



**UNIVERSIDAD
DEL PACÍFICO**

Economía

Facultad de Economía y Finanzas

EL ROL DE LA INGENIERIA FINANCIERA EN LA INNOVACIÓN

**Trabajo de Suficiencia Profesional
presentado para optar al Título Profesional de
Licenciado en Economía**

**Presentado por
Jorge Alonso Rodríguez Palacios**

Lima, enero 2022

RESUMEN

Los proyectos intensivos en investigación y desarrollo (I+D) suelen tener problemas de acceso a capital en sus etapas iniciales de funcionamiento y cuando la economía enfrenta contracciones en el ciclo crediticio. Esto provoca que muchos proyectos, que podrían tener un alto impacto social, se vean truncados no por el desempeño de sus investigaciones sino por variables externas. Además, la principal fuente de financiamiento de estos proyectos suele estar limitada al mercado privado, en particular, a las *venture capital*. En este trabajo, se investiga la posibilidad de mejorar el financiamiento de esta clase de proyectos a través de la titulización de activos. Esta innovación financiera podría permitir obtener capital en el mercado público al ofrecer tramos de inversión con distintos niveles de riesgo y retorno que atraerían a una mayor variedad de inversionistas institucionales. Finalmente, en esta investigación se discute cuáles son las condiciones que podrían fortalecer los tramos de inversión de este instrumento titulado.

ABSTRACT

Research and development (R&D) intensive projects often have problems getting access to capital in their initial stages of operation and when the economy faces contractions in the credit cycle. Therefore, many projects, which could have a high social impact, are truncated not by the performance of their research but by external variables. Likewise, the main source of financing for these projects is usually limited to the private market, more specifically, to Venture Capital. This document investigates the possibility of improving the financing of this class of projects through securitization. This financial innovation could allow obtaining capital in the public market by offering investment tranches with different levels of risk and return that would attract various types of institutional investors. Finally, this research discusses the conditions that could strengthen the investment tranches of this securitized product.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	2
1. El problema actual de financiamiento	2
2. Titulización	3
2.1 Flujo de caja único al final	4
2.2 Flujos de caja durante el ínterin	6
2.3 Mejoras crediticias	7
3. Teoría del portafolio	9
3.1 Riesgo idiosincrático	9
3.2 Riesgo sistemático	10
CAPÍTULO II. EVIDENCIA EMPÍRICA.....	12
1. Retornos y riesgos del megafondo	12
1.1 Simulaciones: Flujo de caja único al final.....	12
1.2 Simulaciones: Flujos de caja durante el ínterin	14
1.3 Simulaciones: Correlaciones, garantías y requerimientos de cobertura.....	16
1.4 Productos similares al RBO en el mercado financiero	18
2. Retos persistentes.....	19
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	20
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Inversión de las VC en la etapa inicial.	25
Gráfico 2: Flujos de caja del proyecto.	25
Gráfico 3: Distribuciones de probabilidad y casos exitosos por número de proyectos agrupados.	26
Gráfico 4: Distribuciones de probabilidad e ingresos por proyecto.	27
Gráfico 5: Distribución de flujos de caja a distintos tramos.	28
Gráfico 6: Ejemplo de titulización.	28
Gráfico 7: Proyectos con flujos de caja intermedios.	29
Gráfico 8: Titulización en dos simulaciones.	30
Gráfico 9: Riesgo idiosincrático y riesgo sistemático.	30
Gráfico 10: Coeficientes betas de la industria de biotecnología y la industria farmacéutica con ventanas móviles de 500 días (03 enero de 1996 – 24 noviembre de 2021).	31
Gráfico 11: Distribución de número de proyectos exitosos usando cópula gaussiana.	32
Gráfico 12: Compañías de regalías biofarmacéuticas.	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tasas acumuladas de incumplimiento promedio globales corporativas (1981-2020) (%).....	33
Tabla 2: Número de proyectos exitosos con probabilidad de éxito individual de 10% y 150 proyectos independientes.....	33
Tabla 3: Resultados de simulaciones de titulización con flujos de caja al final.....	34
Tabla 4: Número de proyectos exitosos con probabilidad de éxito individual de 10%, 150 proyectos independientes y una correlación entre activos de 5%.	35
Tabla 5: Resultados de simulaciones de una titulización en dos etapas.....	35
Tabla 6: Simulación de un megafondo compuesto únicamente por proyectos que busquen combatir enfermedades raras.	36
Tabla 7: Simulación con distintos montos de garantías y niveles de correlación en un portafolio de enfermedades raras sin requerimiento de coberturas.....	36
Tabla 8: Simulación con distintos montos de garantías y niveles de correlación en un portafolio de enfermedades raras con requerimiento de coberturas.....	37

INTRODUCCIÓN

¿Cómo la ingeniería financiera puede ayudar a financiar proyectos intensivos en investigación y desarrollo (I+D) que buscan, por ejemplo, crear curas contra enfermedades, mejorar la generación de energía limpia, mitigar el impacto del cambio climático e inclusive explotar materias primas de asteroides? Estos proyectos comparten cuatro características en común: baja probabilidad de éxito, alta inversión inicial, largo periodo de gestación y alto retorno en caso de éxito (Hull, Lo, & Stein, 2019).

En la práctica, la escala de estos proyectos, así como su duración y baja probabilidad de éxito provocan que sean difíciles de financiar desde etapas tempranas y esto crea lo que en la literatura se conoce como “valles de la muerte”. En esta situación las empresas no obtienen financiamiento durante lapsos de tiempo en etapas tempranas de I+D y son propensas a quebrar (Fagnan, Fernandez, & Lo, 2013).

Las empresas de capital de riesgo o *venture capital* (VC) han sido tradicionalmente la fuente principal de financiamiento de esta clase de empresas; sin embargo, diversos factores, como la preferencia por activos con mejores retornos ajustados por riesgo y que generen flujos de caja, han causado que las VC reduzcan su participación en la etapa temprana de crecimiento (Scannell, Blanckley, Boldon, & Warrington, 2012; Fagnan, Fernandez, & Lo, 2013). Por este motivo, el nivel de capital requerido para financiar estas empresas suele superar con creces el capital disponible de fuentes tradicionales (Hull, Lo, & Stein, 2019).

Sin embargo, la titulización (*securitization* en inglés) es una herramienta de la ingeniería financiera que puede facilitar la financiación de los proyectos anteriormente mencionadas a través de la reducción de riesgo idiosincrático al agrupar proyectos con probabilidades de éxito poco correlacionadas. Asimismo, atrae un mayor número de inversionistas institucionales porque, además de mejorar la liquidez, permite escoger distintos tramos de riesgo y comprar participaciones en el mercado público en lugar del mercado privado (Fernandez, Stein, & Lo, 2012; Hull, Lo, & Stein, 2019; Lo A. W., 2021a).

Este presente trabajo pretende discutir cómo la titulización de activos, que tuvo un papel central durante la crisis financiera del 2008, puede ayudar a financiar proyectos de innovación que individualmente son altamente riesgosos y poco atractivos. La hipótesis de esta investigación es que la titulización de proyectos intensivos en I+D puede crear estructuras de deuda y *equity* sólidas bajo ciertas condiciones. En los resultados, se muestra que la eficacia de este producto titulado depende del número de proyectos incluidos en el portafolio, la correlación de éxito entre los proyectos, las mejoras crediticias del producto titulado, la frecuencia de pago de los cupones de los tramos de deuda y la posibilidad de que los activos generen flujos de caja a lo largo del periodo vida.

Este documento se organiza de la siguiente manera: en el marco teórico se describe el actual problema de financiamiento, cómo funciona la titulización de activos, cómo se podrían incluir mejoras crediticias y el papel de la teoría moderna del portafolio en este producto titulado; en la evidencia empírica, se analiza cómo las simulaciones predicen los retornos de los diferentes tramos de inversión y se detallan los retos persistentes de su implementación en el mercado financiero; finalmente, se muestran las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1. El problema actual de financiamiento

Desde 2004, la inversión de las VC en empresas en etapas iniciales como proporción del total invertido ha caído consistentemente en Estados Unidos (ver Gráfico 1). Estas etapas son más riesgosas que las etapas finales de un proyecto de I+D y existen varias razones que pueden explicar esta reducción de inversión. Una de ellas es que los proyectos intensivos en I+D se están volviendo más caros, largos, complejos y arriesgados en ciertas industrias como en el de biotecnología (Fernandez, Stein, & Lo, 2012; Fagnan, Fernandez, & Lo, 2013). Además, esta clase de proyectos requiere de inversionistas que puedan esperar varios años sin recibir flujos de caja y que puedan tolerar un alto nivel de riesgo (Fagnan, Fernandez, & Lo, 2013).

En ese mismo sentido, otra de las principales causas de la reducción de financiamiento es que se pueden invertir en otros proyectos “lower hand fruits” (Lo A. W., 2021a). Es decir, existen otras opciones de inversión que poseen un mayor ratio de Sharpe, periodos de gestación más cortos, son más líquidos y están al alcance de los inversionistas. Por ejemplo, la industria farmacéutica que se dedica a la producción y masificación de medicinas, un negocio menos riesgoso que la creación de nuevos medicamentos, es más atractiva financieramente en comparación con la industria biotecnológica (Lo A. W., 2021a). Incluso, Morgan Stanley (2010) propuso que la industria biotecnológica se debería enfocar en adquirir otras compañías cuyas investigaciones se encuentren en fases finales en lugar de realizar investigaciones nuevas desde etapas iniciales con el fin de volverse menos riesgosa.

A continuación se detallará un ejemplo que permite entender el riesgo de invertir en un proyecto de innovación desde su etapa inicial. Este ejemplo ha sido explicado por Fernandez et al. (2012), Fagnan et al. (2013), Hull et al. (2019) y Lo (2021a). Existe un proyecto que busca crear un medicamento contra un tipo de cáncer y cuenta con las siguientes características: una inversión inicial de USD 200 millones para llevar a cabo las fases 1, 2 y 3 de su investigación, el tiempo de

gestación es de 10 años, la probabilidad de éxito es de solo el 5%¹ y el ingreso obtenido en caso de éxito es de USD 2,000 millones durante los diez años que dure la patente. Asimismo, se considera un costo de capital de 10%².

En caso el proyecto sea exitoso, el valor presente del ingreso en el periodo 10 es de USD 12.3 mil millones como se observa en el Gráfico 2. El retorno anual estimado es de $11.9\% = (5\% * 12.3MM/200M)^{1/10} - 1$. Sin embargo, el inversionista no obtiene con certeza 11.9%, sino -100% con una probabilidad de 95% y 51% de retorno anual con una probabilidad de 5%. Esta distribución de retornos puede ser demasiado riesgosa para la mayoría de inversionistas. Pero existe una solución, en lugar de llevar a cabo un único proyecto se podría desarrollar simultáneamente varios proyectos con retornos no correlacionados (más adelante se analizará el rol de la correlación).

Al agrupar varios proyectos es más probable que alguno de ellos sea exitoso y, como no están correlacionados, el éxito de alguno de ellos no afecta la probabilidad de que otro proyecto lo sea. Finalmente, ya que cada proyecto individual tiene una probabilidad de éxito bernoulli, la distribución de casos de éxito del portafolio comienza a asemejarse a una normal a medida que más proyectos se incorporan en el portafolio (ver Gráfico 3). El cambio de la distribución en los casos de éxito también impacta en la distribuciones de ingresos del portafolio haciendo que converja a una normal (ver Gráfico 4).

En cuanto al riesgo del portafolio, la desviación estándar de los retornos de un proyecto individual es de 423.9%. Sin embargo, cuando se agrupan 150 proyectos la desviación estandar del portafolio cae a $34.6\% = 423.9\%/\sqrt{150}$. Este cambio también mejora el ratio de Sharpe. Este ratio³ pasa de ser 0.02 en el caso de un solo proyecto a 0.30 cuando se agrupan 150 proyectos. Lo cual vuelve más atractiva esta opción de inversión.

2. Titulización

La titulización es un proceso financiero complejo con diversas variantes y que involucra a muchos actores con distintos roles (Delivorias, 2015). Por esa razón, esta sección se centrará en los riesgos y retornos potenciales de los distintos tramos de un fondo de titulización, así como en explicar qué es y cómo funciona. En primer lugar, la titulización consiste en comprar los derechos de

¹ La probabilidad de éxito promedio actualmente de un proyecto de biotecnología es de 5.7%, pero este dato cambia dependiendo del tratamiento médico. Por ejemplo, la probabilidad de éxito de proyectos de oncología es de 3.4%, mientras que la de vacunas es de 33.4%. (Wong, Siah, & Lo, 2019)

² Un valor aproximado del costo estimado por Giaccoto, Golec y Vernon (2011): 10.8%. Aunque el costo de capital también depende del tratamiento médico.

³ Utilizando una tasa libre de riesgo de 1.50%. Un aproximado de la tasa de rendimiento del bono del tesoro norteamericano a 10 años de 07/12/2021: 1.48%.

propiedad de diversos activos y agruparlos en un vehículo con propósito especial (*Special Purpose Vehicle*, SPV). El SPV permite garantizar que los tenedores de bonos del fondo de titulización tendrán prioridad legal sobre los activos en caso de quiebra. En segundo lugar, estos activos dentro del SPV generarán flujos de caja que se asignarán a distintos tramos (Fabozzi & Kothari, 2008). En el Gráfico 5, se observan tres tramos: *senior*, *mezzanine* y *equity*.

Los flujos de caja primero se depositan en el tramo senior. Cuando este tramo está lleno, los flujos de caja luego se destinan al tramo mezzanine y, finalmente, cuando este tramo está completo los flujos de caja restantes se depositan al tramo equity. De esta manera, el tramo senior es el más seguro porque es más probable que reciba todos sus flujos de caja esperados incluso cuando no existen flujos de caja suficientes para pagarles a los inversionistas de los tramos equity y mezzanine (Hull, 2018).

En la literatura existen dos formas de caracterizar el proceso de titulización de proyectos intensivos en I+D. La primera es una versión sencilla donde no existen flujos de caja en el ínterin del periodo de vida del megafondo. El inversionista solo recibe flujos de caja al final cuando todos los activos dentro del megafondo son vendidos. La segunda versión es más compleja y similar a lo que ocurre en la realidad. En ella sí se consideran flujos de caja durante el ínterin.

2.1 Flujo de caja único al final

El proceso de titulización que se detallará a continuación fue desarrollado por Hull et al. (2019). Se inicia con un portafolio vacío, sin activos. Primero se vende los tramos senior, mezzanine y equity a diversos inversionistas. Con el dinero que se obtiene de esa venta, se compran proyectos intensivos en I+D. De esta manera se crea un megafondo de 150 proyectos intensivos en I+D que se asumen que comparten características idénticas. Cada uno de ellos requiere de una inversión de USD 200 millones y un periodo de gestación de cinco años. La probabilidad de éxito es de 10% y el retorno esperado también es de 10%. La recompensa en caso de éxito es de USD 3.22 mil millones.

Usualmente, el proceso de titulización agrupa activos con baja probabilidad de impago lo que provoca que sea relativamente sencillo crear un tramo senior de alta calidad crediticia. Sin embargo, en este caso se agrupan proyectos con baja probabilidad de éxito y alto retorno potencial. ¿Es posible que un megafondo con estas características pueda ofrecer un tramo senior con buena calificación crediticia? ¿Cuáles serán los retornos y riesgos esperados de los tramos?

Como se explicó anteriormente los tramos senior, mezzanine y equity presentan riesgos distintos. Debido a estas diferencias, los retornos esperados de cada uno de ellos difieren. La tasa de rendimiento del tramo equity será mayor al de mezzanine y este último superará al senior. Para calcular las tasas de rendimientos pronosticadas es necesario primero estimar los ratings

crediticios de los tramos. Las agencias de calificación crediticia Standard & Poor's (S&P) y Fitch utilizan la probabilidad de incumplimiento como métrica de interés para calcular los ratings, mientras que Moody's usa la pérdida esperada (Hull, Lo, & Stein, 2019). En la literatura se suele utilizar la probabilidad de incumplimiento por simplicidad (Coval, Jurek, & Stafford, 2009; Andre Cappon, 2018; Hull, Lo, & Stein, 2019).

Actualmente las probabilidades de impago de los bonos con calificación crediticia AAA y BBB con un horizonte de tiempo de 5 años son 0.34% y 1.54%, respectivamente de acuerdo con S&P Global Ratings (ver Tabla 1). Es decir, para que el tramo senior sea AAA su probabilidad de impago debe ser menor a 0.34% y para que el tramo mezzanine sea BBB su probabilidad de impago debe ser menor a 1.54%.

De la misma manera, las tasas de rendimiento pronosticadas de estos tramos serán las tasas de rendimientos promedios de bonos que comparten el mismo rating crediticio. En este caso, se asumirá que los tramos senior (AAA) y mezzanine (BBB) tendrán rendimientos de 3% y 7%, respectivamente⁴.

En la Tabla 2, se puede observar que, considerando 150 proyectos independientes y 10% de probabilidad de éxito, al menos seis proyectos serán exitosos con una probabilidad de 99.81% y la probabilidad de que esto no ocurra es menor al 0.34%. Asimismo, con la misma probabilidad de que los seis proyectos sean exitosos el megafondo podrá generar USD 19.32 mil millones⁵. Lo cual significa que el tramo senior puede ser como máximo de USD 16.67 mil millones⁶ en el momento de la emisión de los bonos del tramo. Aunque, Hull et al. (2019) proponen en su ejemplo que el tramo senior sea de USD 15 mil millones. Por lo que al finalizar los cinco años, se destinará a ese tramo USD 17.39 mil millones⁷.

Con respecto al tramo mezzanine, al menos ocho proyectos serán exitosos con una probabilidad de 98.60% y la probabilidad de que esto no ocurra es menor al 1.54%. El ingreso total del megafondo por el éxito de los ocho proyectos es de USD 25.76 mil millones y el ingreso que se podrá destinar al tramo mezzanine como máximo al finalizar los cinco años sería de USD 8.37 mil millones⁸ y el tamaño máximo de este tramo al inicio del periodo de vida del megafondo sería

⁴ Se mantienen las tasas de rendimientos propuestas por Hull et al. (2019).

⁵ USD 3.22 mil millones x 6

⁶ $16.67 = 19.32 / (1.03)^5$

⁷ $17.39 = 15(1.03)^5$

⁸ $8.37 = 25.76 - 17.39$

de USD 5.97 mil millones⁹. En este caso, Hull et al. (2019) también acotan el tramo mezzanine por simplicidad a USD 5 mil millones en el periodo inicial y a USD 7.01 mil millones¹⁰ al finalizar los cinco años.

De esta manera, el megafondo valorizado en un inicio en USD 30 mil millones¹¹ se dividirá de la siguiente manera: USD 15 mil millones en senior, USD 5 mil millones en mezzanine y USD 10 mil millones en equity como se puede observar en el Gráfico 6. Esto significa que bajo las condiciones previamente establecidas es posible crear un producto titulizado con un ratio de apalancamiento de 3 a 1.

En cuanto al tramo equity, este recibirá los flujos remanentes del megafondo al finalizar los cinco años que, en este caso, sería alrededor de USD 24 mil millones y el retorno anual proyectado es de 19.03%. El tramo equity es particularmente interesante porque está apalancado por los tramos senior y mezzanine lo cual causa que obtenga un retorno proyectado por encima del retorno esperado de un proyecto individual (Fabozzi & Kothari, 2008). Este tramo será estudiado en mayor detalle en la sección de evidencia empírica.

2.2 Flujos de caja durante el íterin

En la sección anterior se mostró una versión sencilla de un proceso de titulización donde los inversionistas reciben solo un ingreso al finalizar el periodo. Sin embargo, Fernandez et al. (2012) explican lo que ellos denominan Research Backed Obligations (RBO). El megafondo de un RBO emite bonos colateralizados con la propiedad intelectual y todas las ganancias provenientes de las investigaciones. Es decir, en el caso que un proyecto se detenga en una fase intermedia, la propiedad intelectual que haya generado las investigaciones se puede vender y eso se distribuye como flujo de caja a los inversionistas. De esta manera, la valorización de un proyecto se puede graficar como un árbol de decisiones, en el cual al finalizar cada etapa pueden ocurrir dos eventos: el proyecto continúa a la siguiente etapa o se detiene (Stein, 2017). Esto último puede suceder porque el proyecto se ha vendido o abandonado (ver Gráfico 7). Los flujos de caja más grandes se originan al final del RBO cuando todos los proyectos pendientes se liquidan, sin importar si fueron aprobados para comercializar el invento o no.

El funcionamiento del RBO se detalla a continuación y la primera parte es similar a lo explicado en la sección anterior. Primero, se obtiene dinero al emitir bonos de los tramos senior y mezzanine, así como de la emisión del tramo equity. Segundo, con ese dinero se compran

⁹ $5.97 = 8.37 / (1.07)^5$

¹⁰ $7.01 = 5(1.07)^5$

¹¹ USD 200 millones x 150 proyectos

proyectos intensivos en I+D que se asignan al megafondo. Sin embargo, no todo dinero que se obtiene de la emisión se destina a la compra de proyectos, parte de él se guarda para que posteriormente sea invertido en los proyectos que pasen a siguientes etapas. Tercero, a medida que los proyectos avanzan ganan valor o fracasan. De ser requerido es posible que algún proyecto sea vendido en alguna etapa intermedia para cubrir con pagos de principal o intereses. Cuarto, el dinero obtenido de la venta de proyectos es usado para pagar el servicio de la deuda y para financiar las etapas siguientes de los proyectos aún vigentes. Quinto, el megafondo de proyectos es vendido al finalizar el periodo de vida del RBO y el dinero se distribuye a los tres tramos de acuerdo con su orden de prelación (Fernandez, Stein, & Lo, 2012; Hull, Lo, & Stein, 2019).

Fernandez et al. (2012) utilizan supuestos más sofisticados que en el ejemplo de la sección anterior. Los datos del valor estimado del proyecto en cada etapa, los montos de inversión requeridos y los costos de desarrollo que se desembolsarían cuando los proyectos avancen a siguientes etapas se extrajeron de estudios publicados, así como de base datos públicas. Además, los autores también usaron una matriz de probabilidad de transición entre las distintas etapas de proyectos de biotecnología. Esta matriz indica qué tan probable es que un proyecto que se encuentra en fase 1, por ejemplo, se mantenga en los siguientes seis meses en la misma etapa, pase a la fase 2, fase 3, aplique para ser aprobado por el regulador o se abandone.

Un detalle importante es que los autores, al momento de realizar las simulaciones de un RBO enfocado en biotecnología, separan al RBO en dos etapas independientes. La primera simulación representa la etapa temprana que abarca desde la fase preclínica hasta la fase dos. Cuando un proyecto alcanza la fase dos, este es vendido a la siguiente etapa. La segunda simulación representa la etapa tardía y comprende desde la fase dos hasta la aprobación del medicamento (ver Gráfico 8). Lo interesante de separar el RBO en dos partes es que permite a los inversionistas con horizontes de inversión más cortos participar en solo una etapa. Mientras que los inversionistas con horizontes más largos pueden escoger participar en ambas etapas. De esta manera, se incentiva la participación de fondos del mercado monetario y bancos comerciales; así como de fondos de pensiones, fundaciones (*endowments*) y fondos de capital soberanos (Fernandez, Stein, & Lo, 2012).

En la parte de evidencia empírica se analizará los resultados de las simulaciones de Fernandez et al. (2012) y de investigaciones posteriores.

2.3 Mejoras crediticias

La titulización es un tipo de mejora crediticia (*credit enhancements*) porque permite redistribuir el riesgo del portafolio, pero no es la única mejora crediticia que se puede aplicar a los RBO. Ellas se pueden dividir en dos clases: internas y externas. La mejora crediticia interna se basa en características estructurales relacionadas con la emisión de bonos. Mientras que la mejora

crediticia externa se refiere a las garantías financieras recibidas de un tercero, a menudo llamado garante financiero (Choudhry & Wilcox, 2020). A continuación, se explicarán las internas (Fernandez, Stein, & Lo, 2012):

- Sobregarantía (*overcollateralization*): Permite aumentar el colateral disponible para los tenedores de bonos con mayor calidad crediticia.
- Cuenta reservada (*reserve account*): Dinero o inversiones líquidas reservadas para pagar intereses y principal, así como para financiar investigaciones de los proyectos.
- Requerimientos de cobertura (*coverage requirements*): Umbral por debajo del cual las tenencias líquidas no pueden caer. Si esto sucede se venden proyectos para obtener liquidez.
- Redirección del flujo de caja: Reglas para desviar los pagos de las investigaciones y, si es necesario, de la deuda subordinada, en caso de que la liquidez sea insuficiente.
- Criterios detallados de adquisición de activos: Nivel mínimo de calidad de activos y límites de concentración por sectores.
- Mecanismos de contingencia para reemplazar automáticamente a los administradores de colateral: Reglas para sustituir al administrador del portafolio si presenta bajo rendimiento.

En cuanto a las mejoras crediticias externas, las más comunes son las garantías financieras y las cartas de crédito. Las primeras reembolsan a los tenedores de bonos las pérdidas incurridas si el emisor incumple y pueden ser emitidas por bancos o compañías de seguros reguladas (también denominadas aseguradoras *monoline*). Sin embargo, las aseguradoras monoline se han convertido en una forma menos común de mejora crediticia a partir de la crisis financiera (Choudhry & Wilcox, 2020). Por otro lado, las cartas de crédito consisten en que la institución financiera proporciona al emisor una línea de crédito para reembolsar cualquier déficit de flujo de efectivo de los activos, pero esta forma de mejora crediticia también se ha vuelto menos común desde la crisis financiera.

Fernandez et al. (2012) proponen una tercera forma de mejora crediticia externa. Una garantía gubernamental que podría ser ofrecida por empresas patrocinadas por el gobierno (GSE, por sus siglas en inglés). En particular Fernandez et al. (2012) proponen que The National Cancer Institute o The National Institute for Health de Estados Unidos podrían considerar brindar alguna forma de garantía a los megafondos biomédicos. Las GSE podrían imponer algunos criterios médicos o científicos que deberían cumplir los colaterales para que sean respaldados. Este apoyo permitiría que el megafondo impulse el interés de los inversionistas, aunque también podría incentivar que

se asuma mayores riesgos como invertir en aquellos proyectos con resultados menos seguros (Fernandez, Stein, & Lo, 2012).

3. Teoría del portafolio

El riesgo total de un portafolio se puede caracterizar como la suma de riesgo sistemático y riesgo idiosincrático (o específico).

$$\sigma_p^2 = \beta_p^2 \sigma_M^2 + \sigma^2(e_p) \quad (1)$$

Donde el riesgo sistemático ($\beta_p^2 \sigma_M^2$) es un componente de la varianza del portafolio que depende de movimientos del mercado. Esta parte del riesgo depende del coeficiente beta del portafolio y la varianza del mercado que persistirán a pesar de la diversificación del portafolio. Sin importar cuantos activos contenga este portafolio, su exposición común al mercado seguirá estando reflejada en el riesgo sistemático (Bodie, Kane, & Marcus, 2018).

En contraste, el riesgo idiosincrático ($\sigma^2(e_p)$) es el componente de la varianza del portafolio atribuible a características específicas. Como estas características son independientes, a medida que se añaden activos al portafolio los componentes específicos se cancelan y se reduce el riesgo idiosincrático del portafolio (ver Gráfico 9) (Bodie, Kane, & Marcus, 2018).

3.1 Riesgo idiosincrático

En el caso de investigaciones científicas, los proyectos que utilizan la misma tecnología y buscan el mismo resultado comparten riesgo idiosincrático. En particular, en la industria farmacéutica y biotecnológica es usual que las investigaciones se centren en ideas similares porque existe un alto costo asociado a ganar experiencia y dominio en alguna especialidad por parte de los investigadores y porque favorece la colaboración entre los centros de investigación (Lo A. W., 2021a).

Aunque en algunos casos, como en el de enfermedades raras o huérfanas (*orphan diseases*)¹², los proyectos suelen estar poco relacionados porque utilizan tecnologías distintas y porque se dirigen a clientes diferentes. Es decir, las probabilidades de tener éxito no están correlacionadas entre los proyectos y, en el caso en que los medicamentos sean aprobados, estos no competirán entre sí por participaciones del mercado. Estas características permiten una correcta diversificación de riesgo al agruparlas en un portafolio (Fagnan, Gromatzky, Stein, Fernandez, & Lo, 2014; Fagnan, Yang, McKew, & Lo, 2015).

¹² Enfermedades que afectan a menos de 5 personas por cada 10,000. Existen entre 5,000 a 8,000 enfermedades raras en el mundo (Vrueh, Baekelandt, & Haan, 2013).

Sin embargo, es muy difícil encontrar otro grupo de terapias biomédicas que cumplan con estas características. Aun así, la mayoría de los estudios publicados hasta la fecha se han limitado a incluir únicamente proyectos de la industria biotecnológica en los RBO y no se ha analizado el beneficio potencial de incluir, por ejemplo, proyectos de *cleantech* o que busquen reducir el impacto del cambio climático.

3.2 Riesgo sistemático

El coeficiente beta captura la relación entre el retorno del portafolio y el retorno agregado del mercado.

$$\beta = Cov(R_p, R_M) / Var(R_M) \quad (2)$$

Entre más alto es el coeficiente beta, mayor es el riesgo sistemático del portafolio y el retorno exigido de acuerdo con el modelo Capital Asset Pricing Model (CAPM) de Sharpe-Lintner.

$$E(R_p) = R_f + \beta_p [E(R_M) - R_f] \quad (3)$$

Lo A. W. (2021a) realizó una comparación entre los coeficientes betas de dos índices. Uno de biotecnología y otro de la industria farmacéutica. Él esperaba que el coeficiente de biotecnología sea bajo porque el riesgo de estas empresas depende principalmente del desempeño de las investigaciones para crear medicamentos. Esto es lo que define si una empresa de biotecnología sobrevive o no. Es decir, el principal riesgo de esta clase de empresas es idiosincrático y no sistemático. En cambio, la industria farmacéutica debería mostrar coeficientes betas más altos porque sus productos y servicios están más expuestos a cambios en las condiciones de la economía, aunque los coeficientes betas no deberían ser excesivamente altos porque los productos que ofrecen son inelásticos.

Sin embargo, lo que sucede en la realidad es que la industria biotecnológica muestra consistentemente un mayor coeficiente beta que la industria farmacéutica. En el Gráfico 10, se muestra el mismo resultado que obtuvo Lo A. W. (2021a) utilizando coeficientes betas con ventanas móviles de 500 días, pero con un ligero aumento de la muestra: desde enero de 1997 hasta noviembre de 2021. Los coeficientes betas del índice de biotecnología se encuentran casi siempre por encima de uno, mientras que los de la industria farmacéutica se encuentran casi siempre por debajo de uno.

Esto se puede deber a que las empresas biotecnológicas presentan dos tipos de riesgos: científicos y de financiación (Lo A. W., 2021a; Thakor, et al., 2017). Esta clase de empresas, como se ha mencionado anteriormente, no generan flujos de caja durante los primeros años, requieren de altos montos de inversión, son relativamente pequeñas y las probabilidades de éxito son bajas. Estas

características provocan que la industria biotecnológica sea especialmente susceptible a sufrir problemas de liquidez durante recesiones.

Una forma de imaginar esto es a través de *rollover risk*. Una empresa que para funcionar se financia con deuda de corto plazo no tendrá problemas mientras que a la economía le vaya bien, pero durante una recesión o crisis crediticia tendrá dificultad para refinanciarse (Lo A. W., 2021a). Aunque las empresas biotecnológicas no suelen financiarse con deuda sino a través de un VC, el razonamiento es el mismo porque las VC suelen realizar inversiones periódicas a las empresas, mas no una inversión inicial que les permita culminar todas las etapas de I+D (Metrick & Yasuda, 2011).

Esta exposición al ciclo económico no solo se limita a las empresas biotecnológicas sino a las start-ups involucradas en innovación (Howell, Lerner, Nanda, & Townsend, 2020; Nanda & Rhoades-Kropf, 2016; Gompers & Lerner, *The Venture Capital Cycle*, 2004; Gompers, Kovner, Lerner, & Scharfstein, 2008; Kaplan & Schoar, 2005). Existe una constante preocupación por parte de emprendedores y VC de no ser capaces de conseguir financiamiento en el futuro para empresas saludables (Nanda & Rhoades-Kropf, 2016).

¿Es posible que este riesgo de financiamiento se reduzca o incluso se elimine? Lo (2021b) propone que, si estas empresas se financian con deuda de largo plazo como de diez o veinte años, el riesgo de financiamiento debería reducirse porque de esa manera han asegurado el capital necesario para financiar los proyectos. El problema es que no hay inversionistas dispuestos a hacer prestamos de tan larga duración en proyectos individuales con baja probabilidad de éxito y que aún no generan flujos de caja. Sin embargo, una solución potencial es el RBO porque su estructura permite asegurar, desde su creación, el capital necesario para que se lleve a cabo todos los procesos de experimentación que requieren los proyectos intensivos en I+D. De esta manera, el riesgo de financiación caería y, con él, los coeficientes betas de estas empresas (Lo A. W., 2021b).

Esta propuesta de Lo (2021b) finalmente implica que la estructura del RBO podría ser capaz de reducir el riesgo sistemático de empresas intensivas en I+D. Está reducción no se logra por diversificación, porque es imposible, sino al cambiar la dinámica de cómo se financian los proyectos. Esta idea aún no ha sido ampliamente discutida, pero a continuación se mencionan potenciales obstáculos. El RBO podría tener dificultades para asegurar el financiamiento de los proyectos si al momento de emitir deuda y equity la economía enfrenta una recesión o una contracción crediticia. Este riesgo es mayor si el RBO obtiene fondos en más de una etapa, como por ejemplo lo propuso Fernandez et al. (2012) donde se obtenían fondos al iniciar el RBO y a la mitad del periodo de vida del mismo.

Además, en el escenario en el que el RBO agrupe proyectos distintos al de biotecnología se debe considerar que esos proyectos sí podrían tener otras fuentes de riesgo sistemático. Por ejemplo, los proyectos de cleantech son particularmente sensibles a variaciones en el precio del petróleo y no solo por variables del mercado, sino por aspectos políticos. Entre 2002 y 2008, aumentos en los precios de gas natural y petróleo en Estados Unidos provocaron que los hacedores de política incentivaran la adopción de energía limpia a través de otorgamientos de préstamos, subsidios y exoneraciones impositivas (Gaddy, Sivaram, & O'Sullivan, 2016).

Esta discusión sobre las fuentes de riesgo sistemático es importante para evitar una segunda crisis financiera en el caso que los RBO se implementen. El riesgo sistemático es la principal variable que puede explicar la correlación de activos en un megafondo. Esta correlación es difícil de estimar y tiene un papel crucial en las simulaciones que se revisarán en la siguiente sección (Hull, Lo, & Stein, 2019). La importancia de la correlación recae en que a medida que esta se incrementa, se deterioran los tramos de mayor calidad crediticia y aumenta la probabilidad del colapso del megafondo (Fujii, 2010).

CAPÍTULO II. EVIDENCIA EMPÍRICA

En esta sección se revisará simulaciones realizadas por diversos autores y algunos productos titulizados similares al RBO que se desarrollaron en el mercado financiero. Asimismo, se discutirá los retos persistentes de la implementación de un RBO.

1. Retornos y riesgos del megafondo

1.1 Simulaciones: Flujo de caja único al final

Hull et al. (2019) muestran simulaciones que dependen de cuatro variables: retorno estimado del proyecto, probabilidad de éxito, número de proyectos en el megafondo y correlación entre los proyectos. Los resultados de estas simulaciones son el tamaño mínimo del tramo equity, el retorno esperado de dicho tramo y su ratio de Sharpe (ver Tabla 3). El tramo equity es más atractivo a medida que el tamaño mínimo requerido de este tramo disminuye y el retorno esperado y el ratio de Sharpe aumentan.

Por ejemplo, cuando el retorno esperado del proyecto es 10%, la probabilidad de éxito individual de cada proyecto es 5%, el número de proyectos en el portafolio es de 50 y la correlación es cero, es imposible que se puedan crear tramos AAA o BBB, así que todo el megafondo se emite como equity. A medida que aumenta el número de proyectos es factible crear tramos AAA y BBB y que la proporción de estos tramos en el portafolio aumente. Esto provoca que el tramo equity requerido se reduzca.

Un punto interesante de los resultados de Hull et al. (2019) es que una correlación de 5% entre los proyectos tiene un gran impacto en el portafolio. En el caso en el que la correlación entre los proyectos es cero, el retorno individual de un proyecto es 10%, la probabilidad de éxito es 10% y el número de proyectos es 150, el resultado es el siguiente: el tamaño mínimo del tramo equity es de 29.12%, su retorno es 20.96% y el ratio de Sharpe es 0.50. Sin embargo, si se asume que la correlación entre los proyectos es de 5%, entonces el tamaño mínimo del tramo equity asciende a 67.77%, el retorno esperado cae a 11.8% y el ratio de Sharpe se reduce a 0.26.

Otra forma de analizar el impacto de la correlación es la siguiente. En la Tabla 4, se puede observar la distribución de probabilidad de proyectos exitosos asumiendo 150 proyectos, 10% de retorno individual de los proyectos y una correlación de 5%. En ese escenario, se estima que solo dos proyectos serían exitosos con una probabilidad de 99.66%, en comparación al escenario sin correlación donde eran seis (ver Tabla 2). Por esta razón el tramo senior sería de solo USD 6.44 millones¹³. En cuanto al tramo mezzanine, la probabilidad de éxito es mayor a 98.46% con tres proyectos. El número de proyectos es menos de la mitad de los casos éxitos en el escenario donde la correlación es cero. El tamaño del tramo mezzanine sería igual a USD 3.22 millones.

Además, Hull (2017) encontró que el parámetro que tenía un mayor impacto en los resultados es la correlación de éxito entre los proyectos. El autor halló que esta variable afecta más los resultados que la incertidumbre de los montos de la recompensa de cada proyecto y la correlación entre los montos de las recompensas de los proyectos.

¿Por qué la correlación de éxito entre los proyectos tiene un impacto tan importante en el portafolio? La respuesta se encuentra en cómo cambia la distribución de probabilidad de casos exitosos al asumir que la correlación entre los proyectos aumenta. La literatura suele usar la cópula gaussiana para modelar la dependencia entre activos en modelos cuantitativos de finanzas. En particular, Lo y Siah (2021) utiliza la cópula gaussiana para construir artificialmente correlaciones entre eventos discretos. Los autores asumen en este modelo que los proyectos son idénticos y que cada uno ellos están correlacionados en la misma proporción por un factor en común.

En el Gráfico 11, se muestra los resultados de Lo y Siah (2021). Donde n representa el número de proyectos en el megafondo, p la probabilidad de éxito individual de cada proyecto, m el número de casos exitosos y ρ la correlación entre los activos. La línea azul muestra una correlación igual a cero, la naranja de 10%, la verde de 20%, la roja de 30% y la púrpura de 40%. A medida que aumenta la correlación entre los activos, la desviación estándar se incrementa, la kurtosis de la

¹³ USD 3.22 mil millones x 2

distribución de probabilidad se reduce y, en el caso que la probabilidad de éxito individual sea menor a 50%, el coeficiente de asimetría se incrementa. Estos cambios provocan que sea más probable un riesgo de cola (*tail risk*) y, por lo tanto, más difícil de mantener tramos AAA y BBB como proporción del megafondo (Lo & Siah, 2021).

Un problema interesante es que es difícil incorporar correctamente la correlación entre activos en las simulaciones porque los proyectos al llevarse a cabo en el mercado privado no brindan información que pueda ayudar a calcular la correlación entre los distintos activos. Otro hecho relevante es que en la mayoría de las investigaciones el modelo de cópula gaussiana, a pesar de contar con una matriz de correlación, suele utilizarse asumiendo proyectos idénticamente distribuidos. Sin embargo, como se explicó en la sección de teoría del portafolio, existen proyectos que pueden tener una mayor correlación entre sí porque, por ejemplo, utilizan tecnologías similares o se enfocan en un mercado objetivo común¹⁴. Además, la correlación entre los proyectos debería mostrar un comportamiento dinámico y no estático porque durante recesiones los activos muestran una mayor correlación entre sí.

Un último punto importante con respecto a la correlación es que puede ser reducida si los proyectos dentro del megafondo inician desde etapas distintas. La razón es que los proyectos que se invertirían en la primera etapa el día de hoy serían distintos a los proyectos que se invertirían dentro de cinco años porque las ideas cambian, así como el rumbo de las investigaciones (Hull, 2017).

1.2 Simulaciones: Flujos de caja durante el íterin

Fernandez et al. (2012) realizaron simulaciones de un megafondo de biotecnología que, a diferencia de los ejemplos anteriores, pagaba cupones anuales a los inversionistas de los tramos de deuda. Los cupones fueron los siguientes: 5% al tramo senior y 8% al tramo subordinado. Estas son las características del megafondo: un capital de USD 5 mil millones, un horizonte temporal de 7.5 años, un tramo senior de USD 1.25 mil millones, un tramo subordinado de USD 1.25 mil millones y un tramo equity de USD 2.5 mil millones, es decir, el ratio de apalancamiento es de 2 a 1.

Además, en la simulación se adoptó la mejora crediticia interna de requerimientos de cobertura¹⁵ donde cada año se reservaba dinero suficiente para pagar dos veces los intereses del tramo senior

¹⁴ Chaudhuri et al. (2018) en cambio incorporó en sus simulaciones una matriz de correlación de 25 proyectos que se construyó consultando a especialistas.

¹⁵ Revisar la sección de mejoras crediticias.

del siguiente periodo y tres veces los intereses del tramo subordinado del siguiente periodo. En cuanto a la correlación de éxito de activos, se asumió que era de un 20%.

La simulación se realizó en dos etapas, como se explicó en el Marco Teórico, la primera etapa consiste en llevar a cabo proyectos de la fase preclínica a la fase 2 y la segunda etapa inicia en la fase 2 y termina en la aplicación del medicamento a las autoridades reguladoras. La primera etapa contiene el siguiente portafolio: 100 proyectos en fase preclínica y 100 proyectos en fase 1 cada uno con un costo de USD 16 millones y USD 30 millones, respectivamente.

La Tabla 5 muestra los siguientes resultados para la Simulación A (primera etapa). Los inversionistas del tramo senior recibieron el pago completo de sus cupones el 99.9% del tiempo, los inversionistas del tramo subordinado recibieron igualmente el pago completo de sus cupones el 99.1% del tiempo y los inversionistas del tramo equity obtuvieron una rentabilidad anual de 8.9% y esta superó el 15% en más de un tercio de las veces (Fernandez, Stein, & Lo, 2012). Además, los datos muestran que el RBO al estar apalancado permite desarrollar más proyectos en comparación de la opción de todo equity y esto a su vez ocasiona que el retorno del RBO sea más alto y riesgoso.

En la simulación B, los proyectos que se desarrollaron satisfactoriamente hasta la fase 2 fueron adquiridos para esta etapa. La estructura de capital consta de un tramo senior de USD 6 mil millones, un tramo subordinado de USD 3 mil millones (ambos con rendimientos del 5% y 8%, respectivamente como en la simulación A) y un tramo de equity de USD 6 mil millones, lo que implica una relación de 2.5 a 1 de ratio de apalancamiento (Fernandez, Stein, & Lo, 2012). En promedio, la simulación arrojó un poco menos de 8 proyectos aprobados para la venta y más de 21 proyectos avanzaron a la fase 3 o a la aplicación de un nuevo medicamento (ya sea porque no tuvieron tiempo suficiente durante la vida del fondo para alcanzar la aprobación o se vendieron para financiar el capital y los intereses) (Fernandez, Stein, & Lo, 2012).

El rendimiento del megafondo de la Simulación B es incluso más atractivo que el observado en la Simulación A. En el caso del RBO, los inversionistas del tramo senior recibieron un reembolso completo del 99.9% del tiempo, los inversores del tramo subordinado recibieron un reembolso total del 99.4% del tiempo y los inversores del tramo equity recibieron un rendimiento anual promedio del 11.4%. En comparación, un fondo de capital financiado exclusivamente con un equity de USD 6 mil millones solo lograría el desarrollo de 40 medicamentos en fase 2 y únicamente 6 avanzarían a la fase 3 o aplicación de nuevos medicamentos, 5 se comercializarían y, finalmente, se ofrecerían a los inversores un rendimiento anualizado esperado de solo 7.2%.

En cuanto a otra investigación, Hull et al. (2019) analizaron las ventajas de que un RBO pague cupones a lo largo de su periodo de vida y que incorpore mejoras crediticias en su estructura. Los autores realizaron simulaciones con datos de proyectos de enfermedades raras obtenidos de

Fagnan et al. (2014). Además, asumieron una correlación de 20% y que el tramo senior siempre conformaría el 30% del megafondo, el tramo subordinado 20% y el tramo equity el 50% restante. De esta manera, en los resultados se observaría cómo la inclusión de cupones semestrales y mejoras crediticias afectaría la probabilidad de incumplimiento de los distintos tramos, así como el *return on equity* (ROE) y la probabilidad de pérdida en el tramo equity.

Los resultados de esas simulaciones se muestran en la Tabla 6. La probabilidad de incumplimiento de los tramos senior y subordinado caen notablemente cuando el megafondo deja de ser cupón cero y paga cupones semestrales. Esto mejora el rating crediticio de ambos tramos. En cuanto al ROE, la necesidad de pagar intereses reduce el rendimiento del tramo equity al desviar el flujo de efectivo y restringir el crecimiento del megafondo. Esto último sucede porque para atender el servicio de la deuda es necesario reducir los costos de investigación y desarrollo de algunos proyectos (Hull, Lo, & Stein, 2019)

Cuando se incorporan reservas, requerimientos de cobertura y sobrecolateral en la estructura del megafondo, las probabilidades de incumplimiento de los tramos senior y subordinado caen, al igual que la probabilidad de pérdida en el tramo equity. Mientras que el ROE aumenta junto con la probabilidad de que supere el retorno de 25% (Hull, Lo, & Stein, 2019).

Chaudhuri et al. (2018) también evaluaron el impacto de mejoras crediticias. En particular, analizaron el papel de las garantías gubernamentales en un megafondo compuesto únicamente de proyectos que buscaban tratar el cáncer de ovario. En esta estructura una agencia del gobierno o una organización sin fines de lucro prometen absorber las pérdidas iniciales de un portafolio por una cantidad determinada. Esto protege a los inversionistas de un riesgo sustancial a la baja al cortar la cola izquierda de la curva de distribución de retornos. Los autores encontraron que estas mejoras crediticias pueden aumentar significativamente el ROE y reducir el riesgo de cola, lo cual a su vez permite que mayores cantidades de capital del sector privado financien la I+D en las primeras etapas (Chaudhuri, et al., 2018).

De la misma manera, Fagnan et al. (2013) analizaron el impacto de garantías en un portafolio compuesto por proyectos oncológicos cuando el megafondo cuenta con requerimientos de cobertura y reservas. Los autores encontraron que en el caso que la garantía represente una proporción importante del capital¹⁶, la pérdida esperada como proporción de la garantía solía ser pequeña¹⁷. Además, mencionaron que esperaban que la garantía del megafondo no

¹⁶ 20% del capital, 50% del tramo senior.

¹⁷ La pérdida esperada era alrededor del 1% de la garantía bajo el escenario propuesto.

necesariamente debía ser grande para que mejorase sustancialmente la estructura del RBO, pero no mostraron resultados que respalden dicha afirmación. Esto se analizará en la siguiente sección.

1.3 Simulaciones: Correlaciones, garantías y requerimientos de cobertura.

A continuación, se detallará un análisis adicional sobre el papel de las garantías y los requerimientos de cobertura en la estructura del RBO. En particular, se busca mostrar cómo cambian los desempeños de los tramos de deuda cuando se incorporan estas dos mejoras crediticias en un RBO con distintas especificaciones de correlación. Para llevar a cabo este ejercicio se ha utilizado el software de libre acceso desarrollado por Fagnan et al (2014).

En él, se tituliza un portafolio de proyectos de enfermedades raras que inicia con 8 proyectos en fase preclínica y 8 en fase 1, un capital total de USD 575 millones, dos tramos de deuda y uno de equity. El tramo senior paga cupones de 5% con frecuencia semestral y el tramo subordinado paga cupones de 8% con frecuencia semestral¹⁸. El periodo de vida del RBO es de 7.5 años. Un factor importante para tomar en cuenta es que el retorno en caso de éxito en comparación con la inversión inicial es particularmente alto. Un proyecto en la fase 3 está valorizado en USD 321.5 millones, mientras que un proyecto en la fase preclínica es de USD 7.1 millones y en la fase 1 es de USD 27.6 millones. Además, los periodos de gestación entre las etapas suelen ser más cortas que en el resto de los proyectos de biotecnología y cuentan con probabilidad de éxito más altas (Fagnan, Gromatzky, Stein, Fernandez, & Lo, 2014).

Los montos de capital utilizados por Fagnan et al (2014) son los siguientes: USD 86.25 millones en el tramo senior, USD 115 millones en el tramo subordinado y USD 373.75 millones en el tramo equity. Sin embargo, estos montos han sido modificados en las simulaciones para poder observar los impactos de las correlaciones, las garantías y los requerimientos de cobertura cuando el tramo de deuda representa una proporción más grande del capital total. Se utilizará la siguiente estructura: USD 115 millones en el tramo senior, USD 172.5 millones en el tramo subordinado y USD 287.5 millones en el tramo equity para que los tramos de deuda financien una mayor parte del RBO.

En cuanto a la configuración del software, se ha modificado la correlación de éxito entre los proyectos, el monto de la garantía gubernamental, los requerimientos de cobertura y las proporciones de los tramos, pero se han mantenido constantes los demás supuestos utilizados por Fagnan et al (2014). En particular, se han utilizado tres niveles de correlación: 15%, 30% y 45%. Asimismo, se utilizó tres montos de garantías: 10% del tamaño del tramo senior (USD 11.5 millones), 25% del tamaño del tramo senior (USD 28.75 millones) y 50% del tamaño del tramo

¹⁸ Se ha utilizado las tasas de los cupones asumidas por Fagnan (2014).

senior (USD 57.5 millones). Por último, se asumió dos escenarios: uno sin requerimientos de cobertura de deuda y otro que sí cuenta con ella. La cobertura de deuda en este caso consta de separar el dinero suficiente para poder pagar 1.75 veces los intereses del tramo senior del siguiente año. Asimismo, se separa el equivalente a 3.5 veces el monto de los intereses del tramo subordinado del siguiente año. Cada especificación de RBO se ha simulado un millón de veces.

Los resultados hallados cuando no se cuenta con requerimientos de cobertura se muestran en la Tabla 7. En ella se puede observar que en el escenario donde no hay garantías, el tramo senior no cuenta con calificación AAA. Sin embargo, se debe considerar que las características favorables presentes en el RBO de enfermedades raras permiten que la calificación crediticia del tramo senior no se degrade tanto como sí lo podría hacer, por ejemplo, el tramo senior de un RBO que cuente con las características descritas por Hull et al. (2019) y explicadas en el marco teórico.

En cuanto al impacto de las garantías, la Garantía 1 permite que el tramo senior alcance la condición de AAA incluso cuando la correlación es de 45%. El costo promedio de esa garantía en ese caso es de un poco más de USD 2.6 millones, pese que la garantía es por un máximo USD 11.5 millones. ¿Será posible que los requerimientos de cobertura permitan que la calificación crediticia mejore sustancialmente sin la necesidad de utilizar garantías?

En la Tabla 8 se puede observar que los requerimientos de cobertura reducen la probabilidad de incumplimiento y pérdida esperada de las doce especificaciones en comparación con el escenario en el que no se cuenta con requerimiento de cobertura (ver Tabla 7). En cuanto al tramo senior, la calificación crediticia no cae a pesar de que aumente la correlación entre activos. Sin embargo, sí tiene un efecto en la mejora de la calificación crediticia del tramo subordinado cuando se utiliza la Garantía 2 y 3.

Además, el costo promedio de la garantía, así como la probabilidad de usarla se reducen drásticamente en comparación con el escenario en el que no se utiliza requerimientos de cobertura. Es decir, el beneficio de contar con garantías se reduce, pero también lo hace el costo de la misma. Esto se debe a que los requerimientos de cobertura reducen la probabilidad de no tener efectivo suficiente para pagar los cupones de los tramos de deuda y, por lo tanto, de recurrir a la garantía. Esto es particularmente interesante para las autoridades reguladoras porque podrían exigir a los RBO requerimientos de cobertura para otorgar garantías.

Por último, un análisis para futuras investigaciones sería calcular el CVaR para medir la pérdida esperada de cada especificación del RBO sujeto a que la garantía no sea suficiente para cubrir con la caída de los retornos. ¿Qué impacto podría tener estas pérdidas poco probables sobre la estabilidad del mercado financiero cuando las características del RBO no son tan favorables como las que se observan en el caso de enfermedades raras?

1.4 Productos similares al RBO en el mercado financiero

Las *biopharmaceutical royalties* obtienen ingresos de las regalías que generan empresas biotecnológicas. Las cuatro *biopharmaceutical royalties* más importantes son Royalty Pharma, Bristol Myers Squibb, Celgene¹⁹ y Amgen (Legorretta, 2017). En el Gráfico 12, se puede observar la composición de los portafolios de cada una de ellas. Los números de empresas en sus portafolios son pequeños en comparación con los números de proyectos que suelen asumirse en las simulaciones, a excepción de enfermedades raras. Sin embargo, la empresa Royalty Pharma ha sido capaz de crear algo similar a un RBO, pero limitándose a incluir solo proyectos que alcanzaron la fase 3 para así reducir el riesgo del portafolio.

En 2003, Royalty Pharma titulizó un portafolio con un valor de USD 400 millones. Alrededor del 50% se financió con deuda. Esta deuda tenía una calificación A en un inicio, pero Royalty Pharma consiguió asegurar la deuda con un Municipal Bond Insurance Agency (MBIA), quien funcionó como una aseguradora monoline. De esta manera, Royalty Pharma logró que el rating crediticio de su deuda se convirtiera a AAA con un costo de 100 pbs (Legorretta, 2017). Este respaldo provocó que Royalty Pharma pueda financiarse a un bajo costo: Libor + 1.75%²⁰.

En el rubro del cine también se han llevado a cabo titulaciones para financiar proyectos futuros. En agosto de 2002, DreamWorks de Steven Spielberg obtuvo una financiación de mil millones de dólares al titular sus ingresos cinematográficos futuros (Kothari, 2006). La titulización dependió de una fórmula bien establecida que permitió predecir los ingresos de los siguientes años en las primeras semanas posteriores al estreno en cines de una película. La acreditadora de riesgo DBRS incluso brindó una guía metodológica sobre cómo calificar los productos titulizados de la industria del cine (DBRS, 2010). Sin embargo, un problema de este producto financiero es que no brinda al inversionista un activo diversificado por sectores. Lo cual provoca que sean particularmente sensibles a ciertos eventos como a la pandemia de Covid-19, la cual afectó los ingresos de taquilla.

2. Retos persistentes

En el mundo real, los proyectos tienen diferentes periodos de gestación, requieren de distintos montos de financiamiento, ofrecen retornos esperados distintos y la correlación, que cumple un papel crucial, es difícil de estimar. Esto significa que aún hay espacio para que las simulaciones se vuelvan más sofisticadas y para que se elaboren nuevos métodos que permitan estimar la correlación entre los activos que se incluirían en el RBO. A medida que los modelos estocásticos

¹⁹ Esta empresa fue adquirida por Bristol Myers Squibb en 2019.

²⁰ 100 pbs que le pagaron al MBIA y 75 pbs de spread que pagaban a los inversionistas en el mercado.

incorporen más características del mundo real los resultados se asemejaran más a lo que se observaría si los RBO se ofrecieran en el mercado financiero (Stein, 2017).

Otro punto importante por considerar es que a medida que se incrementa la cantidad de proyectos en el portafolio, los retornos se diversifican, pero a la vez es necesario conseguir un mayor monto de capital. Si se realizan 150 proyectos que individualmente cuestan USD 200 millones se tendría que recaudar USD 30 mil millones. Este es un monto relativamente alto si se considera que las VC en Estados Unidos recaudaron en total USD 74.5 mil millones en 2020 (NVCA, 2021). Sin embargo, recaudar montos grandes de capital en el mercado público es más fácil que en el mercado privado²¹ (Hull, 2017). Además, el contexto económico de tasas de interés bajas permite que la financiación a través de deuda sea poco costosa y es de esperar que la tasa de interés natural se mantenga relativamente baja debido a factores demográficos (Hong & Shell, 2019).

El megafondo podría incorporar proyectos con bajo retorno esperado si su inclusión permite reducir la correlación entre activos. Sin embargo, el sector privado por sí solo tendría incentivos a subinvertir en proyectos cuyos beneficios sociales superen los beneficios privados. Por ejemplo, las biotecnológicas enfocadas en enfermedades infecciosas emergentes como Zika y Ébola (Vu, Kaplan, Chaudhuri, Monsoura, & Lo, 2020), biotecnológicas que buscan crear medicamentos contra el Alzheimer (Lo, Ho, Cummings, & KosiK, 2014) y gran parte de la industria de cleantech (Gaddy, Sivaram, & O'Sullivan, 2016). Por ese motivo, el gobierno tiene incentivos a compartir el riesgo de comercializar la innovación. Una forma eficiente de lograr esto es respaldar con garantías los bonos emitidos por el RBO donde el gobierno promete absorber las pérdidas iniciales del portafolio hasta un monto determinado (Chaudhuri, et al., 2018).

Por último, los RBO son difíciles de implementar porque requieren de un gran número de personas especializadas: inversionistas institucionales, desarrolladores de medicamentos, un comité científico, un fideicomisario (*trustee*), administradores del colateral, agencias acreditadoras de riesgo, reguladores y legisladores. Además, los contratos de esta clase de productos titulizados son bastante complejos porque deben considerar diversos escenarios como, por ejemplo, ¿qué sucede si el RBO no consigue adquirir suficiente número de proyectos? (Stein, 2017).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

²¹ Esto se puede comprobar si se compara la deuda corporativa no financiera en Estados Unidos de USD 11.4 billones con los USD 548.2 mil millones que gestiona las VC en Estados Unidos (FRED, 2021; NVCA, 2021).

Las investigaciones han demostrado que es posible que un megafondo compuesto por una gran cantidad de proyectos intensivos en I+D y no correlacionados pueda albergar un tramo senior de tamaño considerable con calificación crediticia AAA y un tramo equity con retornos ajustados por riesgo atractivos. Además, otras investigaciones han demostrado que se puede contar con una estructura cada vez más sólida cuando los tramos de deuda no son cupón cero, la estructura del RBO cuenta con mejoras crediticias y los proyectos son escogidos cuidadosamente para que generen flujos de caja a lo largo del periodo de vida del RBO.

Aunque, aún se requiere de más investigaciones para incorporar otros sectores además del de biotecnología y la implementación del RBO en el mercado financiero se prevé laboriosa, el impacto que el RBO podría tener en la sociedad al permitir financiar soluciones a problemas globales la convierte en una herramienta valiosa. Podría brindar la posibilidad de que se financie a la vez proyectos que busquen crear curas contra enfermedades como el cáncer, crear inventos que busquen mitigar el impacto del cambio climático, perfeccionar o encontrar nuevas fuentes de generación de energía limpia, entre otros proyectos que serían difíciles de financiar individualmente.

Asimismo, el RBO podría permitir que los proyectos sean financiados desde sus etapas iniciales hasta la comercialización de sus productos. Esto a su vez evitaría que sean víctimas de los “valles de la muerte” porque no tendrían problemas para acceder a capital durante etapas tempranas. Incluso, podría evitar que estos proyectos se vean afectados por el ciclo crediticio una vez que el RBO haya obtenido el capital suficiente para financiar todas las etapas de I+D.

Por último, este producto titulizado no solo podría ser beneficioso para la sociedad, sino para los mercados financieros porque podría brindar algo apreciado y poco observado: un activo financiero con bajo riesgo sistemático. Sin embargo, aún es necesario que se realicen más análisis sobre cómo la estructura del RBO puede reducir el riesgo de financiamiento de los proyectos y cómo esto podría disminuir el coeficiente beta del megafondo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

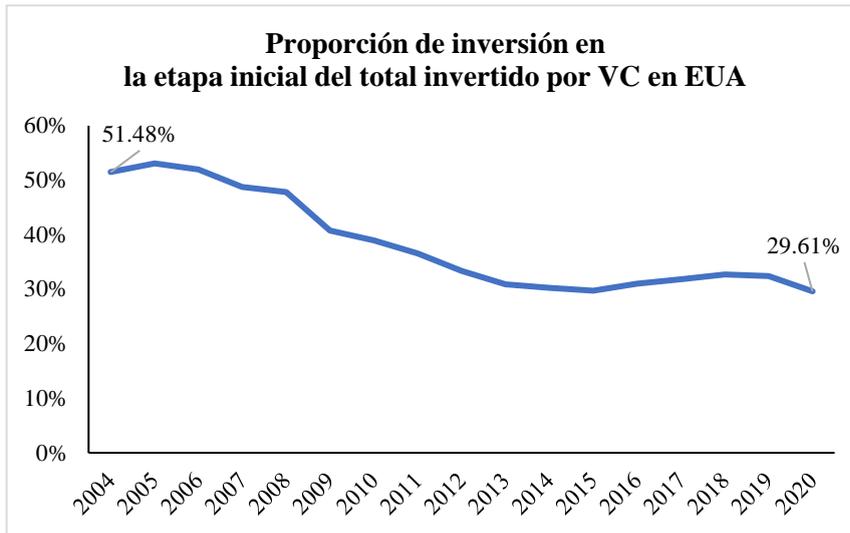
- Andre Cappon, A. G. (2018). Credit Ratings, Default Probabilities, and Logarithms. *The Journal of Structured Finance*. doi:10.3905/jsf.2018.24.1.039
- Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J. (2018). *Investments*. McGraw-Hill.
- Chaudhuri, S., Cheng, K., Lo, A. W., Pepke, S., Rinaudo, S., Roman, L., & Spencer, R. (2018). A Portfolio Approach to Accelerate Therapeutic Innovation in Ovarian Cancer. *SSRN*. doi:10.2139/ssrn.3286330
- Choudhry, M., & Wilcox, S. E. (2020). Fixed- Income Securities: Defining Elements. In CFA Institute, *Fixed Income and Derivatives*.
- Coval, J., Jurek, J., & Stafford, E. (2009). The Economics of Structured Finance. *Journal of Economic Perspectives*. doi:10.1257/jep.23.1.3
- DBRS. (2010). *Rating Global Film Rights Securitizations*.
- Delivorias, A. (2015). *Understanding Securitization: Background, benefits and risks*. European Parliamentary Research Service.
- Fabozzi, F. J., & Kothari, V. (2008). *Introduction to Securitization*. Wiley.
- Fagnan, D. E., Fernandez, J.-M., & Lo, A. W. (2013). Can Financial Engineering Cure Cancer? *American Economic Association*. doi:10.1257/aer.103.3.406
- Fagnan, D. E., Gromatzky, A. A., Stein, R. M., Fernandez, J.-M., & Lo, A. W. (2014). Financing drug discovery for orphan diseases. *Drug Discov Today*. doi:10.1016/j.drudis.2013.11.009
- Fagnan, D. E., Yang, N. N., McKew, J. C., & Lo, A. W. (2015). Financing translation: Analysis of the NCATS rare-diseases portfolio. *Science Translational Medicine*. doi:10.1126/scitranslmed.aaa2360
- Fernandez, J.-M., Stein, R. M., & Lo, A. W. (2012). Commercializing Biomedical Research Through Securitization Techniques. *Nature Biotechnology*. doi:10.1038/nbt.2374
- FRED. (2021, 12 25). Nonfinancial Corporate Business; Debt Securities and Loans; Liability, Level. United States.
- Fujii, M. (2010). Securitized Products, Financial Regulation, and Systematic Risk. *ADB Working Paper Series*.

- Gaddy, B., Sivaram, V., & O'Sullivan, F. (2016). Venture Capital and Cleantech: The Wrong Model for Clean Energy Innovation. *MIT Energy Initiative*. doi:10.1016/j.enpol.2016.12.035
- Giaccoto, C., Golec, J., & Vernon, J. (2011). New Estimates of the Cost of Capital for Pharmaceutical Firms. *Journal of Corporate Finance*. doi:10.1016/j.jcorpfin.2011.02.003
- Gompers, P., & Lerner, J. (2004). *The Venture Capital Cycle*. MIT Press.
- Gompers, P., Kovner, A., Lerner, J., & Scharfstein, D. (2008). Venture capital investment cycles: The impact of public markets. *Journal of Financial Economics*. doi:10.1016/j.jfineco.2006.12.002
- Hong, S., & Shell, H. G. (2019). Factors Behind the Decline in the U.S. Natural Rate of Interest. *Federal Reserve Bank of St. Louis*. doi:10.20955/es.2019.11
- Howell, S. T., Lerner, J., Nanda, R., & Townsend, R. R. (2020). How Resilient is Venture-Backed Innovation? Evidence from Four Decades of U.S. Patenting. *National Bureau of Economic Research*. doi:10.3386/w27150
- Hull, J. (2017). Funding Long Shots. *Healthcare Finance [MOOC]*. MITx.
- Hull, J. (2018). *Risk Management and Financial Institutions*. Wiley.
- Hull, J., Lo, A. W., & Stein, R. (2019). Funding Long Shots. *Journal of Investment Management*. doi:10.2139/ssrn.3058472
- Kaplan, S. N., & Schoar, A. (2005). Private Equity Performance: Returns, Persistence, and Capital Flows. *The Journal of Finance*. doi:10.1111/j.1540-6261.2005.00780.x
- Kothari, V. (2006). *Securitization: The Financial Instrument of the Future*. John Wiley & Sons.
- Legorretta, P. (2017). Royalty Pharma. *Healthcare Finance [MOOC]*. MITx.
- Lo, A. W. (2021a). Can Financial Economics Cure Cancer? *Atlantic Economic Journal*. doi:10.1007/s11293-021-09704-7
- Lo, A. W. (2021b). New Funding Models for Biomedical Innovation [Conferencia]. Princeton Economics.
- Lo, A. W., & Siah, K. W. (2021). Financing Correlated Drug Development Projects. *The Journal of Structured Finance*. doi:10.3905/jsf.2020.1.114
- Lo, A., Ho, C., Cummings, J., & KosiK, K. S. (2014). Parallel Discovery of Alzheimer's Therapeutics. *Science Translational Medicine*. doi:10.1126/scitranslmed.3008228

- Metrick, A., & Yasuda, A. (2011). *Venture Capital and the Finance of Innovation*.
- Nanda, R., & Rhoades-Kropf, M. (2016). Financing Risk and Innovation. *Management Science*. doi:10.1287/mnsc.2015.2350
- NVCA. (2021). *National Venture Capital Association Yearbook*.
- S&P Global Ratings. (2021). *2020 Annual Global Corporate Default And Rating Transition Study*.
- Scannell, J. W., Blanckley, A., Boldon, H., & Warrington, B. (2012). Diagnosing the decline in pharmaceutical R&D efficiency. *Nature Reviews*. doi:10.1038/nrd3681
- Stanley, M. (2010). Pharmaceuticals: Exit research and create value. *Morgan Stanley*.
- Stein, R. (2017). Research-Backed Obligations. *Healthcare Finance [MOOC]*. MITx.
- Thakor, R. T., Anaya, N., Zhang, Y., Vilanilam, C., Siah, K. W., Wong, C. H., & Lo, A. W. (2017). Just how good an investment is the biopharmaceutical sector? *Nature Biotechnology*. doi:10.1038/nbt.4023
- Vrueh, R. d., Baekelandt, E., & Haan, J. d. (2013). Priority Medicines for Europe and the World "A Public Health Approach to Innovation". In *Rare Diseases*. World Health Organisation.
- Vu, J. T., Kaplan, B. K., Chaudhuri, S., Monsoura, M. K., & Lo, A. W. (2020). Financing Vaccines for Global Health Security. *medRxiv*. doi:10.1101/2020.03.20.20039966
- Wong, C. H., Siah, K. W., & Lo, A. W. (2019). Estimation of clinical trial success rates and related parameters. *Biostatistics*. doi:10.1093/biostatistics/kxx069

Gráficos

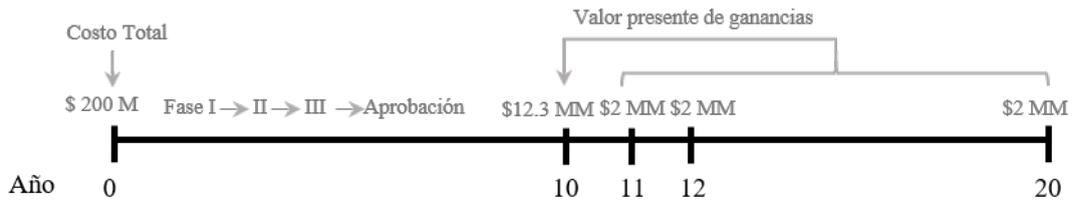
Gráfico 1: Inversión de las VC en la etapa inicial.



Fuente: National Venture Capital Association (2021)

Elaboración propia

Gráfico 2: Flujos de caja del proyecto.

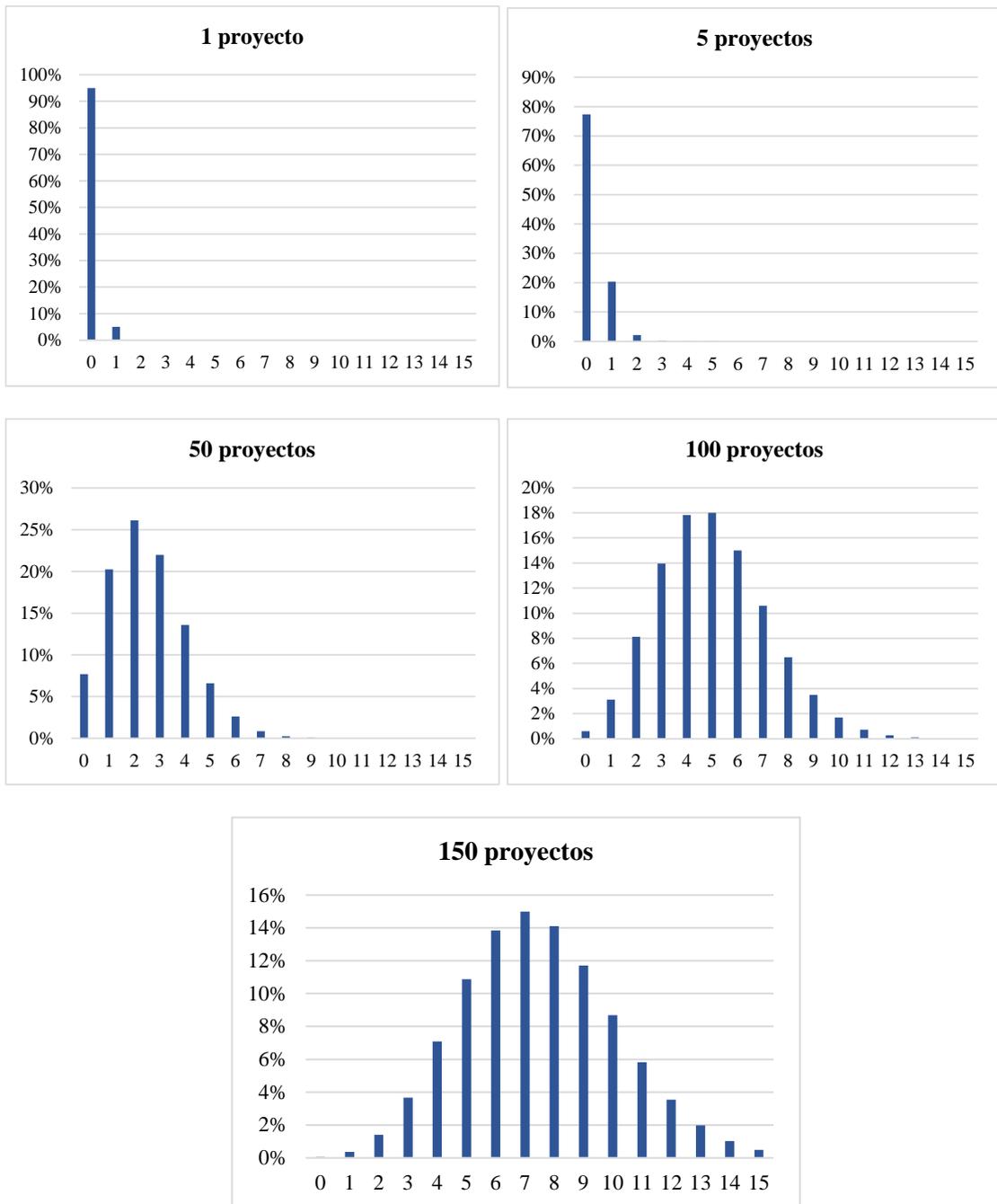


Nota. M es millones y MM es miles de millones.

Fuente: Fernandez et al. (2012); Fagnan et al. (2013), Hull et al. (2019) y Lo (2021a).

Elaboración propia

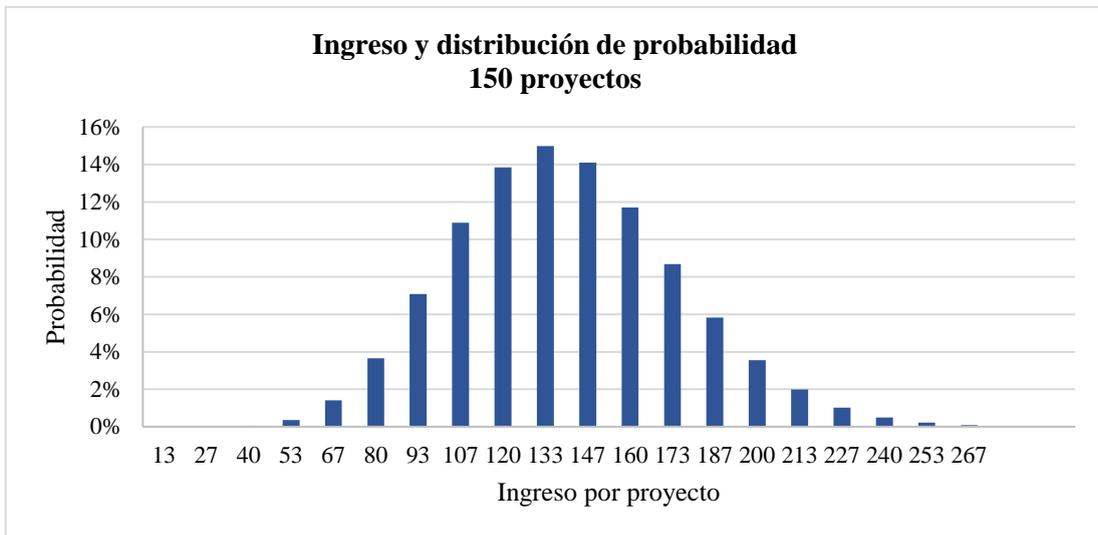
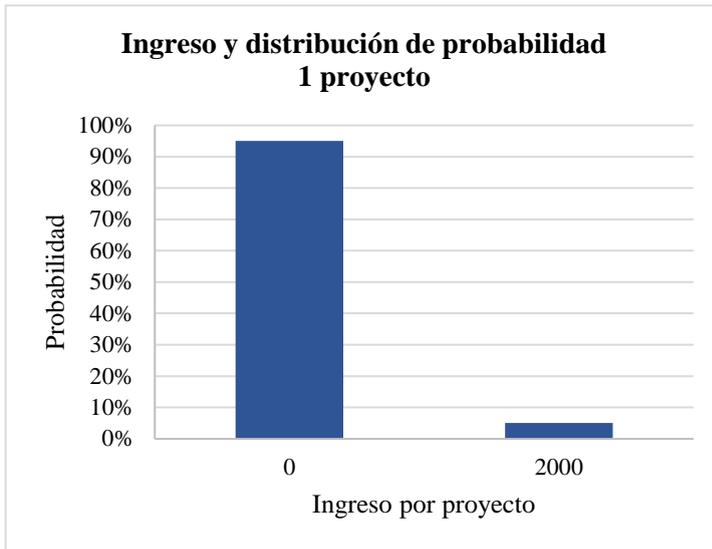
Gráfico 3: Distribuciones de probabilidad y casos exitosos por número de proyectos agrupados.



Fuente: Hull et al. (2019)

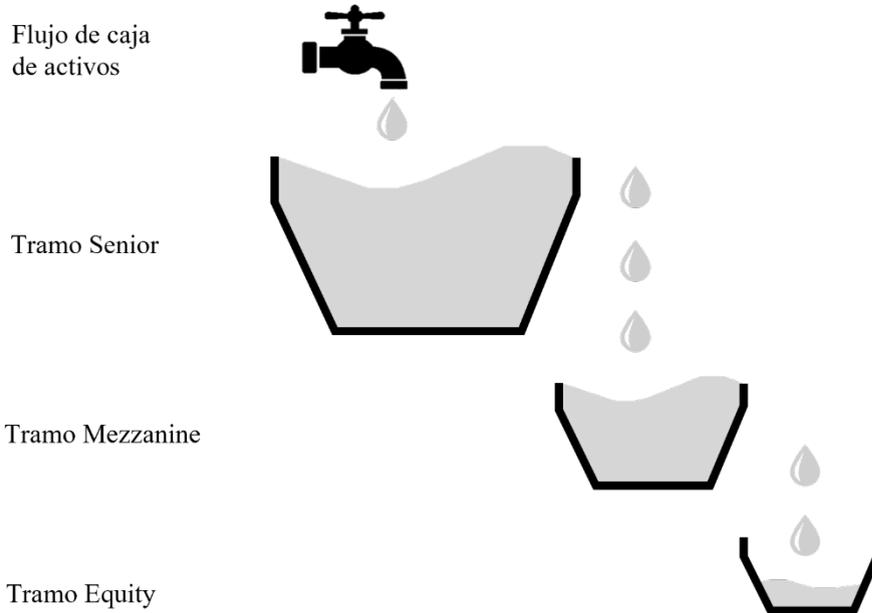
Elaboración propia

Gráfico 4: Distribuciones de probabilidad e ingresos por proyecto.



Elaboración propia

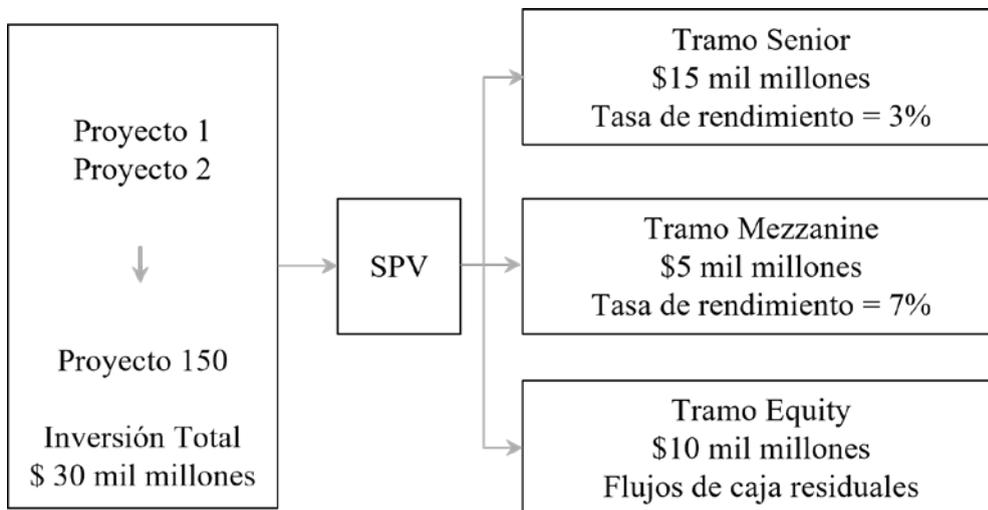
Gráfico 5: Distribución de flujos de caja a distintos tramos.



Fuente: Hull (2018)

Elaboración propia.

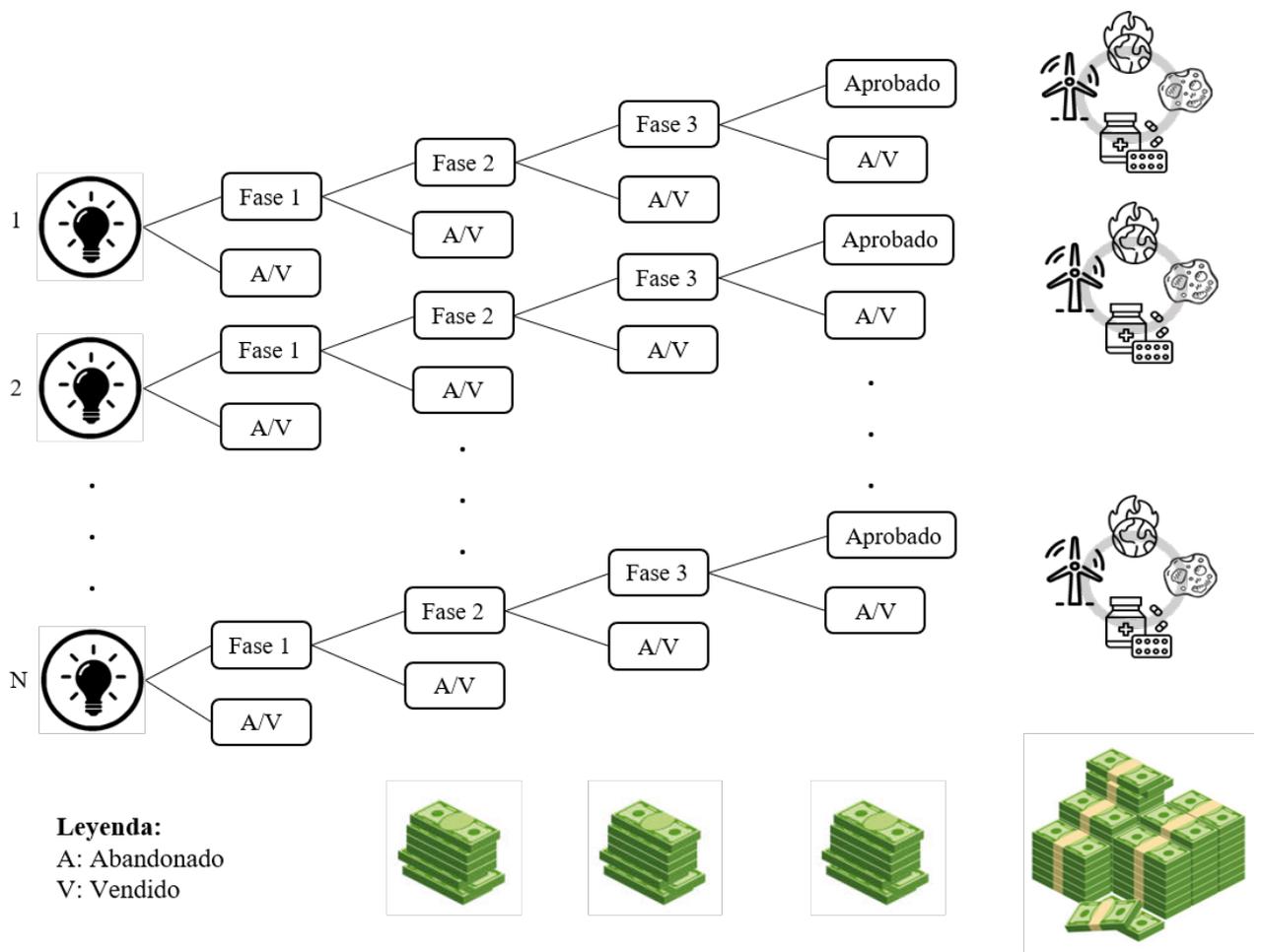
Gráfico 6: Ejemplo de titulización.



Fuente: Hull et al. (2019)

Elaboración propia

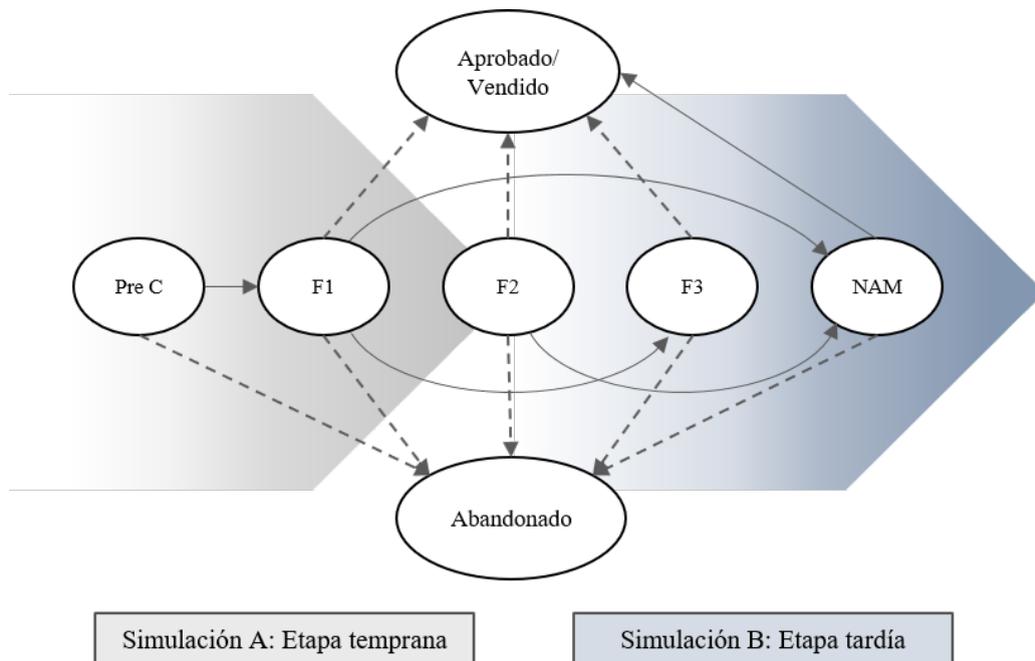
Gráfico 7: Proyectos con flujos de caja intermedios.



Fuente: Stein (2017)

Elaboración propia

Gráfico 8: Titulización en dos simulaciones.

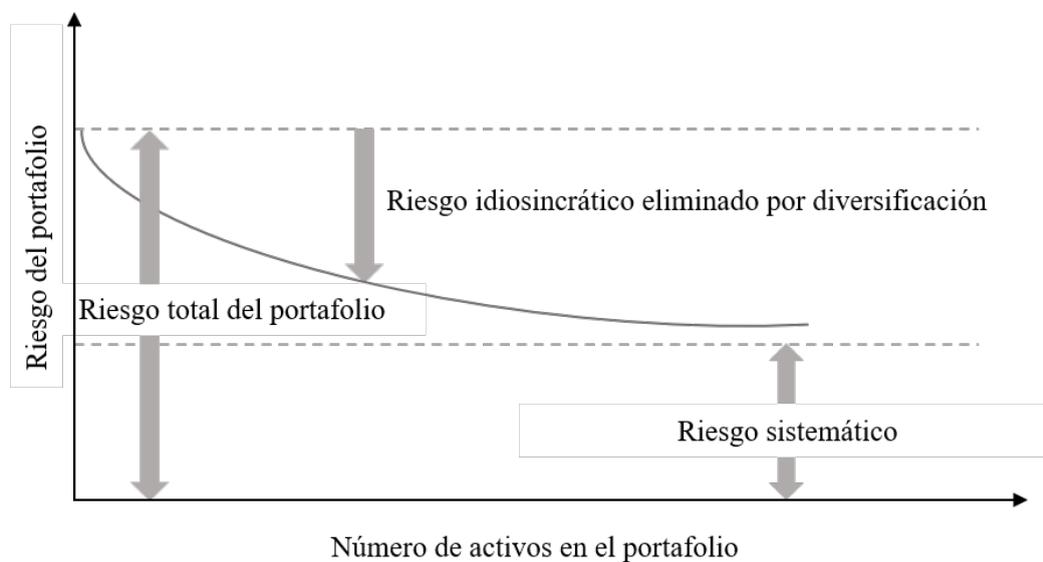


Nota. NAM: Nueva Aplicación de Medicamento.

Fuente: Fernandez et al. (2012).

Elaboración propia

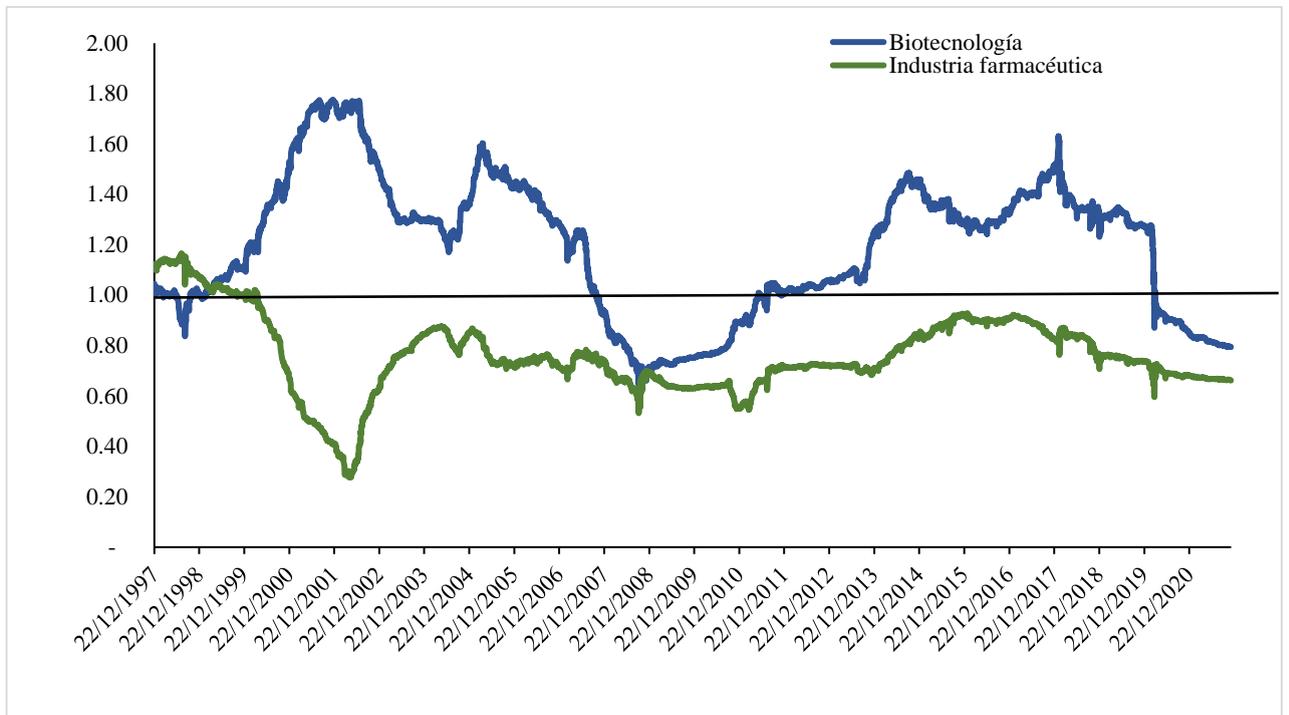
Gráfico 9: Riesgo idiosincrático y riesgo sistemático.



Fuente: Hull (2018).

Elaboración propia.

Gráfico 10: Coeficientes betas de la industria de biotecnología y la industria farmacéutica con ventanas móviles de 500 días (03 enero de 1996 – 24 noviembre de 2021).

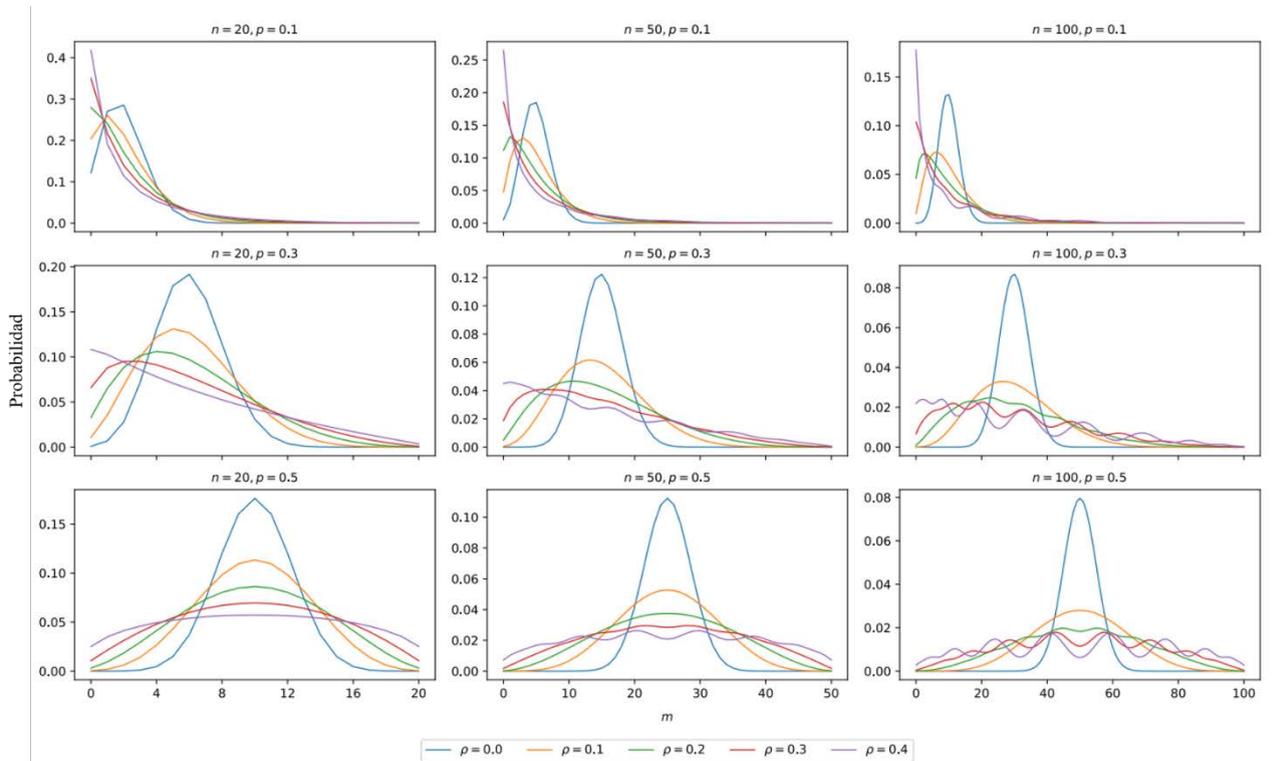


Nota. El índice de biotecnología usado fue NYSE ARCA Biotechnology Index y el de la industria farmacéutica fue NYSE ARCA Pharmaceutical Index.

Fuente: Bloomberg y Lo (2021a).

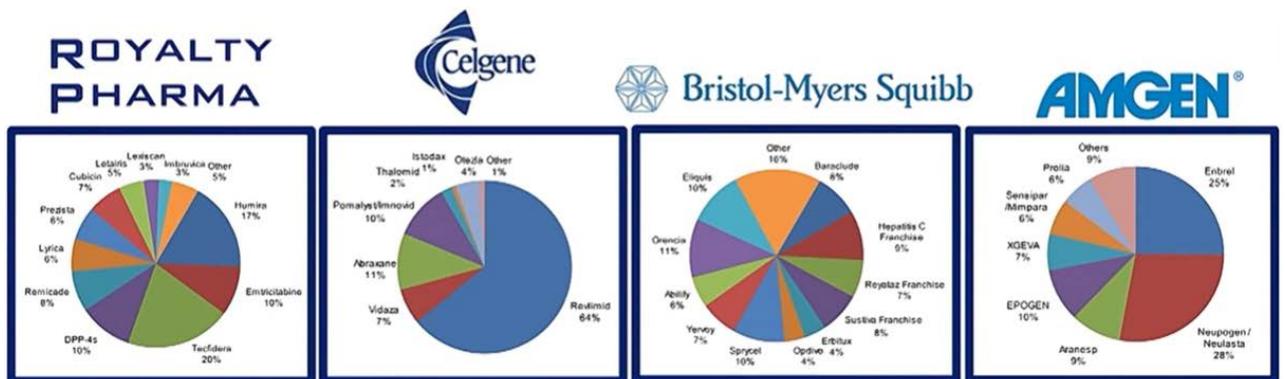
Elaboración propia.

Gráfico 11: Distribución de número de proyectos exitosos usando cópula gaussiana.



Fuente: Lo y Siah (2021)

Gráfico 12: Compañías de regalías biofarmacéuticas.



Fuente: Legoretta (2017)

Tablas

Tabla 1: Tasas acumuladas de incumplimiento promedio globales corporativas (1981-2020) (%)

Calificación crediticia	Horizonte de tiempo														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
AAA	0.00	0.03	0.13	0.24	0.34	0.45	0.51	0.59	0.64	0.70	0.72	0.75	0.78	0.84	0.90
AA	0.02	0.06	0.11	0.21	0.30	0.41	0.49	0.56	0.63	0.70	0.76	0.82	0.88	0.93	0.99
A	0.05	0.13	0.22	0.33	0.46	0.60	0.76	0.90	1.05	1.20	1.34	1.46	1.59	1.71	1.84
BBB	0.16	0.43	0.75	1.14	1.54	1.94	2.27	2.61	2.93	3.24	3.55	3.80	4.03	4.28	4.54
BB	0.63	1.93	3.46	4.99	6.43	7.75	8.89	9.90	10.82	11.64	12.33	12.99	13.59	14.09	14.65
B	3.34	7.80	11.75	14.89	17.35	19.36	20.99	22.31	23.50	24.62	25.58	26.31	26.99	27.63	28.24
CCC/C	28.30	38.33	43.42	46.36	48.58	49.61	50.75	51.49	52.16	52.76	53.21	53.68	54.23	54.69	54.76
Grado de inversión	0.09	0.24	0.41	0.63	0.86	1.09	1.30	1.50	1.69	1.88	2.05	2.20	2.35	2.49	2.65
Grado especulativo	3.71	7.19	10.18	12.63	14.64	16.30	17.68	18.83	19.86	20.81	21.61	22.29	22.93	23.49	24.04
Todo	1.53	3.00	4.27	5.35	6.25	7.01	7.64	8.18	8.67	9.12	9.50	9.83	10.13	10.41	10.69

Fuente: S&P Global Ratings (2021)

Tabla 2: Número de proyectos exitosos con probabilidad de éxito individual de 10% y 150 proyectos independientes.

Número de éxitos (X)	Probabilidad de que ocurra al menos X número de éxitos	Probabilidad de que no ocurra al menos X número de éxitos
1	100.00%	0.00%
2	100.00%	0.00%
3	100.00%	0.00%
4	99.99%	0.01%
5	99.95%	0.05%
6	99.81%	0.19%
7	99.44%	0.56%
8	98.60%	1.40%
9	96.93%	3.07%
10	94.00%	6.00%

Elaboración propia

Tabla 3: Resultados de simulaciones de titulización con flujos de caja al final.

Proyecto E[R]	Probabilidad de éxito	Tramo equity	Número de proyectos					
			50	100	150	200	300	400
0% de correlación entre proyectos								
10%	5%	Tamaño min.	100.00%	77.03%	66.17%	49.25%	30.73%	26.00%
		E[Re]	10.00%	10.87%	12.30%	14.48%	19.68%	22.80%
		SRe	0.23	0.28	0.35	0.39	0.46	0.56
	10%	Tamaño min.	77.03%	46.84%	29.12%	20.26%	10.60%	5.16%
		E[Re]	10.86%	15.62%	20.96%	26.13%	38.44%	56.49%
		SRe	0.29	0.42	0.5	0.56	0.69	0.8
15%	Tamaño min.	50.86%	29.12%	16.77%	10.60%	5.00%	5.00%	
	E[Re]	13.79%	20.95%	29.48%	38.42%	57.79%	58.71%	
	SRe	0.34	0.51	0.62	0.71	0.88	1.05	
20%	5%	Tamaño min.	100.00%	64.52%	47.73%	21.59%	5.00%	5.00%
		E[Re]	20.00%	25.31%	30.79%	47.28%	92.79%	94.37%
		SRe	0.40	0.53	0.66	0.74	0.92	1.10
	10%	Tamaño min.	64.52%	17.87%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
		E[Re]	25.31%	52.95%	93.77%	94.37%	94.37%	94.37%
		SRe	0.55	0.78	0.97	1.13	1.38	1.60
	15%	Tamaño min.	24.07%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
		E[Re]	44.16%	93.77%	94.37%	94.37%	94.37%	94.37%
		SRe	0.67	0.99	1.23	1.42	1.74	2.01
5% de correlación entre proyectos								
10%	5%	Tamaño min.	100.00%	100.00%	84.69%	77.03%	75.43%	74.62%
		E[Re]	10.00%	10.00%	10.54%	10.89%	11.34%	11.56%
		SRe	0.18	0.22	0.22	0.22	0.24	0.25
	10%	Tamaño min.	100.00%	77.03%	67.77%	67.68%	61.54%	58.46%
		E[Re]	10.00%	10.87%	11.80%	12.31%	12.91%	13.25%
		SRe	0.24	0.25	0.26	0.28	0.29	0.29
15%	Tamaño min.	84.69%	66.17%	59.99%	56.90%	53.82%	52.27%	
	E[Re]	10.52%	12.32%	13.12%	13.58%	14.07%	14.34%	
	SRe	0.27	0.30	0.31	0.32	0.33	0.33	
20%	5%	Tamaño min.	100.00%	100.00%	76.34%	64.52%	62.04%	60.79%
		E[Re]	20.00%	20.00%	23.12%	25.34%	26.30%	26.80%
		SRe	0.32	0.39	0.40	0.41	0.44	0.45
	10%	Tamaño min.	100.00%	64.52%	50.21%	50.06%	40.57%	35.83%
		E[Re]	20.00%	25.31%	29.50%	30.13%	33.88%	36.26%
		SRe	0.43	0.46	0.49	0.52	0.54	0.54
15%	Tamaño min.	76.34%	47.73%	38.19%	33.42%	28.65%	26.26%	
	E[Re]	23.10%	30.80%	35.07%	37.82%	41.17%	43.15%	
	SRe	0.49	0.55	0.58	0.60	0.67	0.63	

Nota. E[Re]: Retorno esperado y SRe: Ratio de Sharpe esperado.

Fuente: Hull et al. (2019)

Tabla 4: Número de proyectos exitosos con probabilidad de éxito individual de 10%, 150 proyectos independientes y una correlación entre activos de 5%.

Número de éxitos (X)	Probabilidad de que ocurra al menos X número de éxitos	Probabilidad de que no ocurra al menos X número de éxitos
1	99.97%	0.03%
2	99.80%	0.20%
3	99.34%	0.66%
4	98.40%	1.60%
5	96.81%	3.19%
6	94.44%	5.56%
7	91.24%	8.76%
8	87.24%	12.76%
9	82.51%	17.49%
10	77.19%	22.81%

Fuente: Hull (2017)

Elaboración propia

Tabla 5: Resultados de simulaciones de una titulización en dos etapas.

Variable	Simulación A		Simulación B	
	Todo equity	RBO	Todo equity	RBO
Número de proyectos				
Preclínica	50	100	-	-
Fase 1	50	100	-	-
Fase 2	-	-	40	100
Fase 3	-	-	-	-
Progresos en las investigaciones				
Número de proyectos en alcanzar la fase 2	52.8	101.7	-	-
Número de proyectos vendidos en fase 3 o NAM	0.9	2.3	6.0	21.3
Número de proyectos aprobados vendidos	0.6	1.0	5.1	7.6
Pasivos				
Capital (\$ millones)	2,500	5,000	6,000	15,000
Tramo senior (\$ millones)	-	1,250	-	6,000
Tramo subordinado (\$ millones)	-	1,250	-	3,000
Tramo patrimonio (\$ millones)	2,500	2,500	6,000	6,000
Rentabilidad del tramo equity				
Promedio anualizado del ROE	7.2%	8.9%	7.2%	11.4%
Prob. (ROE<0)	17%	20%	17%	10%
Prob. (ROE>5%)	61%	68%	63%	79%
Prob. (ROE>15%)	15%	35%	14%	40%
Rentabilidad de los tramos de deuda				
Tramo Senior: prob. de incumplimiento, pérdida esperada (pb)	-	1, <1	-	6, <1
Tramo Subordinado: prob. de incumplimiento, pérdida esperada (pb)	-	87, 27	-	60, 30

Nota. NAM: Nueva Aplicación de Medicamento, pb: puntos básicos.

Fuente: Fernandez et al. (2012).

Tabla 6: Simulación de un megafondo compuesto únicamente por proyectos que busquen combatir enfermedades raras.

Resultados	(1) Estructuración ligera, cupón cero	(2) Estructuración ligera, cupón semestral	(3) Estructuración más completa, cupón semestral	(4) Solo equity
Prob. de incumplimiento del tramo senior	9.40%	1.20%	7 pbs	-
Calificación crediticia próxima	BB / BB-	A- / BBB+	AAA	-
Prob. de incumplimiento del tramo subordinado	22.1%	4.4%	1.7%	-
Calificación crediticia próxima	B / B-	BBB- / BB+	BBB+ / BBB	-
ROE (promedio)	15.0%	10.8%	13.8%	10.1%
Prob. (pérdida en el tramo equity)	17.3%	18.4%	14.5%	19.9%
Prob. (ROE>25%)	34.3%	23.2%	27.7%	9.9%
Promedio de proyectos en cada etapa	2.7 / 4.3	3.6 / 3.5	2.9 / 4.2	0.9 / 2.4

Nota. (1) Cupón cero sin mejoras crediticias, (2) cupón semestral sin mejoras crediticias y (3) cupón semestral con requerimientos de coberturas, reservas y sobrecolateral.

Fuente: Hull et al. (2019)

Tabla 7: Simulación con distintos montos de garantías y niveles de correlación en un portafolio de enfermedades raras sin requerimiento de coberturas.

Resultados	Sin requerimientos de cobertura											
	Correlación 15%				Correlación 30%				Correlación 45%			
	Sin garantía	Garantía 1	Garantía 2	Garantía 3	Sin garantía	Garantía 1	Garantía 2	Garantía 3	Sin garantía	Garantía 1	Garantía 2	Garantía 3
Tramo senior												
Prob. incumplimiento, pérdida esp. (%)	1.267, 0.042	0.002, <0.001	0.001, <0.001	<0.001, <0.001	1.421, 0.049	0.011, <0.001	0.003, 0.001	0.001, <0.001	1.687, 0.061	0.046, 0.004	0.014, 0.001	0.001, <0.001
Calificación crediticia próxima	A- / BBB+	AAA	AAA	AAA	A- / BBB+	AAA	AAA	AAA	A- / BBB+	AAA	AAA	AAA
Tramo subordinado												
Prob. incumplimiento, pérdida esp. (%)	7.26, 2.16	7.05, 1.84	6.10, 1.26	3.87, 0.56	9.87, 3.28	9.42, 2.77	8.25, 1.98	5.58, 1.00	12.46, 4.64	11.96, 4.05	10.63, 3.01	7.83, 1.77
Calificación crediticia próxima	BB+ / BB	BB+ / BB	BB+ / BB	BBB- / BB+	BB	BB	BB	BBB- / BB+	BB- / B+	BB- / B+	BB- / B+	BB+ / BB
Costo promedio de la garantía (en M\$)	-	-2.305	-5.059	-8.527	-	-2.467	-5.484	-9.439	-	-2.639	-5.940	-10.337
Probabilidad de usar la garantía	-	24.2%	24.2%	24.2%	-	25.7%	25.7%	25.7%	-	27.3%	27.3%	27.3%

Nota. Garantía 1: USD 11.5 millones, Garantía 2: USD 28.75 millones y Garantía 3: USD 57.5 millones. Se estimó la calificación crediticia próxima utilizando la tasa acumulada de incumplimiento del S&P Global Ratings.

Fuente: Fagnan et al. (2014)

Elaboración propia.

Tabla 8: Simulación con distintos montos de garantías y niveles de correlación en un portafolio de enfermedades raras con requerimiento de coberturas.

Resultados	Con requerimientos de cobertura											
	Correlación 15%				Correlación 30%				Correlación 45%			
	Sin garantía	Garantía 1	Garantía 2	Garantía 3	Sin garantía	Garantía 1	Garantía 2	Garantía 3	Sin garantía	Garantía 1	Garantía 2	Garantía 3
Tramo senior												
Prob. incumplimiento, pérdida esp. (%)	0.005, <0.001	0.001, <0.001	0.001, <0.001	<0.001, <0.001	0.027, 0.003	0.011, 0.001	0.004, <0.001	<0.001, 0.001	0.096, 0.012	0.048, 0.005	0.015, 0.001	0.001, <0.001
Calificación crediticia próxima	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA	AAA
Tramo subordinado												
Prob. incumplimiento, pérdida esp. (%)	2.95, 0.78	2.44, 0.60	1.79, 0.40	0.96, 0.18	5.81, 1.89	5.06, 1.54	4.05, 1.12	2.61, 0.61	9.14, 3.51	8.19, 2.98	6.86, 2.25	4.84, 1.35
Calificación crediticia próxima	BBB-	BBB- / BBB	BBB	BBB+ / A-	BB+ / BBB-	BB+ / BBB-	BB+ / BBB-	BBB-	BB	BB	BB+ / BB	BB+ / BB
Costo promedio de la garantía (en M\$)	-	-0.288	-0.623	-0.995	-	-0.578	-1.306	-2.201	-	-0.915	-2.110	-3.660
Probabilidad de usar la garantía	-	3.1%	3.1%	3.1%	-	6.0%	6.0%	6.0%	-	9.3%	9.3%	9.3%

Nota. Garantía 1: USD 11.5 millones, Garantía 2: USD 28.75 millones y Garantía 3: USD 57.5 millones. Se estimo la calificación crediticia próxima utilizando la tasa acumulada de incumplimiento del S&P Global Ratings.

Fuente: Fagnan et al. (2014)

Elaboración propia.