puede aumentar.

Dado que entre los $V_i$ que forman la cartera existe diferente grado de correlación, el DD combinado suele ser más bajo que el de la suma de los $V_i$. Por ello para determinar el capital necesario para operar la cartera se toma como referencia el drawdown de Montecarlo en el nivel de portfolio.

## ESTUDIO DE CASO: OPTIMIZACIÓN DE UNA CARTERA SISTEMÁTICA CON OBJETIVOS MÚLTIPLES

Sea $S_p$ un portfolio que combina las 8 siguientes estrategias intradiarias y tipo swing cada una de las cuales opera en un mercado distinto:

[40] Uno de los más populares es el Guggenheim S&P 500 Equal Weight (RSP)

| Portfolio S (p) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 |
| Tipo | Intradía | Swing | Swing | Intradía | Intradía | Swing | Intradía | Swing |
| Mercado | ES | TF | YM | CAC40 | FESX | FDAX | FGBL | ZB |
| Nº Oper. | 1.600 | 620 | 570 | 1.350 | 2.100 | 590 | 1.400 | 720 |
| Fechas | 2008-15 | 2008-15 | 2008-15 | 2008-15 | 2008-15 | 2008-15 | 2008-15 | 2008-15 |
| Garantías | $2.375 | $3.200 | $2.450 | $1.900 | 1.200 | $8.900 | $1.125 | $2.500 |
| DD Montecarlo | $8.752 | $11.199 | $14.365 | $12.287 | $11.033 | $12.014 | $8.900 | $12.757 |
| x *n* | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,2 |
| Total contrato | $12.877 | $17.759 | $21.125 | $17.873 | $14.440 | $24.518 | $11.805 | $17.808 |

Partiendo de un capital de $300.000 y de las series históricas de las operaciones en base diaria del período: 2008-2015, vamos a construir cuatro carteras tipo que responden a los siguientes perfiles:

1.- *Alta aversión al riesgo:* Para lo que utilizamos el modelo de Mínima Varianza.

2.- *Aversión media: Maximizamos el Ratio Omega.*

3.- *Alta diversificación:* Para lo que optimizamos maximizando el *Diversification Ratio* (DR).

4.- *Equilibrio entre retorno y DDm*: Maximizamos el Ratio de Calmar.

El primer paso será construir la cartera alícuota o *benckmark* en la que el capital queda distribuido del siguiente modo:

| Portfolio benckmark ($300.000) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 |
| % Optimo | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% |
| Cap. Disponible | $37.500 | $37.500 | $37.500 | $37.500 | $37.500 | $37.500 | $37.500 | $37.500 |
| Cap. Contrato | $12.877 | $17.759 | $21.125 | $17.873 | $14.440 | $24.518 | $11.805 | $17.808 |
| Nº Contratos | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| Net AROR | 29,1% | 8,5% | 5,2% | 13,9% | 28% | 8,1% | 12,8% | 7% |
| Net Stdv. | 39,8% | 46,8% | 43,8% | 35,6% | 40,4% | 38,9% | 37,7% | 44,5% |

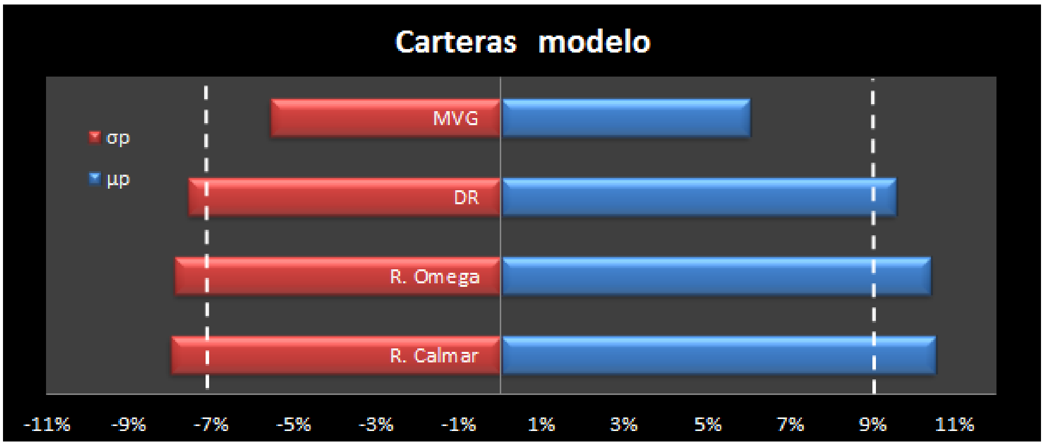
Seguidamente optimizamos el portfolio para cada uno de los escenarios descritos aplicando las siguientes restricciones y configuración general:

- Ponderación mínima: 3%
- Ponderación máxima: 40%

- Tolerancia de capital[41]: ±10%
- Algoritmo evolutivo
- Tipo de búsqueda: Profunda.[42]

El proceso de optimización es de período único y nos permite determinar si los criterios seleccionados satisfacen los objetivos del modelo y superan al portfolio *benchmark* en los ratios específicos que tratamos de maximizar para cada perfil inversor. También podemos comparar la eficacia de las carteras tipo generadas, pero en ningún caso debemos utilizar los resultados con carácter predictivo. El proceso de optimización es en sí mismo una evaluación *in-sample* y será necesario implementar una evaluación tipo *walk-forward para* comprobar que el vector de pesos asignados a los activos es consistente también en las regiones no optimizadas u *out-sample*. En la siguiente imagen podemos ver cada modelo de cartera en relación con la rentabilidad anualizada ($\mu_p$) y Riesgo ($\sigma_p$) del *benckmark* (líneas punteadas):

EL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN ES DE PERÍODO ÚNICO Y NOS PERMITE DETERMINAR SI LOS CRITERIOS SELECCIONADOS SATISFACEN LOS OBJETIVOS DEL MODELO



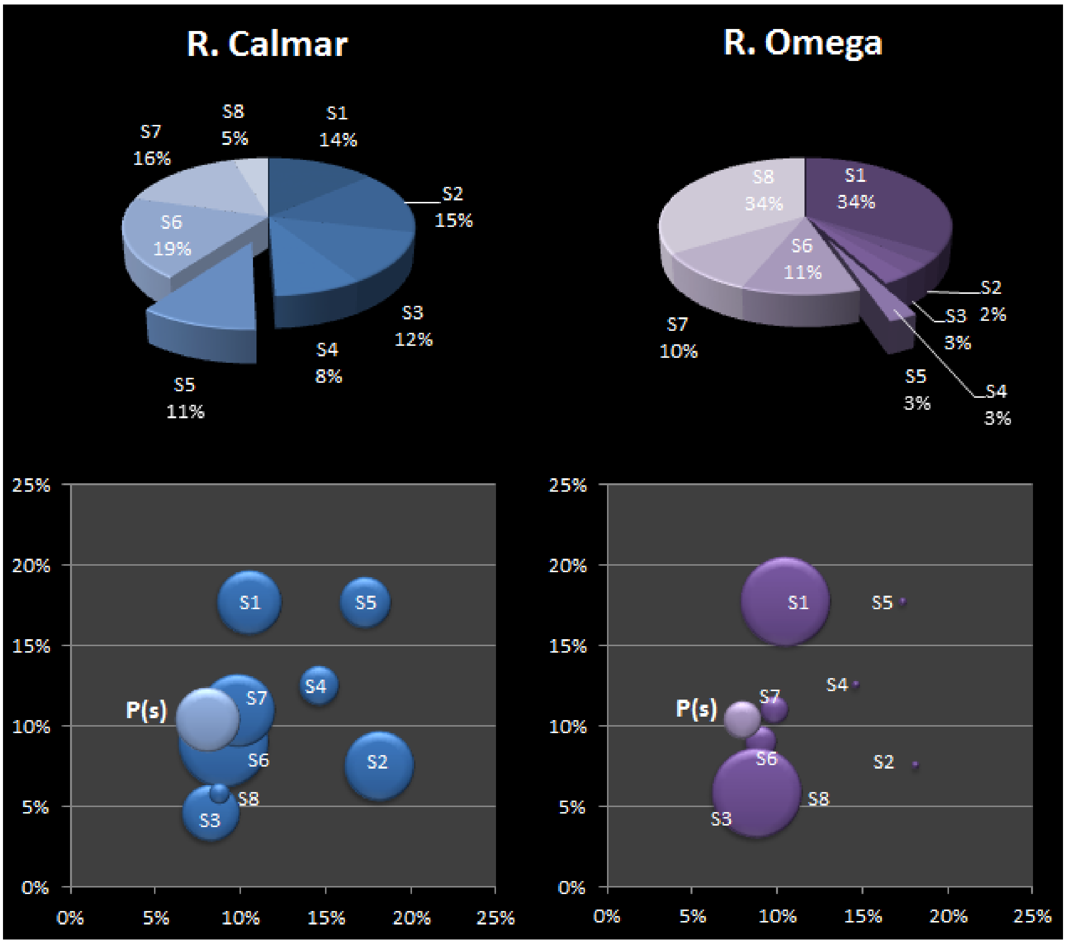

Estas son las estadísticas generales de cada modelo:

| Período de balanceo 2008-2015 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | % AROR | % A. Std. | % DDm. | % Win | P. Factor | Sharpe |
| R. Calmar | 10,51% | 8,01% | 10,71% | 56,91% | 1,46 | 0,59 |
| R. Omega | 10,42% | 7,90% | 14,98% | 57,48% | 1,44 | 0,47 |
| D.R. | 9,57% | 7,56% | 8,81% | 55,85% | 1,40 | 0,56 |
| MVG | 6,02% | 5,49% | 6,01% | 56,90% | 1,43 | 0,57 |

[41] Debido a la baja granularidad de los futuros se permite un redondeo del capital necesario por contrato. Con esto evitamos que los algoritmos nos den soluciones subóptimas cuando el capital disponible está en el entorno del capital exigido.
[42] Tiempo por escenario limitado a 120 s.

Con los ratios Calmar y Omega se obtienen rentabilidades muy similares (10,51% y 10,42%) para un nivel de riesgo similar. Sin embargo no se obtienen del mismo modo: La cartera Omega está mucho menos diversificada; la mayor parte del peso se concentra en tres activos mientras el resto tiene la ponderación mínima permitida (3%). En este escenario salta a la vista que para el gestor profesional resultará más atractiva la cartera Calmar que la Omega.

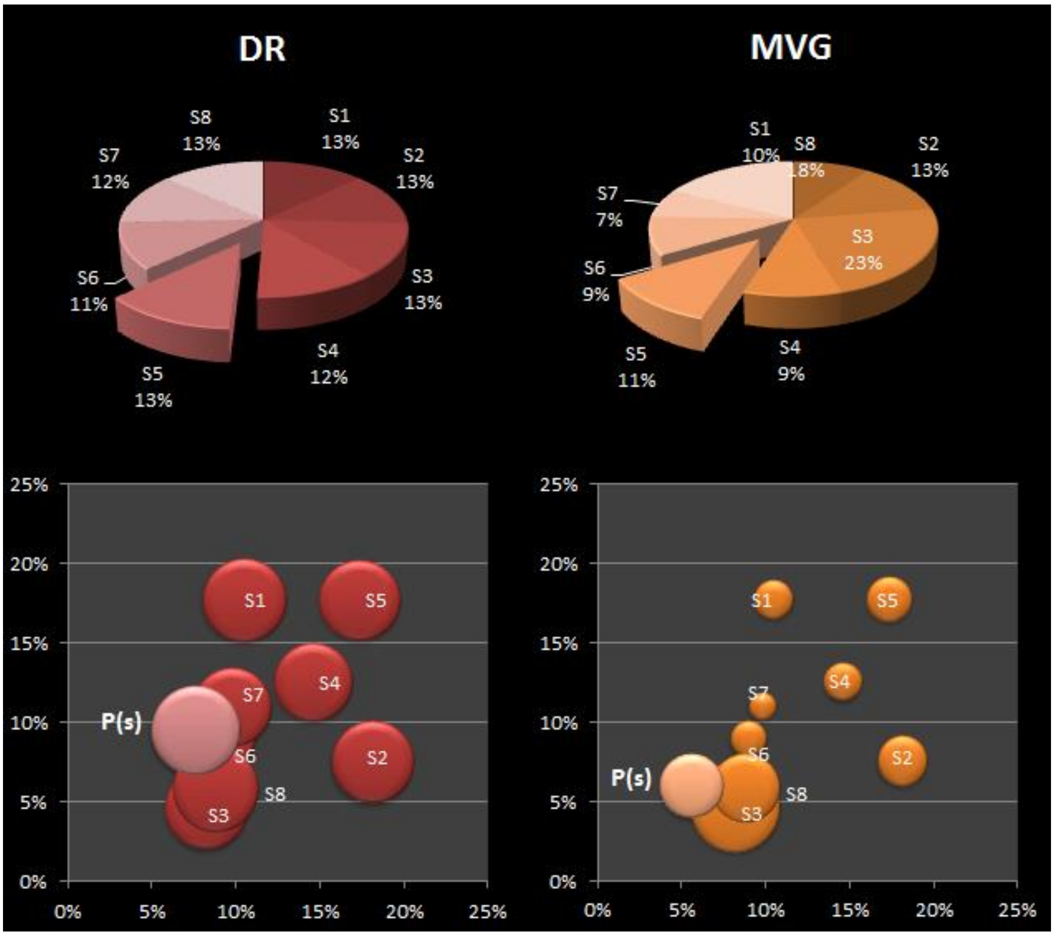
En los siguientes gráficos podemos ver los detalles del proceso de asignación y los pesos relativos de cada sistema en ambos portfolios:




El portfolio de máxima diversificación (DR) parece cumplir su propósito relativamente bien en términos R/R al asignar porcentajes a los activos con los que se consigue una disminución efectiva del *drawdown* máximo (DDm), una rentabilidad aceptable y una diversificación mucho mejor que con los dos anteriores ratios. De hecho, con una asignación próxima a la de la cartera *benckmark* consigue unos ratios ligeramente mejores.

EL PORTFOLIO DR PARECE CUMPLIR SU PROPÓSITO RELATIVAMENTE BIEN EN TÉRMINOS R/R AL ASIGNAR PORCENTAJES A LOS ACTIVOS CON LOS QUE SE CONSIGUE UNA DISMINUCIÓN EFECTIVA DEL DRAWDOWN.

Por último, el portfolio de máxima varianza global (MVG) consigue disminuir eficazmente el riesgo de la cartera medido por la desviación anualizada. Eso sí, el AROR ya no es tan atractivo:




En general observamos que cada ratio diana satisface globalmente el modelo de cartera para el que fue propuesto. Ahora bien, ¿podemos elegir uno que sea objetivamente mejor? Esta pregunta no tiene fácil respuesta. De hecho los términos “mejor” y “peor” dependen del tipo de cartera que queremos construir.

## REBALANCEO DEL PORTFOLIO Y WALK-FORWARD

Como ya hemos visto, las ponderaciones óptimas de una cartera van deteriorándose con el tiempo. Los activos pueden concentrar más riesgo, variar su correlación con otros activos o requerir una poción mayor/menor de capital. Por tanto, para garantizar que la composición de la cartera se mantiene alineada con los con los objetivos del modelo y con los intereses de los inversores se hace necesario implementar una

> LAS PONDERACIONES ÓPTIMAS DE UNA CARTERA VAN DETERIORÁNDOSE CON EL TIEMPO.

política de rebalanceos periódicos.

Existen diferentes métodos de rebalanceo (Carmichael[43], Jaconetti y Kinniry[44]) que podemos agrupar en tres categorías:

1.- *Calendar rebalancing.*- Rebalanceo periódico basado en intervalos temporales fijos (meses, trimestres, años). Este es el método más común y cuando se compara con otras estrategias dinámicas más sofisticadas casi siempre sale muy bien parado. El intervalo de rebalanceo estándar en los gestores de fondos tradicionales (renta variable y mixta) es el anual. Sin embargo, en programas inversores más agresivos también suele ser común el rebalanceo trimestral y mensual. La frecuencia del rebalanceo depende de factores como:

- Los gastos de transacción.
- La duración media de las operaciones.
- Las salidas y entradas de capital al fondo o programa inversor.
- El ciclo del mercado (mayor/menor volatilidad).
- La evolución de la propia cartera.

2.- *Volatility-based rebalancing*. Este método de rebalanceo se implementa cuando se desean mantener estables los pesos de los tipos o grupos de activos que forman parte de la cartera. De este modo, si la política de un fondo es mantener siempre una proporción: 20% RF, 40% RV nacional y 40 RV internacional se establece, por ejemplo, una banda de fluctuación del ±5% y cuando alguno de los grupos la rebasa se rebalancea la cartera.

3.- *Risk-based rebalancing.* En muchos casos (política del fondo, requisitos regulatorios) los gestores se ven obligados a no rebasar cierto nivel de riesgo permitido. De este modo rebalancean periódicamente los activos con el fin de reducir la exposición o desapalancarse cuando el porfolio se aproxima al umbral establecido. En este grupo estarían los *VaR-based portfolios*; cuando el valor en riesgo rebasa el nivel marcado por el estimador de confianza se procede a reajustar la cartera.

EL REBALANCEO EN EL TIEMPO DE UN PORTFOLIO PUEDE HACERSE SIGUIENDO EL ESQUEMA DE PERÍODO ÚNICO O DE PERIODOS MÚLTIPLES.

Por otra parte, el rebalanceo en el tiempo de un portfolio puede hacerse siguiendo el esquema de período único (no se reinvierte el beneficio) o de periodos múltiples (reinversión continua). En el primer caso se realiza la asignación de capital distribuyendo entre los diferentes vectores una cantidad fija en cada período. En el segundo, el gestor tiene más flexibilidad al poder redistribuir el beneficio entre los vectores disponibles incrementando su tamaño o incorporar progresivamente nuevos vectores.

[43] Carmichael I (2009) "Rebalancing a Comparison of methods" http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.520.5143&rep=rep1&type=pdf

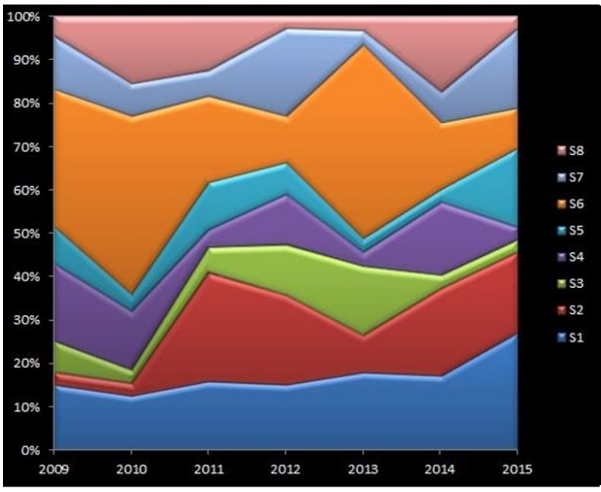
[44] Jaconetti C., Kinniry F. y Zilbering Y (2010) "Best practices for portfolio rebalancing", *Vanguard Research.* *https://www.vanguard.com/pdf/icrpr.pdf*

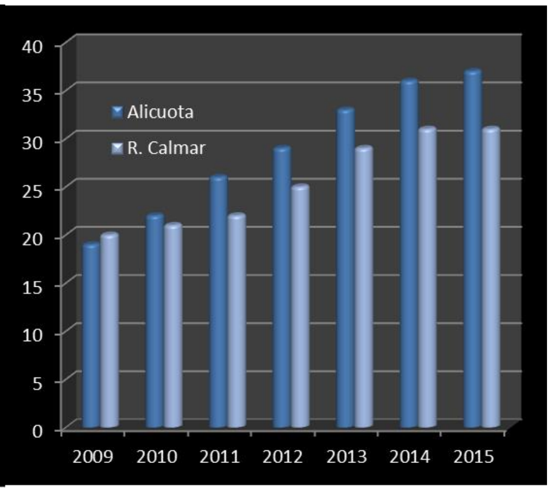
Con el portfolio sistemático descrito en el apartado anterior vamos a realizar un ejemplo de rebalanceo por períodos anuales. Utilizaremos el modelo de período múltiple, balanceando en cada corte anual el capital disponible al término del período anterior. El criterio diana será el ratio de Calmar.

Para que la simulación resulte más realista, utilizaremos el siguiente esquema *walk-forward* en el período 2008-2015:

a) Balanceamos la cartera con el capital inicial disponible hasta el 31 del 12 de 2008 y aplicamos los pesos asignados a cada vector al año 2009.
b) El último día hábil de 2009 se hace un nuevo balanceo con el capital disponible en esa fecha (capital inicial ± beneficio en 2008) y obtenemos los porcentajes de asignación y número de contratos con los que se empezará a operar el portfolio en 2010.
c) (…) El proceso continúa así hasta 2015.
d) La serie resultante 2009-2015 será el *Out-Sample* del portfolio.
e) No se han aplicado gastos. El modelo supone que entramos a operación cerrada. Es decir, esperamos a que cada sistema esté *flat* antes de incrementar o disminuir su peso en la cartera.

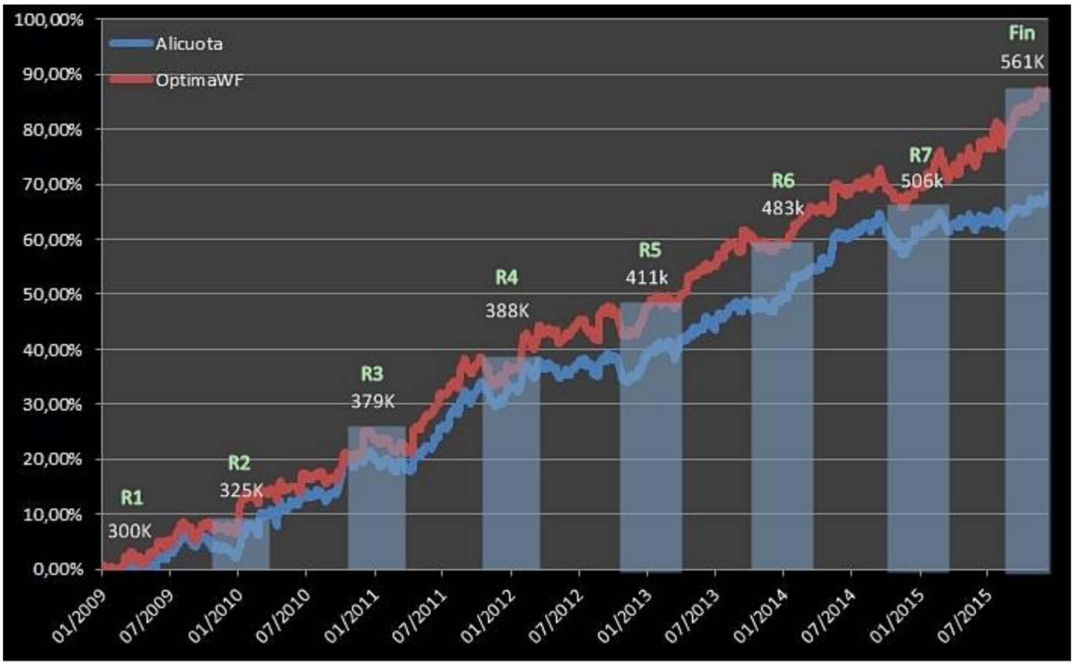
En la imagen inferior tenemos el gráfico de pesos de los sistemas por períodos balanceados con el R. Calmar y la evolución del número total de contratos en ambas series:




Como podemos ver, en determinados periodos algunos sistemas llegan al valor mínimo de asignación que es del 3%. Es muy recomendable balancear la cartera estableciendo un máximo y un mínimo para cada activo. De lo contrario, encontraríamos periodos bien con sistemas inactivos, bien con una excesiva concentración de capital. Y esto, además de ser inaceptable en la práctica, contravendría el principio central de toda teoría de carteras que es la diversificación como mecanismo para diluir el riesgo.

Seguidamente mostramos *equity curve* del portfolio *benchmark* (en azul) y del portfolio balanceado con el ratio Calmar (línea roja):




En cada corte temporal (R1…R7) hemos incluido la nueva cantidad a balancear al inicio de cada período. Con sistemas intradiarios o tipo swing de alta cadencia podríamos haber elegido un modelo de rebalanceo mucho más agresivo, con cortes trimestrales e incluso mensuales. En cualquier caso, bástenos lo expuesto hasta aquí como ejemplo ya que la dinámica a seguir es la misma.

Otra opción interesante podría ser combinar la asignación de período único con estrategias de gestión monetaria (MM) que optimicen de manera continua el tamaño de la posición, eligiendo para ello fórmulas consecuentes con los objetivos generales del portfolio o programa inversor. De este modo estaríamos combinando un enfoque estratégico y a largo plazo, centrado en los objetivos de construcción con un enfoque táctico o de operativa.

Lógicamente antes de implementar el portfolio debemos realizar una evaluación exhaustiva incluyendo simulaciones de Montecarlo, análisis de riesgos o de escenarios adversos[45], elaboración del *test Profile* y determinación del capital mínimo para operar la cartera, pero eso ya lo dejaremos para futuras entregas.

[45] Por ejemplo, mediante las técnicas del VaR y CVaR comentadas en otro artículo publicado en *Hispatrading*: "Nuevas métricas del riesgo y sus aplicaciones en portfolios de sistemas".