XXXIV Jornadas Nacionales de Administración Financiera
Septiembre 2014

LA VALUACIÓN DE ACTIVOS Y LOS PROCESOS DE SIMULACIÓN Fundamentación matemática y la ON XXXI de YPF como caso de aplicación

Alejandro Bartolomeo

Universidad Nacional de Cuyo

Para comentarios: alejandrobartolomeo@gmail.com

1. Introducción

La idea de este trabajo es servir de introducción teórica a trabajos más específicos y profundos, relacionados con la aplicabilidad de procesos estocásticos de simulación en la valuación de activos.[1]

La propuesta seguida en el presente documento tiene dos partes bien diferenciadas. La primera trata de reflejar a través de una adecuada formulación matemática, cuáles son las **variables que intervienen en la determinación del valor de un activo**. Esta cuestión es básicamente económica e implica un **análisis marginal** en busca del valor óptimo de ese activo.

---

[1] Al respecto, se han presentado ante la SeCTyP de la Universidad Nacional de Cuyo (Convocatoria de Proyectos 2013/2015), y en los Programas para la Acreditación de Proyectos de Investigación (PROPAPI) 2013/2014 de la Facultad de Ciencias Económicas y Jurídicas de la Sede Mendoza de la Universidad Católica Argentina.

La aparición en la valuación de ciertos elementos que están asociados con la **aleatoriedad** da fundamento y sostén a la aplicación de **técnicas de simulación para determinar el valor de ciertos activos**. Todo este proceso económico se explica a través de algunas fórmulas matemáticas desarrolladas en el siguiente capítulo.

En la segunda parte del trabajo se trata de hacer un inventario resumido de los casos de aplicación. Es una visión previa a iniciar procesos de investigación más profundos, que permitan utilizar simulaciones en la valuación de activos. Se establecerán a priori, teniendo en cuenta cierta bibliografía especializada, algunos caminos a seguir en las investigaciones subsecuentes. Con la profundización de éstos, seguramente, se obtendrán algunas conclusiones que es posible que enriquezcan o por el contrario, hasta desechen lo dicho en este trabajo. Por eso, se insiste, lo que se establece en este trabajo proviene de una visión previa y hasta intuitiva, que podrá (o no) ser modificada.

2. El proceso de la determinación del valor de un activo

Más allá de cómo cuantificar el valor de un activo, la idea primaria es establecer el proceso de esta determinación y poder enunciarlo a través de alguna fórmula matemática. Para ello, debemos recurrir al análisis desde el punto de vista del individuo. La primera decisión a la que se enfrenta el individuo es cuánto de su riqueza consume hoy y por ende cuánto destina a ahorrar. Esta decisión es puramente económica y marginal. Es de fundamental importancia el **análisis marginal**, es decir, qué ocurre con los beneficios y costos que produce la decisión teniendo en cuenta un peso más, una unidad más o una pequeña porción de la variable en cuestión.

Como indica el economista de Harvard Gregory Mankiw en sus "Principios de economía", un principio que rige cómo las personas toman decisiones es que los individuos racionales piensan en términos marginales. Una persona, por ejemplo, puede evaluar decisiones tales como: tomar unas vacaciones, trabajar más horas o incluso tener un par de zapatos nuevos. Mankiw y otros economistas sostienen que los encargados de tomar decisiones racionales realizan una acción sólo si la satisfacción o beneficio adicional, conocido como el beneficio marginal, excede el costo adicional o marginal de hacerlo.

El análisis marginal examina cómo los costos y beneficios cambian en respuesta a los cambios incrementales en las acciones que se realizan para producir dichos cambios. Si se toma en una empresa, por ejemplo, la decisión de aumentar la producción deberemos recurrir al análisis marginal. Se conoce que el aumento de la producción de un producto por una unidad adicional implica obviamente un costo adicional. La cuestión central en el análisis marginal es si los beneficios esperados de ese aumento superan el costo añadido. En caso afirmativo, podrá tomarse la decisión de aumentar la producción. Se aumentará la producción hasta el momento en que se equiparen el costo marginal y el beneficio marginal.

Si se retorna a la decisión de cuánto consumir y cuánto ahorrar, en términos marginales, esto implica hablar de COSTOS de consumos postergados (invertidos en activos, hoy) y BENEFICIOS que produzca en el futuro esta postergación (mayores flujos de fondos producidos en el futuro por los activos en los que se ahorra hoy). Al decidir cuánto ahorrar y cuánto consumir también estamos decidiendo qué cartera de activos tener.

Según Cochrane, en su libro *Asset Pricing*, la ecuación básica de primer orden, en función de este análisis marginal indica que: la pérdida de la utilidad marginal de consumir un poco menos de riqueza hoy (o costo marginal), comprando activos DEBE SER IGUAL a la ganancia (o beneficio marginal) que se producirá en la utilidad marginal, por tener esos mayores flujos de fondos en el futuro (producidos por los activos comprados hoy).

El mismo autor sostiene que si el precio del activo y los pagos futuros que dicho activo produce no satisfacen esta relación, el inversor debe comprar más o menos de dicho activo para producir este equilibrio.

Nótese la importancia que tiene en el valor del activo, el flujo de fondos que dicho activo produce. Si los flujos netos de fondos son escasos o no existen, es probable que el activo no tenga valor. De otro modo, si los flujos que se esperan son generosos, el valor del activo será importante.

Si se sigue al mismo autor, debe notarse también que *"...el precio del activo debe ser igual al **valor esperado** de los flujos de fondos que el activo produce, usando la utilidad marginal del inversor para descontar el pago."*[2] *(1)*

Esta última afirmación hace pensar en dos aspectos. El primero es que se habla de un **valor esperado**. Inmediatamente, debemos esperar que estos flujos se produzcan con un mayor o menor grado de seguridad. El diferente grado de probabilidad de que estos flujos se produzcan tiene que ver con el riesgo que trae cualquier decisión que esté relacionada con un hecho futuro que no pueda precisarse con total certeza.

Cabe aclarar a esta altura que para valuar un activo se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

a) la primera, es la demora en el pago o cobro (recompensa por espera),
b) la segunda, es el riesgo de que ese pago o cobro no se produzca (compensación necesaria por cada unidad de riesgo asumido).

En el segundo aspecto deberán considerarse todas las cuestiones relativas al comportamiento del consumidor, su función de utilidad, su aversión al riesgo, etc.

El primer aspecto no es tan difícil de solucionar, de acuerdo a los elementos que nos brinda el Cálculo Financiero. Pero el segundo aspecto ofrece un campo mucho más amplio, interesante y hasta provocativo.

El segundo aspecto a considerar en la afirmación (1) es la tasa de valuación a utilizar para descontar el pago.

A partir de la obra citada de Cochrane, se puede afirmar que las tasas de interés están relacionadas con el crecimiento esperado de la utilidad marginal, y por lo tanto también están relacionadas a la trayectoria esperada del consumo. En una época de altas tasas de interés reales, tiene sentido ahorrar (comprando bonos, por ejemplo) consumir menos ahora y más en el futuro. Por lo tanto, las altas tasas de interés reales deben asociarse con mayor ahorro en el presente, menor consumo y expectativas de crecimiento del consumo en el futuro.

Es la utilidad marginal y no el consumo, la medida fundamental de cómo se siente el agente económico. La mayor parte de la teoría de la valoración de activos es acerca de cómo pasar del concepto de utilidad marginal a los indicadores que puedan ser observados y medidos. Obviamente, el consumo es bajo cuando la utilidad marginal es alta, por lo que el consumo puede ser un indicador útil. El consumo también es bajo y la utilidad marginal es alta cuando otros activos de los inversores se han desempeñado mal, por lo que podemos esperar que los precios sean bajos para los activos que covarían positivamente con un Índice que representa a la cartera de mercado. Este es el **Capital Asset Pricing Model (CAPM)**. Se pueden encontrar una amplia variedad de indicadores adicionales de utilidad marginal, contra los cuales se puede calcular una covarianza para predecir los ajustes por riesgo de precios.

---

[2] COCHRANE, John H. (2005), *Asset pricing* (Revised Ed.), Princeton University Press, p. 3.

3. Ecuación de precios básica según Cochrane

El autor citado expresa que en la búsqueda del valor de un activo determinado, el objetivo fundamental es fijar el valor de una serie de flujos de efectivo que no se conocen con exactitud. Puede empezarse con un caso sencillo, modelando situaciones muy generales.

Vamos a encontrar el valor en el momento t de un pago en x_{t+1}. Si usted compra una acción hoy, el pago del próximo período es el precio de la acción, más dividendos:

$$x_{t+1} = p_{t+1} + D_{t+1} \qquad \textit{Ec 1}$$

x_{t+1} es una variable aleatoria: un inversor no sabe exactamente cuánto va a obtener de su inversión, sino que puede evaluar la probabilidad de varios resultados posibles. No hay que confundir el flujo de fondos x_{t+1} con la ganancia o retorno; x_{t+1} es el valor de la inversión en el momento $t+1$, sin restar o dividir por el costo de la inversión.

Encontramos el valor de este pago al preguntar lo que vale para un inversor típico. Para ello, se necesita un formalismo matemático conveniente para capturar lo que quiere un inversor. Se establece un modelo del comportamiento de los inversionistas a través de una función de utilidad definida sobre los valores actuales y futuros del consumo.

4. La función de utilidad

La función de utilidad depende básicamente del consumo: del consumo en el momento t (C_t) y de **lo que se espera** consumir en el futuro, que se simboliza como C_{t+1}. Para representar esa función adecuadamente, se puede recurrir a una función del tipo:

$$U(C_t) = \frac{1}{1-\gamma} C_t^{\,1-\gamma}$$

Funciones de este tipo capturan la idea fundamental de que más consumo produce más utilidad. Es decir, que la función es creciente con respecto al consumo. Pero este crecimiento es a ritmo decreciente, es decir que la función es cóncava. Se suele representar esta idea con el ejemplo de que “el último bocado no es tan satisfactorio como el primero”.

Cabe aclarar además, que el consumo en el período $t+1$ es aleatorio. El inversor no conoce cuál será su riqueza en un futuro (momento $t+1$), y por ende, cuál será el nivel de consumo en ese momento. Por eso, se habla de consumo esperado en el momento $t+1$.

Según se mencionó anteriormente, existen dos dimensiones a tener en cuenta en la valuación de un flujo futuro de fondos: la impaciencia del inversor, que deberá ser recompensada y su aversión al riesgo que también deberá ser premiada para asumir posiciones riesgosas. La impaciencia mencionada puede representarse, descontando los valores futuros a una tasa β (beta) que se la suele denominar *factor de descuento subjetivo*.

La aversión al riesgo está representada por la curvatura de la curva de utilidad. Si bien la utilidad de consumir cada vez más aumenta, cada vez aumenta menos. Es decir, lo hace a una tasa cada vez menor. Esta característica está representada por la concavidad de la curva de utilidad con respecto al consumo.

Una vez dicho esto, se debe volver a la generalización de una fórmula de valuación para cualquier activo. Se asume que el inversor puede comprar o vender libremente al precio p_t un activo que produzca un flujo x_{t+1} en el período $t+1$.

La pregunta que sigue es, ¿cuánto debe comprar o vender a ese precio? Para ensayar una respuesta, debemos agregar dos variables más:

- e: nivel de consumo original, si el consumidor no comprara nada del activo
- ξ: cantidad del activo que el inversor elige comprar

Definidos estos elementos, lo que se busca entonces es:

$$\underset{\{\xi\}}{Max}\, u(c_t) + E_t\,[\beta\, u\,(c_{t+1})] \qquad \text{Ec 2}$$

Se desea, entonces, determinar el nivel del activo (*xsi*: ξ) que produzca la maximización de la utilidad del consumo generado, tanto para el período *t* como para el valor esperado en el período *t+1*. Para ello, se debe definir un par de restricciones adicionales:

a) la primera es que el consumo en el período *t* es igual al consumo (antes de comprar el activo al precio p_t, menos el valor del activo comprado (esto es : $p_t\,\xi$)

$$c_t = e_t - p_t\,\xi$$

b) la otra restricción a tener en cuenta es que el consumo en el período *t + 1* será el consumo original en ese período MÁS el flujo de fondos que produce el activo comprado en *t* y que produce su respectivo flujo en el período siguiente:

$$c_{t+1} = e_{t+1} + x_{t+1}\,\xi$$

Teniendo en cuenta estas dos restricciones e igualando a cero la derivada de la ecuación 2, se obtiene la condición de primer orden para un consumo en *t*:

$$p_t\, u'(c_t) = E_t\,[\beta\, u'(c_{t+1})\, x_{t+1}] \qquad \text{Ec 3}$$

Y, en definitiva, se puede escribir que el precio en el momento *t* es:

$$p_t = E_t\left[\beta\,\frac{u'(c_{t+1})}{u'(c_t)}\,x_{t+1}\right] \qquad \text{Ec 4}$$

En la ecuación 3 se ve expresado en términos matemáticos lo que se adelantó con anterioridad, con respecto a la importancia de la condición de marginalidad. Esta ecuación expresa la condición marginal para que se llegue a un óptimo.

El primer miembro de la ecuación 3 refleja la pérdida de utilidad (en el momento *t*) por haber destinado parte de nuestra riqueza a consumir el activo que se está tratando de valuar. Esta pérdida debe ser igual a la ganancia esperada (ya que se produce en un momento futuro (*t+1*) que ese mismo activo producirá, descontada convenientemente a la tasa β (factor de descuento subjetivo) para compensar la impaciencia del inversor. Se subraya la característica de marginalidad de esta ecuación (representada por la derivada de la función de utilidad con respecto al consumo). Se está evaluando la posibilidad de consumir una unidad más (o en general, una porción lo suficientemente pequeña) del activo en cuestión. El precio de ese activo será el que satisfaga esta condición de marginalidad. En definitiva, deberá ser tal que iguale el costo del sacrificio de resignar consumo al valor esperado del beneficio que ese sacrificio hoy tendrá en el momento *t+1*.

Como se observa, despejando el precio del activo, se obtiene la ecuación 4, que determina qué variables intervienen en la determinación del precio de un activo (p_t).

Esta última ecuación se suele reducir aún más, para llegar a una expresión breve, pero que involucre todos los elementos que son determinantes del precio de un activo.

Cochrane, en la obra citada, llega a una simplificación importante en la fórmula de la determinación del valor de cualquier activo. Si definimos un nuevo valor, que involucre parte del corchete del segundo miembro de la ecuación 4 y lo llamamos m_{t+1} , podríamos determinar que:

$$m_{t+1} = \beta\,\frac{u'(c_{t+1})}{u'(c_t)}$$

Este factor se suele denominar *factor estocástico de descuento*. La fórmula (4) podría ser reescrita como:

$$p_t = E_t\,[m_{t+1}\, x_{t+1}] \qquad \text{Ec 5}$$

Si se simplifica aun más la notación, se pueden suprimir también los subíndices que hacen referencia al momento en que se producen los flujos o las valuaciones. Se conoce que el precio a determinar siempre será en el momento actual, por lo que es redundante enunciarlo. De otro modo, también se sabe que los flujos son futuros y el factor de descuento se aplica sobre esos flujos futuros, por lo que su inclusión también es redundante. La esperanza que se tiene, respecto a esos flujos, está condicionada a las expectativas que hoy tenemos respecto de lo que pasará en el futuro. Por lo tanto la ecuación 5, puede ser reescrita de un modo más simple aún:

$$p = E\,[m\ x] \qquad \textit{Ec 6}$$

5. Validez del uso de simulaciones en la determinación del precio de un activo

Según Herrera Lana, E. (2011), el propósito de un modelo de simulación es realizar experimentos, generando escenarios aleatorios que muestren en forma objetiva lo que ocurrirá con las variables cuando los supuestos probabilísticos toman valores al azar. Por lo tanto, se tratará de aplicar los modelos de simulación cuando sea útil o posible aplicar la experimentación a través de la generación de escenarios aleatorios basados en ciertos supuestos que tomen valores al azar.

Como se ha visto en todo el desarrollo del punto anterior, desde las fórmulas enunciadas 2, 3, 4, 5 y 6, aparece permanentemente el **valor esperado**, ya sea explícita o implícitamente. Esta circunstancia justifica la posibilidad de incorporar la simulación en las valuaciones de activos, dependiendo de la mayor o menor certeza que se tenga, respecto de que los flujos involucrados se produzcan de acuerdo a un proceso con más o menos aleatoriedad. Por lo tanto, en principio, se puede justificar la incorporación de simulaciones a la valuación de activos desde este punto de vista. No obstante, existen casos más apropiados que otros. Dilucidar cuáles son los casos en los que vale la pena incorporar procesos de simulación estocástica, es el objetivo final de esta investigación. Pero, a través de la formulación matemática detallada, podemos encontrar que la simulación puede representar una herramienta importante en la búsqueda de la determinación del valor de un activo o inclusive de varios activos combinados.

Como plantea Herrera Lana, E. (2011) en todo modelo de simulación deben existir al menos dos tipos de variables: los supuestos probabilísticos y las variables de apuesta o pronóstico, propiamente dichas. Los primeros corresponden a aquellas variables independientes sobre las cuales se tiene cierta incertidumbre. Estas variables se representan mediante distribuciones de probabilidad, de forma que en el proceso de simulación se obtengan valores aleatorios de las distribuciones definidas. Las variables de apuesta o pronóstico son aquellas dependientes que soportan una decisión. Al ser dependientes, en el proceso de simulación, éstas variables mostrarán un impacto determinado por las variaciones aleatorias de los supuestos probabilísticos.

En todos los casos de valuación de activos en los que se vea la posibilidad de identificación de estos dos tipos de variables, se tratará de recurrir a la simulación, para lograr una valuación del activo, teniendo en cuenta la incertidumbre que lo rodea.

Si se revisan los casos de aplicación en particular, es posible distinguir un grupo de activos, generalmente llamado de **renta fija** (bonos, obligaciones negociables, y otros títulos valores) en el que los flujos son conocidos de antemano. De ahí su denominación de renta fija. La aleatoriedad tiene, en estos casos y desde este punto de vista, un peso relativo menos importante. Los flujos están definidos en las condiciones de emisión del título. Se podrían buscar otras cosas a simular, como la tasa de interés a utilizar en la valuación, pero el valor del activo es menos sensible a la tasa, dado que si bien puede tener una cierta variación, se puede afirmar que es relativamente pequeña.

En principio y salvo en algunos casos determinados, no existe demasiado interés en valuar flujos futuros conocidos, que se prometen en base a las condiciones de emisión del empréstito correspondiente. En un sentido contrario a lo que se acaba de decir, se puede afirmar que existen elementos aleatorios, que pueden ser medidos a través de simulaciones, en la valuación de títulos valores. Por ejemplo, se podría tener en cuenta la posibilidad de default del emisor.

Esta cuestión, generalmente se refleja en la tasa de valuación del título y no en la probabilidad de cobrar o no el flujo de fondos. Pero nada obsta a que se utilicen técnicas de valuación para incluir con una cierta probabilidad, la posibilidad del no pago o del pago parcial, por parte del emisor. En el mismo sentido y buscando otro ejemplo, se puede recordar que existen títulos valores que son condicionales, ya que dependen de una condición específica para que el flujo de fondos se produzca. El típico caso en Argentina, son los cupones PBI, en donde el pago del servicio del título estará supeditado a que el crecimiento del PBI supere un cierto valor. Si se da la condición, se realiza el pago. Obviamente que esta circunstancia debe ser tenida en cuenta en la valuación. El desafío es armar un modelo que trate de simular las condiciones que deberían darse para que el crecimiento necesario del PBI sobrepase el nivel requerido. Si se utiliza este modelo, se podría asignar una probabilidad a cada estado de la naturaleza y transformar una valuación tradicional a través del uso de la simulación.

Si se sigue con los casos de aplicación, se puede encontrar otro grupo de activos, llamados de **renta variable**. Por ejemplo, las acciones pertenecientes a Sociedades Anónimas. La posibilidad de simular flujos de fondos en estos casos, se vislumbra más amplia. Más allá de que el análisis necesita de una profundización importante, a priori, se puede afirmar que en este tipo de casos es donde podemos tratar de generar, a través de la simulación, las condiciones, interrelaciones y dependencias de las variables involucradas en el valor de un activo, en la generación de flujos de una empresa y en definitiva, en todos los elementos relacionados con el valor del título que representa una cierta proporción del valor de la empresa.

En este sentido, quizás sea posible conectar el valor de la acción con los principios de valuación de una empresa en marcha. La posibilidad de reproducir “en el laboratorio” algunas de las relaciones más importantes que determinan el valor de una empresa se presenta como un interesante desafío. Si bien, no hemos experimentado aun con esta posibilidad, se cree que puede ser una fuente de inspiración interesante y un área en donde se podrían alcanzar resultados satisfactorios, aplicando los principios de la simulación a ámbitos empresariales.

No debería confundirse la posibilidad de simular las variables involucradas en la valuación de una empresa con la posibilidad de simular el mercado que la rodea, por ejemplo, a través de programas de simulación de marketing estratégico, muy conocidos, como Markstrat. Este tipo de programas intenta reproducir las condiciones externas (variables exógenas al modelo) e internas (marketing mix) que afectan o se ven afectadas por las decisiones estratégicas del marketing. Si bien existe una conexión importante entre las decisiones estratégicas y el valor de la empresa, lo que se busca en la simulación para valuar una empresa es establecer las relaciones y dependencias de las variables que la afecten. Obviamente, entender el mercado que rodea a la empresa, las variables relacionadas, y cómo afectan el valor de aquella, es de vital importancia para la construcción del modelo.

Otro grupo de activos en donde se usa la simulación es en la determinación del valor de un **proyecto de inversión**. Como explican Ferrá y Boteón (2007), existen una gran cantidad de factores que pueden afectar los beneficios y costos de un proyecto (evolución de la economía, tasas de interés, aparición de bienes sustitutos y complementarios, descubrimiento de nuevas fuentes de energía, cambios en las regulaciones de la actividad, etc.). Esta influencia en los componentes del proyecto trae aparejada la posibilidad de una variación en la determinación del valor neto de dicho proyecto, ya que afectan a los costos o beneficios involucrados en él.

Estas afirmaciones llevan a considerar el riesgo en la evaluación de un proyecto de inversión como un elemento primordial. La consideración anterior deberá tenerse en cuenta respecto de aquellas variables aleatorias en donde si bien su valor no es conocido con exactitud, se pueda asignar una cierta probabilidad a que dicho evento ocurra. Ferrá y Boteón (2007) aclaran que la propuesta de inclusión de cierta dinámica en los flujos de un proyecto, de modo que se reflejen los riesgos asociados a él, no los elimina, más allá de que suministren información que en ciertos casos puedan permitir tomar decisiones para eliminarlo o disminuirlo. Lo que se está haciendo es explicitar el riesgo y tomarlo en cuenta para la decisión final.

En la evaluación de proyectos se abre una inmensa fuente de posibilidades relacionadas con la simulación. Pueden enumerarse varias posibilidades para darle dinámica a un proyecto. Es viable, por ejemplo, suponer una serie de métodos que no consideran la probabilidad de ocurrencia de cada evento (determinación de variables críticas, determinación del punto de nivelación, análisis de sensibilidad y de escenarios). Pero, utilizando las técnicas de simulación, se podría determinar el Valor Actual Neto de un proyecto (o bien el valor de otros criterios de rentabilidad como TIR, CPE, PRI, etc.) seleccionando aleatoriamente valores de las variables que en él inciden, acorde a la distribución de probabilidades de dichas variables. A través de la simulación de Montecarlo, es posible trabajar simultáneamente con muchas variables aleatorias. No es objetivo de este trabajo agotar el tema, ni muchísimo menos. Simplemente, se cree que el uso de simulaciones en la valuación de proyectos de inversión aporta una fuente importante de argumentos para tomar una mejor decisión que si se ciñera solamente a lo determinístico.

El otro gran grupo de activos que ofrecen un amplio campo de aplicación para las simulaciones es el de la valuación de ciertos instrumentos derivados.

La **simulación de Montecarlo** es un método legítimo y ampliamente usado para lidiar con la incertidumbre. Es en este último aspecto en donde se puede aplicar, tratando de recrear las condiciones de volatilidad del mercado en donde opere el derivado en cuestión. Existen algunos casos de derivados, por ejemplo el cálculo de valores de opciones americanas, en donde el experimento de simulación tiene una especial importancia.

Según lo establecido por Longstaff y Schwartz (2001), la simulación es una promisoria alternativa a las técnicas tradicionales (diferencias finitas y técnicas binomiales). Los casos en los que el **valor de la opción** (generalmente se habla de opciones americanas) depende de múltiples factores, también ofrecen un campo de aplicación importante para la simulación.

La simulación puede ser usada para valuar derivados en los que las variables sigan procesos estocásticos como los de *jump diffusions*, procesos no markovianos y aun en los procesos generales de semimartingalas. Desde un punto de vista práctico, la simulación es muy útil en procesos paralelos de procesamiento, a través de los cuales se gana tiempo de proceso, mejorando la velocidad. En general se puede decir que la simulación es transparente, fácil y flexible.

Para entender la intuición que reside tras este enfoque, se debe recordar que en cualquier punto de ejercicio de la opción americana se compara el flujo que generaría dicho ejercicio con el valor esperado de los flujos de fondos que se producirían si se siguiera con la opción en vez de ejercerla. Obviamente, el ejercicio tendrá lugar si el pago inmediato derivado de su ejercicio es mayor que el valor esperado de los flujos remanentes en caso de continuar con la opción. Dicho esto, se puede concluir que el ejercicio óptimo de este tipo de opciones está determinado por las expectativas condicionales de los flujos, que continúan sosteniendo la opción viva. En definitiva, el proceso de simulación permite una valuación bastante acertada y precisa, ya que recrea las condiciones a las que están sometidos los flujos de fondos derivados de las distintas posibilidades de precios del subyacente. En cada punto de ese proceso, se puede determinar cuál sería la decisión a tomar. La simulación permite recrear esta serie de condiciones y en síntesis, producir un atinado resultado.

6. Un ejemplo de valuación: bono YPF Plus

Para ejemplificar la técnica de aplicación de la simulación a la valuación de un activo en particular, se utilizará el programa de emisión de YPF Sociedad Anónima, de Obligaciones Negociables. En particular, las **Obligaciones Negociables (ON) clase XXXI**. Estas han sido emitidas en pesos, por un total de 200.000.000; ampliables a 300.000.000. El precio de emisión fue al 100%, es decir que se emitieron a la par. La fecha de emisión y liquidación tendrá lugar dentro del segundo día hábil posterior a la finalización del Período de Subasta Pública. Se informará en el "Aviso de Resultados." El valor de la ON será reintegrado totalmente a los 365 días de la fecha de Emisión y Liquidación.

6.1 Condiciones de Emisión de YPF Plus

Con respecto a los intereses, las ON Clase XXXI, devengarán intereses a partir de la Fecha de Emisión y Liquidación y hasta su efectivo pago, a una tasa variable anual equivalente a la suma de:

a) la tasa de interés mínima (20% nominal anual) más
b) el margen (según se define más adelante)

estableciéndose sin embargo que la tasa de interés no podrá ser, en ningún caso, inferior a la tasa de interés mínima (20% nominal anual), ni superior a la tasa de interés máxima (26% nominal anual).

El margen deberá determinarse para cada período de devengamiento de intereses (mensual) y se determina como sigue:

Se determinará la variación porcentual resultante entre:

1) la producción total de hidrocarburos (gas natural y petróleo – condensado y gasolina) operada por YPF informada por la Secretaría de Energía de la Nación correspondiente al último mes calendario publicado **anterior** al período de devengamiento de intereses y
2) la producción total de hidrocarburos (gas natural y petróleo – condensado y gasolina) operada por YPF informado por la Secretaría de Energía de la Nación del mes calendario indicado en (i), correspondiente **al año inmediatamente anterior**.

A los efectos del cálculo del margen, se considerará la producción total de hidrocarburos (gas natural y petróleo – condensado y gasolina) operada por YPF informada por la Secretaría de Energía de la Nación, en la sección "Producción de Petróleo y Gas (Tablas Dinámicas), publicado en el sitio de internet http://www.energia.gob.ar/home/

Los intereses se pagarán mensualmente por período vencido a partir de la Fecha de Emisión y Liquidación, comenzando en el mes y año que se informará oportunamente en el Aviso de Resultados y en las fechas que sean un número de día idéntico a la Fecha de Emisión y Liquidación, pero del correspondiente mes, o, de no ser un Día Hábil, el primer Día Hábil posterior (cada una, una "Fecha de Pago de Intereses"). La última Fecha de Pago de Intereses será el mismo día de la Fecha de Vencimiento de las Obligaciones Negociables Clase XXXI. La base para el cálculo de intereses será teniendo en cuenta la cantidad de días transcurridos sobre la base de un año de 365 días.

6.2 Distribución de probabilidad de las variables de entrada y test de bondad de ajuste

La **recolección de datos** se realizó a través de la base de datos de la Secretaría de Energía de la Nación, desde enero de 2009 hasta marzo de 2014. Luego de recopilar los datos sobre la producción total de hidrocarburos operada por YPF, se definió la variable en estudio como el margen de intereses definido en el punto anterior (considerando un mínimo de 0% y un máximo de 6%). Por lo tanto, podríamos escribir la siguiente condición, que fue tenida en cuenta para la formulación de la variable aleatoria, que llamaremos *margen*:

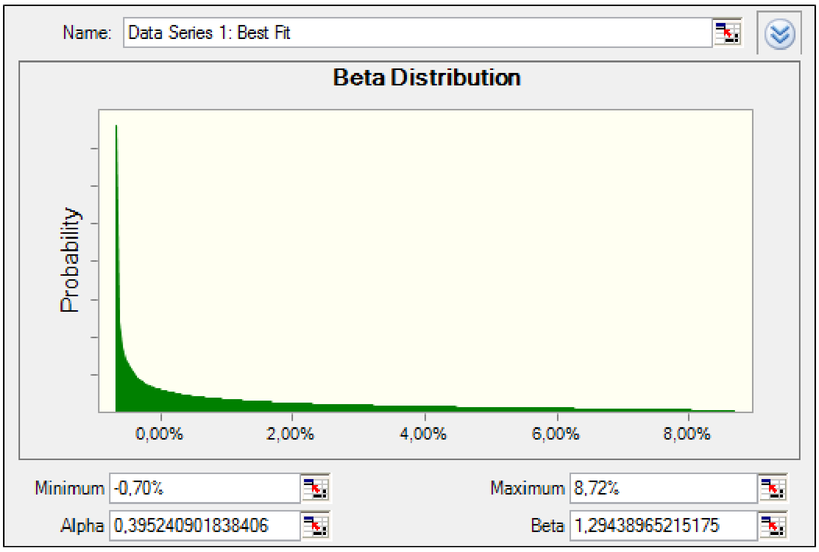
$$0\% \leq MARGEN \leq 6\%$$

El primer paso para armar el modelo de simulación consiste en determinar la distribución de probabilidad de la variable aleatoria. Antes de realizar una simulación es necesario realizar las **Pruebas de Bondad de Ajuste** para identificar la distribución de probabilidad que mejor represente el comportamiento de las variables aleatorias, de modo que en el proceso de simulación se obtengan valores aleatorios de las distribuciones definidas.

Utilizando la herramienta ***Batch Fit*** de *Crystal Ball* es posible definir la distribución específica correspondiente a cada serie de datos. Para testear la distribución de probabilidad de los datos de la muestra el software realiza tres pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi-cuadrado) y selecciona la mejor.

Según los resultados provistos por el software, la distribución de probabilidad que mejor ajusta los datos de la serie *margen* es la **Beta.** Los parámetros de esta distribución son: Mínimo, Máximo, Alfa y Beta.

Figura 1 Distribución de Probabilidad Beta (margen)



En la tabla 1 se presentan los parámetros estadísticos obtenidos de cada una de la serie.

6.3 Armado de la simulación

Si se tiene en cuenta las condiciones de emisión de la ON Clase XXXI de YPF, y aprovechando las ventajas que ofrece la simulación, se procederá a armar un **flujo mensual** (renta de la obligación negociable, pagadera mensualmente, durante un año desde su colocación). Esa renta dependerá a su vez, de una tasa (de cupón) a la que se llamará i_p. En una ecuación, podría decirse que:

$$i_p = 20\% + p(margen)$$

Tabla 1 Parámetros estadísticos de la serie (margen)

Distribution	Beta
Trials	---
Mean	1,50%
Median	0,51%
Mode	-0,70%
Standard Deviation	2,43%
Skewness	1,12
Kurtosis	3,19
Coeff. of Variability	1,62
Minimum	-0,70%
Maximum	8,72%
Mean Std. Error	---

donde:

i_p = tasa del cupón corriente

p = probabilidad de que se dé un cierto valor de margen, de acuerdo a la siguiente condición: $0\% \leq MARGEN \leq 6\%$. Esto está establecido en las condiciones de emisión de la ON. La probabilidad se ajustará a la distribución Beta, de acuerdo al Test de Bondad de Ajuste realizado en el punto anterior.

margen: un valor entre 0 y 6%, dependiendo de la variación anual de la producción de hidrocarburos (gas natural y petróleo – condensado y gasolina) operada por YPF, según lo determinado por las condiciones de emisión de la ON Clase XXXI.

Tabla 2 Flujo de fondos mensual: Cuadro de evolución

Mes	Tasa Variable (*margen*)	Tasa Fija	Total anual (i_p)	Total mensual	Interés	Amortización	Suma (Flujo Mensual)
0							
1	0,00%	20%	20%	2%	16,44	0	16,44
2	0,00%	20%	20%	2%	16,44	0	16,44
3	0,00%	20%	20%	2%	16,44	0	16,44
4	0,00%	20%	20%	2%	16,44	0	16,44
5	0,00%	20%	20%	2%	16,44	0	16,44
6	0,00%	20%	20%	2%	16,44	0	16,44
7	0,00%	20%	20%	2%	16,44	0	16,44
8	0,00%	20%	20%	2%	16,44	0	16,44
9	0,00%	20%	20%	2%	16,44	0	16,44
10	0,00%	20%	20%	2%	16,44	0	16,44
11	0,00%	20%	20%	2%	16,44	0	16,44
12	0,00%	20%	20%	2%	16,44	1000	1016,44

Como tasa de interés para descontar el flujo mensual se consideró la tasa BADLAR diaria informada por BCRA el 5 de junio de 2014 (fecha de colocación de la ON Clase XXXI de

YPF). La BADLAR es la tasa de interés pagada por depósitos a plazo fijo de 30 a 35 días de más de un millón de pesos, por el promedio de entidades financieras privadas. Las siglas BADLAR hacen referencias a *Buenos Aires Deposits of Large Amount Rate*. La misma es calculada por el BCRA en base a una muestra de tasas de interés de entidades de Capital Federal y Gran Buenos Aires.

En la figura 2 y la tabla 3 se presenta el **análisis estadístico-probabilístico** de los resultados de las simulaciones.

Figura 2 Gráfico de frecuencia: valor del título (ON Clase XXXII de YPF)

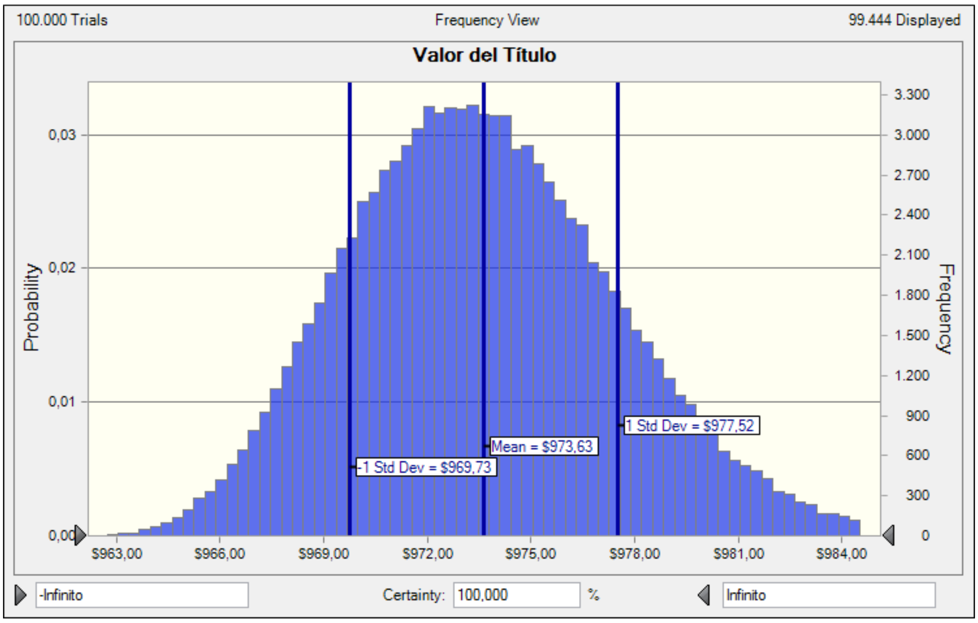


Tabla 3 - Estadísticas del valor del título

Estadísticas	**Valores Pronosticados**
Trials	100.000
Mean	$ 973,63
Median	$ 973,42
Mode	---
Standard Deviation	$ 3,90
Variance	$ 15,17
Skewness	0,3298
Kurtosis	3,03
Coeff. of Variability	0,0040
Minimum	$ 962,53
Maximum	$ 994,53
Mean Std. Error	$ 0,01

Momentos Estadísticos: según los valores pronosticados, se observa que el valor del título (Mean) asciende a $**973,63**, con una desviación estándar de **$3,90;** lo cual ubica el valor entre $969,73 y 977,52 (± σ). El **Coeficiente de Asimetría** (*skewness*) de **0,3298**, indica que hay cierta asimetría a la derecha de la distribución. El **Coeficiente de Curtosis** (*kurtosis*) mayor que cero, indica que la distribución es apuntalada en grado **3,03** respecto de la distribución Normal, es decir, los valores tienden a estar ubicados alrededor de la media (curva leptocúrtica).

Un aspecto interesante que señala la simulación es que en ningún caso la cotización es sobre la par. Si se tienen en cuenta todos los escenarios posibles, en función de las distribuciones de probabilidades elegidas y la tasa BADLAR de la fecha de emisión, los valores de la ON siempre cotizan bajo la par.

Si se considera que la ON no permite su emisión bajo la par, no aparece como una buena inversión, el tener que suscribirla a la par (desde 1000 pesos de valor nominal).El valor máximo esperado de la distribución de precios es de 994,53, corroborando esta hipótesis. La simulación nos permite con un alto grado de confianza, respaldar estas aseveraciones.

7. Algunas conclusiones

Una de las conclusiones más importantes que se pueden rescatar de todo lo dicho es que la simulación es ampliamente aplicable a la valuación de activos. Esta misma circunstancia hace que se deban establecer los casos en donde se aplicarán dichas técnicas. Por lo tanto, al ser tan amplio el espectro de aplicación, se propone estudiar en detalle las áreas en las que se decida proceder a usar este tipo de procedimientos para producir resultados satisfactorios. Esto debería hacerse a través de la experimentación y el uso de software especializado que permitan reproducir las condiciones que, como se ha descripto con anterioridad, mejor definen a las variables involucradas.

También se puede establecer que existen algunos casos de valuación en los que es más adecuado aplicarla que en otros. Más allá de que se ha planteado, a través de las fórmulas correspondientes, que existe siempre algún grado de aleatoriedad en los flujos relacionados a un activo, existirán al mismo tiempo, casos en los que esta aleatoriedad es más significativa que en otros.

Otra cosa importante es tener un valor de referencia de la valuación, obtenido por algún otro método. Es decir, que se pueda probar de alguna forma, la validez de la respuesta obtenida en la experimentación. Esto permitirá juzgar la razonabilidad de la valuación realizada, al mismo tiempo que permitirá revisar el modelo, en los casos en que los valores se aparten demasiado de lo que se espera en función de la utilización de otros modelos.

El proceso de construcción de la simulación permite comprender profundamente cuáles son las variables más importantes que explican el valor del activo y cuáles son las relaciones entre ellas, de existir. La posibilidad de comprender ambos aspectos permite vislumbrar el modelo en profundidad y en definitiva asegura una aproximación más precisa, real y eficaz.

REFERENCIAS

ALEXANDER, Gordon, SHARPE William y BAILEY Jeffery. (2003). *Fundamentos de inversiones: teoría y práctica* (3° edición). México: Pearson Education.

ANDERSON, Patrick. (2005). *Business Economics and Finance with MATLAB®, GIS, and Simulation Models.* Florida: Chapman & Hall/ CRC Press.

BARTOLOMEO, Alejandro y MACHÍN URBAY, Gustavo. (2013). Optimización de carteras de acciones en condiciones de incertidumbre. *Anales de las XXXIV Jornadas de Profesores Universitarios de Matemática Financiera.*

BETZUEN ZALBIDEGOITIA, Amancio y BARAÑANO ABASOLO, Aitor. (2011). Simulación estocástica en la determinación del valor en riesgo de los activos financieros. *Análisis Financiero,* N° 117, 50-57.

BLACK, Fisher y SCHOLES, Myron. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, N° 81, 637-659.

CHARNES, John. (2012). *Financial Modeling with Crystal Ball and Excel*. New Jersey: John Wiley & Sons.

COCHRANE, John H. (2005). *Asset Pricing* (Revised Ed.). New Jersey: Princeton University Press.

DUMRAUF, Guillermo. (2010). *Finanzas corporativas: un enfoque latinoamericano* (2° Ed.). Buenos Aires: Alfaomega.

ELBAUM, Marcelo. (2004). *Administración de carteras de inversión.* Buenos Aires: Macchi.

HERRERA LANA, Eduardo. (2011). *Riesgos en Proyectos de Inversión: Simulación, Pronósticos y Optimización* (2º Ed.). Quito: Cydhem.

FERRÁ, Coloma y BOTTEON, Claudia. (2007). *Evaluación privada de proyectos*. Mendoza: Facultad de Ciencias Económicas – UNCuyo.

GÓMEZ, Mario y TISOCCO, David. *Evaluación de proyectos inmobiliarios* (2º Ed.). Buenos Aires: BRE - Bienes Raíces Ediciones.

GONZÁLEZ, Marcela (2012). Análisis financiero en condiciones de riesgo - @RISK. *Anales de las XXXIII Jornadas de Profesores Universitarios de Matemática Financiera.*

GUJARATI, Damodar N. y PORTER, Dawn C. (2009). *Econometría* (5º Ed.). México: McGraw Hill.

LONGSTAFF, Francis y SCWARTZ, Eduardo. (2001). Valuing American Options by Simulation: A Simple Least-Squares Approach. *The Review of Financial Studies*, Vol. 14, N° 1, 113-147.

MANKIW, N. Gregory. (2002). *Principios de Economía*. (Segunda edición) Buenos Aires. Ediciones McGraw-Hill. ISBN: 8448141563

MESSUTI, Domingo, ALVAREZ, Víctor y GRAFFI, Hugo. (1992). *Selección de Inversiones: Introducción a la Teoría de Cartera.* Buenos Aires: Ediciones Macchi.

SAPAG CHAIN, Nassir. (2011). *Proyectos de Inversión. Formulación y evaluación* (2º Ed.). Chile: Pearson Education.

SHARPE, William. (1964). Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. *Journal of Finance*, Vol. 19, N° 3, 425-442.

VAN HORNE, James. (1997). *Administración Financiera* (10º Ed.). México: Pearson Education.