

UNIVERSIDAD DE LAS  
FUERZAS ARMADAS –ESPE



INTRODUCIENDO EL VALOR  
DE LA FLEXIBILIDAD EN LA  
MEDIDA DEL VALOR  
ECONÓMICO-ARCA  
CONTINENTAL

MODELOS DE SIMULACIÓN  
FINANCIERA

Tutor: ARMIJOS ROBLES, LORENZO ADALID

**INTEGRANTES:**

- Diana Peñafiel
- Edith Lascano
- Daysi Sinaluiza
- Jessica Tacuri

Sangolquí julio 2014

# Tabla de contenido

- Objetivos.....2
  - General: .....2
  - Específicos: .....2
- INTRODUCIENDO EL VALOR DE LA FLEXIBILIDAD EN LA MEDIDA DEL VALOR ECONÓMICO (SEGUNDA PARTE) .....3
  - 4.2.2.2. Midiendo la flexibilidad (expansión y abandono) a través de la teoría de opciones .....3
  - 4.2.2.3 Resultados ..... 12
  - 4.2.2.4. Incorporando la opción de diferir ..... 16
  - 4.2.2.5. El problema de la aditividad de valores cuando concurren varias opciones reales en un proyecto. 18
- 4.3 EL USO DE LA TEORÍA DE OPCIONES PARA VALORAR FUENTES DE FINANCIACIÓN ..... 19
  - 4.3.1. La deuda, valorada a través de la teoría de opciones ..... 19
  - 4.3.2. El valor de los recursos propios analizados como opciones..... 26
  - 4.3.3. El valor de instrumentos híbridos a través de opciones: los bonos convertibles ..... 31
- Enunciado del ejercicio..... 34
- Enunciado del taller ..... S/P
- Conclusiones..... 37
  - Conclusiones de grupo ..... 37
  - Conclusión de desarrollo del caso ..... 37
- Recomendación..... s/p

## Objetivos

### General:

1. Realizar un análisis sobre el modelo de valoración de opciones a través del desarrollo de un caso práctico con el fin de determinar varios escenarios que nos permitan conocer los resultados al invertir en dicha opción y poder tomar la decisión correcta

### Específicos:

1. Analizar la evolución del proyecto sin flexibilidad
2. Calcular el árbol binomial del proyecto sin flexibilidad y con recursos propios
3. Analizar el valor de los recursos propios como opciones
4. Determinar diferencias y semejanzas entre flexibilidad de flujo de caja y flexibilidad en teoría de opciones
5. Determinar la mejor opción del proyecto

## INTRODUCIENDO EL VALOR DE LA FLEXIBILIDAD EN LA MEDIDA DEL VALOR ECONÓMICO (SEGUNDA PARTE)

### 4.2.2.2. Midiendo la flexibilidad (expansión y abandono) a través de la teoría de opciones

El modelo de valoración de opciones, con todos los inconvenientes que presenta, supera las graves deficiencias del método flujos de caja, consigue describir una multiplicación de escenarios (a través del árbol binomial), y ajusta el riesgo de los flujos de la opción a través de las probabilidades riesgo neutro.

Veamos cómo podía utilizarse esta técnica en el caso del aparcamiento.

Para estimar el valor de las opciones descritas utilizaremos el método binomial multiplicativo. A tal efecto, es preciso estimar las variables del modelo:

- El precio del mercado actual del activo subyacente para poder estimar su evolución en cada momento temporal a través de:

$$u = \exp(\sigma * t)^{\frac{1}{2}}$$

$$d = \frac{1}{u}$$

La empresa Arca Continental desea invertir en una ampliación de planta durante los próximos 5 años en Macachí perteneciente al cantón Mejía, para lo cual el valor del subyacente es 601,711 millones, adicionalmente tiene la oportunidad de ampliar su mercado de productos con la compra de productos TONI valorado en \$1600 millones, para lo que se necesita saber que opciones le permiten tener un beneficios a futuro y tomar la decisión correcta.

- Volatilidad<sup>1</sup> del activo subyacente. Sin duda alguna, esta es la variable más difícil de estimar. Para cumplir esta tarea con un mínimo de fiabilidad, podemos utilizar los siguientes métodos:
  1. Valorar el proyecto/empresa en cuestión aplicando un modelo de simulación del tipo Montecarlo, obtener una multiplicación de valores para el proyecto definiendo la evolución de las variables clave y calcular la desviación típica la que utilizaremos para estimar la volatilidad del activo subyacente.
  2. Utilizar la volatilidad del valor empresarial de compañías comparables que se publican en algunas fuentes.

<sup>1</sup>Volatilidad: Calculada a través de Investing.com  $\beta$  indica que tan sensible es el rendimiento de un activo financiero ante “movimientos” en el mercado.

- El plazo hasta el ejercicio de la opción. Este dato, normalmente, puede derivarse de las situaciones concretas del negocio y de las características de la oportunidad de futuro que se plantea.
- La tasa libre de riesgo, normalmente, puede obtenerse de datos de mercado.

Para elaborar el árbol binomial del activo subyacente, supondremos que, en el momento 0, el valor es igual al VAN del escenario medio sin flexibilidad.

En el momento 1, y de acuerdo con la distribución binomial, tendremos dos posibles resultados:

$$VAN \text{ en } 0 * (1 - \text{pay-out}^2) * u$$

$$VAN \text{ en } 0 * (1 - \text{pay-out}) * d$$

Los valores del VAN en el momento 1 se derivan del VAN en 0 después de distribuir los flujos de caja que distribuye el subyacente «valor empresarial » son los flujos de caja de capital (*FCC*); es decir, los flujos que efectivamente se reparten a deuda y capital. Estos *FCC* pueden obtenerse también del escenario sin flexibilidad.

En el momento 2, se producen dos resultados para cada valor se VAN en 1 (después de distribuir los flujos de caja). Como existen dos posibles resultados en 1, en 2 tendremos cuatro resultados

$$VAN \text{ 1 } * (1 - \text{po}) * uu$$

$$VAN \text{ 1 } * (1 - \text{po}) * ud$$

$$VAN \text{ 1 } * (1 - \text{po}) * du$$

$$VAN \text{ 1 } * (1 - \text{po}) * dd$$

En el árbol binominal solo se reflejan tres resultados porque

$$VAN \text{ 1 } * (1 - \text{po}) * ud$$

$$VAN \text{ 1 } * (1 - \text{po}) * du$$

Son iguales, siempre y cuando el flujo de caja distribuido sea proporcional al valor empresarial en cada momento. Cuando los flujos repartidos no son proporcionales y son diferentes para cada escenario,

---

<sup>2</sup> pay-out (po): Reparto de beneficios a sus accionistas = Tasa de dividendos (D)

obtendríamos cuatro escenarios para el momento 2. Ocho escenarios para el momento 3, y, en general, 2 elevado a n para el momento n, con lo que muy pronto el árbol se convierte en ingobernable.

Los valores u, d se forman en cada paso de acuerdo con la conocida formula de Cox, Ross y Rubinstein mencionada.

Veamos los resultados que se obtienen para nuestro ejemplo.

La evolución del valor del valor del proyecto sin flexibilidad es:

EVOLUCIÓN VALOR DEL PROYECTO SIN FLEXIBILIDAD						
HIPÓTESIS DE PARTIDA						
Volatilidad	9,75%					
S	601,711					
U	1,102411442	0,102411442				
D	0,907102342	-0,092897658				
Rf	10,50%	Tasa según Ecuador				
P	53,88%					
Q	46,12%					
D	1,55%					
<b>Árbol binominal</b>						
cifras en millones de pesetas						
<b>Periodos</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
						906,2
					834,9	
				769,3		745,7
			708,8		687,0	
		653,1		633,0		613,5
	601,7		583,3		565,3	
		537,4		520,8		504,8
			479,9		465,1	
				428,6		415,4
					382,7	
						341,8

**Volatilidad** : 9,75% ( calculada a traves de Investing.com)

**Subyacente** : 601,711

**Factor multiplicativo al alza (u)**:  $EXP(Volatilidad)$

$u = EXP(9,75\%) = 1,102411442$

**Factor multiplicativo a la baja (d) : 1/u**

$$d = 1/1,102411442 = 0,907102342$$

**PERIODOS**

- 0. Valor presente de la tabla escenario medio sin flexibilidad : 601,711
- 1.  $VAN 0*(1 - Pay-out)*u$        $601,711*(1-1,55%)*1,102411442=653,1$   
 $VAN 0*(1 - Pay-out)*d$        $601,711*(1-1,55%)*0,907102342=537,4$
- 2.  $VAN 1*(1 - Pay-out)*u$        $653,1*(1-1,55%)*1,102411442=708,8$   
 $VAN 1*(1 - Pay-out)*ud$        $653,1*(1-1,55%)*0,907102342=583,3$   
 $VAN 1*(1 - Pay-out)*du$        $537,4*(1-1,55%)*1,102411442=583,3$   
 $VAN 1*(1 - Pay-out)*d$        $537,4*(1-1,55%)*0,907102342=479,9$
- 3.  $VAN 2*(1 - Pay-out)*u$        $708,8*(1-1,55%)*1,102411442=769,3$   
 $VAN 2*(1 - Pay-out)*d$        $708,8*(1-1,55%)*0,907102342=633,0$   
 $VAN 2*(1 - Pay-out)*u$        $479,9*(1-1,55%)*1,102411442=520,8$   
 $VAN 2*(1 - Pay-out)*d$        $479,9*(1-1,55%)*0,907102342=428,6$
- 4.  $VAN 3*(1 - Pay-out)*u$        $769,3*(1-1,55%)*1,102411442=834,9$   
 $VAN 3*(1 - Pay-out)*d$        $769,3*(1-1,55%)*0,907102342=687,0$   
 $VAN 3*(1 - Pay-out)*u$        $520,8*(1-1,55%)*1,102411442=565,3$   
 $VAN 3*(1 - Pay-out)*d$        $520,8*(1-1,55%)*0,907102342=465,1$   
 $VAN 3*(1 - Pay-out)*d$        $428,6*(1-1,55%)*0,907102342=382,7$
- 5.  $VAN 4*(1 - Pay-out)*u$        $834,9*(1-1,55%)*1,102411442=906,2$   
 $VAN 4*(1 - Pay-out)*d$        $834,9*(1-1,55%)*0,907102342=745,7$   
 $VAN 4*(1 - Pay-out)*u$        $565,3*(1-1,55%)*1,102411442=613,5$   
 $VAN 4*(1 - Pay-out)*d$        $565,3*(1-1,55%)*0,907102342=504,8$   
 $VAN 4*(1 - Pay-out)*u$        $382,7*(1-1,55%)*1,102411442=415,4$   
 $VAN 4*(1 - Pay-out)*d$        $382,7*(1-1,55%)*0,907102342=341,8$

La tasa de reparto de dividendo (D) = Información según la Superintendencia de Compañías

La probabilidad riesgo neutro  $p=(r-d)/(u-d)$  y  $q = (1-p)$  son constantes en cada paso

El árbol binomial que proporciona el valor de la opción de ampliación, que es un call europea con plazo hasta el ejercicio de cinco años y strike de 1,600 millones, resulta ser (para incrementos del 16.63 por 100, cifras en millones):

VALOR DE LA OPCIÓN CALL DE AMPLIACIÓN					
0	1	2	3	4	5
					149,1
				123,8	
			102,8		122,4
		85,3		101,6	
	70,8		84,3		100,4
58,8		70,0		83,3	
	58,1		69,2		82,4
		57,4		68,3	
			56,7		67,5
				56,0	
					55,2

1,600	Strike: Precio determinado de la operación de compra o venta
1,1663	Incremento del 16,63%
1,11	1+Rf

*CALL5: MAX(VAN5\*(1+porcentaje d incremento del valor del negocio)-strike(inversión)-VAN5;0)*

*CALL5=MAX(906,2\*1,1663-1600-906,2;0)=149,1*

*CALL5=MAX(431,8 \*1,2-1600-431,8;0)=122,4*

*CALL5=MAX(280,1\*1,2-1600-613,5;0)=100,4*

*CALL5=MAX(181,7,0\*1,2-1600-504,8;0)=82,4*

*CALL5=MAX(117,8\*1,2-1600-415,4;0)=67,5*

*CALL5=MAX(76,4\*1,2-1600-341,8;0)=55,2*

*CALL4: (CALL5u\*probabilidad de riesgo neutro al alza (p)+CALL5d\*probabilidad de riesgo neutro a la baja)/(1+tasa libre de riesgo)*

*CALL4=(149,1\*0,5388+122,4\*0,4612)/1,11=123,8*

*CALL4=(122,4\*0,5388+100,4\*0,4612)/1,11=101,6*

*CALL4=(100,4\*0,5388+82,4\*0,4612)/1,11=83,3*

*CALL4=(82,4\*0,5388+67,5\*0,4612)/1,11=68,3*

*CALL4=(67,5\*0,5388+55,2\*0,4612)/1,11=56,0*

**CALL3:**  $(CALL4u \cdot \text{probabilidad de riesgo neutro al alza } (p) + CALL4d \cdot \text{probabilidad de riesgo neutro a la baja}) / (1 + \text{tasa libre de riesgo})$

$$CALL3 = (123,8 \cdot 0,5388 + 744,101,6 \cdot 0,4612) / 1,11 = 102,8$$

$$CALL3 = (101,6 \cdot 0,5388 + 83,3 \cdot 0,4612) / 1,11 = 84,3$$

$$CALL3 = (83,3 \cdot 0,5388 + 68,3 \cdot 0,4612) / 1,11 = 69,2$$

$$CALL3 = (68,3 \cdot 0,5388 + 56 \cdot 0,4612) / 1,11 = 56,7$$

**CALL2:**  $(CALL3u \cdot \text{probabilidad de riesgo neutro al alza } (p) + CALL3d \cdot \text{probabilidad de riesgo neutro a la baja}) / (1 + \text{tasa libre de riesgo})$

$$CALL2 = (102,8 \cdot 0,5388 + 84,3 \cdot 0,4612) / 1,11 = 85,3$$

$$CALL2 = (84,3 \cdot 0,5388 + 69,2 \cdot 0,4612) / 1,11 = 70,0$$

$$CALL2 = (69,2 \cdot 0,5388 + 56,7 \cdot 0,4612) / 1,11 = 57,4$$

**CALL1:**  $(CALL2u \cdot \text{probabilidad de riesgo neutro al alza } (p) + CALL2d \cdot \text{probabilidad de riesgo neutro a la baja}) / (1 + \text{tasa libre de riesgo})$

$$CALL1 = (85,3 \cdot 0,5388 + 744,70 \cdot 0,4612) / 1,11 = 70,8$$

$$CALL1 = (70 \cdot 0,5388 + 57,4 \cdot 0,4612) / 1,11 = 58,1$$

**CALL0:**  $(CALL1u \cdot \text{probabilidad de riesgo neutro al alza } (p) + CALL1d \cdot \text{probabilidad de riesgo neutro a la baja}) / (1 + \text{tasa libre de riesgo})$

$$CALL0 = (149,1 \cdot 0,5388 + 744,7 \cdot 0,4612) / 1,11 = 58,8$$

Se inicia el cálculo en el momento de finalizar el plazo hasta el ejercicio de la opción, en este caso el año 5. En ese momento, Arca Continental ejercitara su opción, si existe el 16,63% adicionales (valor del subyacente en ese momento) es superior a la inversión que tiene que realizar (1,600 millones = strike) .O lo que es lo mismo, si

el valor del negocio incrementado en el porcentaje que proporciona la opción de expansión

$$(VAN \times 5(1 + \%))$$

menos la inversión que (strike) que hay que acometer y menos el valor del negocio original (VAN 5) es superior a cero

Por lo tanto, el valor de la call en el momento 5, en un escenario de valor del negocio sin flexibilidad resulta ser:

$$\text{Max (VAN5*(1+porcentaje de incremento de valor del negocio)-Strike-VAN 5; 0)}$$

Por ejemplo, y para el valor del negocio 906,2 en el año 5:

$$\text{CALL5}=\text{MAX}(906,2*1,1663-1600-906,2;0)=149,1$$

De igual forma se procede para cada valor del negocio en 5. Se observa como el árbol binomial nos ha proporcionada un buen número de escenarios de valor de negocio para calcular el valor de las opciones en el momento de ejercicio .para obtener el valor de la call en los escenarios de momentos temporales anteriores, se descontaran los valores de la call (del momento 5) ponderados por su probabilidad riesgo neutro, a la tasa libre de riesgo. Y se repite para cada momento y escenario hasta obtener el valor actual. Por ejemplo, para el valor 45,4 del momento 4:

$$\text{CALL4}=(149,1*0,5388+122,4*0,4612)/1,11=123,8$$

Cuando se trate de una opción americana, hay que comparar el valor de la opción <<viva>> con el valor de la opción ejercitada (VAN-Strike) en cada momento y escenario, y tomar el mayor de los dos. El valor de la opción viva es el que se deriva de la metodología descrita para opciones europeas. Por tanto, call americana en cada momento y escenario:

$$=\text{MAX} [(VAN-Strike); C_u / (1 + R_f) \times p + C_d / (1 + R_f) \times q]$$

De la misma manera se procede para valorar una opción de abandono (en este caso un put europeo con plazo hasta el ejercicio de 5 años): en el momento de ejercicio, el valor de la put será

$$\text{Max (0; K-S)}$$

Donde:

K es el strike o valor liquidativo en caso de abandono.

En nuestro caso, y con strike de 511,6 millones (cifras en millones de dolares):

<b>VALOR DE LA OPCIÓN PUT DE ABANDONO</b>	
Opción de abandono	Strike = <b>511,6</b>

	0	1	2	3	4	5
						0,0
					0,0	0,0
			0,5	0,0	0,0	0,0
		3,9	1,2			0,0
10,4		8,7	2,8			
	20,5	19,5				6,8
		38,9	43,5			
			70,4			96,2
				117,8		
						169,8

$= \text{MAX}(0; (Kn - Sn))$

$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 906 ) =$	$-394,6$
$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 746 ) =$	$-234,1$
$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 614 ) =$	$-101,9$
$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 505 ) =$	$6,8$
$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 415 ) =$	$96,2$
$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 342 ) =$	$169,8$

MOMENTO 4

$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 835 ) ; (( 0 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 0,00 / 1,10 \times 46,12\% ) =$	$0$
$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 687 ) ; (( 0 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 0,00 / 1,10 \times 1,55\% ) =$	$0$
$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 565 ) ; (( 0 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 0,00 / 1,10 \times 0,00\% ) =$	$2,8$
$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 465 ) ; (( 0 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 6,80 / 1,10 \times 0,00\% ) =$	$43,5$
$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 383 ) ; (( 6,8 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 96,20 / 1,10 \times 0,00\% ) =$	$117,8$

MOMENTO 3

$=\text{MAX}(0; ( 511,6 - 465 ) ; (( 43,5 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 117,80 / 1,10 \times 46,12\% ) =$	$70,4$
--	--------

-	+	=
$=\text{MAX}(0; (511,6 - 565) ) ; (( 2,8 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 43,50 / 1,10 \times 1,55\% )$		$= 19,5$
$=\text{MAX}(0; (511,6 - 687) ) ; (( 0 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 2,80 / 1,10 \times 0,00\% )$		$= 1,2$
$=\text{MAX}(0; (511,6 - 835) ) ; (( 0 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 0,00 / 1,10 \times 0,00\% )$		$= 0$

MOMENTO 2

$=\text{MAX}(0; (511,6 - 521) ) ; (( 19,5 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 70,40 / 1,10 \times 46,12\% )$	$= 38,9$
$=\text{MAX}(0; (511,6 - 633) ) ; (( 1,2 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 19,50 / 1,10 \times 1,55\% )$	$= 8,7$
$=\text{MAX}(0; (511,6 - 769) ) ; (( 0 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 1,20 / 1,10 \times 0,00\% )$	$= 0,5$

MOMENTO 1

$=\text{MAX}(0; (511,6 - 537,4) ) ; (( 3,9 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 20,50 / 1,10 \times 46,12\% )$	$= 10,4$
--	----------

Para el momento 5, en el escenario n que el valor del negocio es 511,6, el valor de la put se obtiene como

$$\text{MAX} (0; (511,6 - 342)) = 169,8$$

En ocasiones, la opción de abandono es de tipo americano (se puede ejercitar en cualquier momento) y con strike variable (existe un probable valor de liquidación para cada momento temporal). Aunque con esos supuestos se complica un poco de cálculo, es posible modelizar esta situación a través de árboles binomiales. En efecto, al final de plazo hasta el ejercicio de la opción, el valor de la put será (al igual que en un put europeo)

$$\text{MAX} (0; (K-S))$$

Y en cada momento temporal anterior y para cada escenario:

$$\text{MAX} [\text{MAX} (0; (K_n - S_n)); (\text{Put}/(1 + R_f) \times p + \text{Pd}/(1 + R_f) \times q) ]$$

Esto significa que en cada modo se elegirá el mayor de los siguientes valores:

El de la opción ejercitada en ese momento  $(MAX(0;(K_n-S_n))$  o el de la opción viva

$$(P_u/(1+R_f) \times p + P_d / (1+ R_f) \times q)$$

De forma simétrica a como se indico para el supuesto de la opción de expansión.

Aquí,  $P_u$  y  $P_d$  son los valores de la *put* en el momento  $n$ , y  $S_n$  es el valor del subyacente en el momento  $n$  y escenario  $e$ .

Hasta ahora hemos obtenido los siguientes valores a través de la teoría de valoración de opciones:

Valor de la opción de expansión (*call* con  $t=5$  europea): 58,8 millones

Valor de la opción de abandono (*call* con  $t=5$  europea): 10,4 millones

#### 4.2.2.3 Resultados

En efecto (cifras en millones de dolares):

	Método de valoración teoría de opciones
Valor de escenario medio sin flexibilidad	601,7
valor opción de expansión	58,8
Valor de la opción de abandono	10,4
Total valor del proyecto	670,9

Veamos cómo se obtiene el árbol binomial de la empresa arca del valor del proyecto incluyendo el valor de las opciones:

Con unos flujos repartidos (el 1,55% del valor en cada año y escenario):

FLUJOS REPARTIDOS					1,55%
1	2	3	4	5	6
					14,0
				12,9	
			11,9		11,6
		11,0		10,6	
	10,1		9,8		9,5
9,3		9,0		8,8	
	8,3		8,1		7,8
		7,4		7,2	
			6,6		6,4
				5,9	
					5,3

= VALOR DEL NEGOCIO ORIGINAL X TASA DE REP. DE DIVIDENDOS

=	906,2	x	1,55%	=	14,0
=	745,7	x	1,55%	=	11,6
=	613,5	x	1,55%	=	9,5
=	504,8	x	1,55%	=	7,8
=	415,4	x	1,55%	=	6,4
=	341,8	x	1,55%	=	5,3
=	834,9	x	1,55%	=	12,9
=	687,0	x	1,55%	=	10,6
=	565,3	x	1,55%	=	8,8
=	465,1	x	1,55%	=	7,2
=	382,7	x	1,55%	=	5,9
=	769,3	x	1,55%	=	11,9

= 633,0	x	1,55%	= 9,8
= 520,8	x	1,55%	= 8,1
= 428,6	x	1,55%	= 6,6
= 708,8	x	1,55%	= 11,0
= 583,3	x	1,55%	= 9,0
= 479,9	x	1,55%	= 7,4
= 653,1	x	1,55%	= 10,1
= 537,4	x	1,55%	= 8,3
= 601,7	x	1,55%	= 9,3

VALOR DEL PROYECTO CON OPCIONES					
1	2	3	4	5	6
					1.055,3
				889,8	
			751,3		868,1
		635,2		731,9	
	537,9		617,9		713,9
456,3		522,5		602,0	
	442,4		508,2		587,2
		429,7		495,1	
			417,9		482,9
				407,1	
					397,0

=(Valor del proyecto sin ejercer ninguna opción; Valor del proyecto habiendo ejercitado la opción de expansion;valor del proyecto en caso de liquidacion (abandono))

MOMENTO 5

$$=MAX( 906,2 ; 906,2 \times 16,63\% - 1600 ; 511,6 ) = 1055,3$$

$=\text{MAX}( 745,7 ; 745,7 \times 16,63\% - 1600 ; 511,6 ) = 868,1$
$=\text{MAX}( 613,5 ; 613,5 \times 16,63\% - 1600 ; 511,6 ) = 713,9$
$=\text{MAX}( 504,8 ; 504,8 \times 16,63\% - 1600 ; 511,6 ) = 587,2$
$=\text{MAX}( 415,4 ; 415,4 \times 16,63\% - 1600 ; 511,6 ) = 482,9$
$=\text{MAX}( 341,8 ; 341,8 \times 16,63\% - 1600 ; 511,6 ) = 397,0$

*MOMENTO 4*

$(( 1055,3 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 868,05 / 1,10 \times 46,12\% ) + 12,94 = 889,8$
$(( 868,1 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 713,95 / 1,10 \times 1,55\% ) + 10,65 = 731,9$
$(( 713,9 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 587,18 / 1,10 \times 0,00\% ) + 8,76 = 602$
$(( 587,2 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 482,87 / 1,10 \times 0,00\% ) + 7,21 = 495,1$
$(( 482,9 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 397,04 / 1,10 \times 0,00\% ) + 5,93 = 407,1$

*MOMENTO 3*

$(( 889,8 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 731,90 / 1,10 \times 46,12\% ) + 11,92 = 751,3$
$(( 731,9 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 601,96 / 1,10 \times 1,55\% ) + 9,81 = 617,9$
$(( 602,0 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 495,06 / 1,10 \times 0,00\% ) + 8,07 = 508,2$
$(( 495,1 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 407,09 / 1,10 \times 0,00\% ) + 6,64 = 417,9$

*MOMENTO 2*

$(( 751,3 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 617,93 / 1,10 \times 46,12\% ) + 11,0 = 635,2$
$(( 617,9 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 508,21 / 1,10 \times 1,55\% ) + 9,0 = 522,5$
$(( 508,2 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 417,94 / 1,10 \times 0,00\% ) + 7,4 = 429,7$

*MOMENTO 1*

$$\begin{aligned} & (( 635,2 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 522,46 / 1,10 \times 46,12\% ) + 10,1 = 537,9 \\ & (( 522,5 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 429,68 / 1,10 \times 46,12\% ) + 8,3 = 442,4 \end{aligned}$$

MOMENTO 0

$$(( 537,9 / 1,1 \times 53,88\% ) + ( 442,40 / 1,10 \times 46,12\% ) + 9,3 = 456,3$$

A modo de explicación, el valor 1055,3 del año se obtiene de:

$$= \text{MAX} (906,2 ; 906,2 \times 16,63\% - 1600 ; 511,6) = 1055,3$$

Es decir, el valor máximo entre los siguientes: el valor del proyecto sin ejercer ninguna opción, valor del proyecto habiendo ejercitado la opción de expansión y valor del proyecto en caso de liquidación (abandono).

El valor 889,8 del año 5 se obtiene de la siguiente expresión:

$$((1055,3/1,1 \times 53,88\%) + (868,05/1,10 \times 46,12\%)) + 12,94 = 889,8$$

Que es actualiza a la Rf los valores del año 6 ponderados por las probabilidades riesgo neutro.

En resumen, la conclusión es que la Empresa Arca Continental si debe comprar realizar la inversión el proyecto ya que su valor, incluyendo las dos opciones (670,9 millones de dolares), es superior al valor inicial del proyecto (601,71 millones de dólares). Invertir en este proyecto y extender su gama de productos obtendrá una rentabilidad.

#### 4.2.2.4. Incorporando la opción de diferir

En el supuesto caso de que la inversión del proyecto tuviera la posibilidad de difererirse en cualquier momento dentro de los dos años, por un precio de 1,6 millones de dolares. ¿Mejora esta oferta la situación del comprador? Esta situación puede analizarse como una opción de diferir el proyecto de empresa. Veamos un posible análisis

**Opción de diferir**

Plazo	2	años
Strike	1,6	Millones de dolares
	0	1
		2
		701,0
		618,6
	545,9	566,5
	499,2	
		455,9

En el momento 2, el valor 701 se obtiene de:

$$\text{MAX} = (702,6 - 1,6 = 701; 0)$$

Los valores 0 de los otros escenarios del momento 2 se calculan de la misma manera.

En el momento 1, el valor 618,6 se deriva:

$$\text{MAX} [701 / 1,1) \times 0,5388 + 0; \text{MAX} (618,6 - 1,6)]$$

Que es la expresión que elige el mayor del proyecto en ese momento: manteniendo viva la opción de diferir o efectuando la compra del negocio en ese momento (al tratarse de una opción americana). En este caso, manteniendo viva la opción (no ejercitando la opción de compra antes de su vencimiento).

La conclusión sería, en este caso, acometer el proyecto ejercitando la opción de compra en el momento 2 (gracias a la opción de diferir), si en ese momento el valor de la empresa es superior 1,6 millones de dólares. El análisis del valor del proyecto con la teoría de opciones nos ha permitido no sólo valorar el proyecto, sino definir la estrategia óptima de actuación en función de las características concretas de la operación.

4.2.2.5. El problema de la aditividad de valores cuando concurren varias opciones reales en un proyecto.

Una vez calculados los valores de las opciones con carácter individual, ¿podemos concluir que el valor del proyecto es igual al valor que se deriva del descuento de flujos de caja sin flexibilidad, más el valor de la opción de expansión y el valor de la opción de abandono?

Es decir:

Valor del proyecto sin flexibilidad:	601,711
Valor de la opción de expansión:	58,76
Valor de la opción de abandono:	10,44
Valor total del proyecto:	670,9

Con carácter general, puede decirse que esto sólo ocurre, y además aproximadamente, cuando se dan opciones de signo contrario (*put* y *call*) europeas y con un plazo igual hasta el ejercicio, como es el caso de nuestra ampliación de planta. En otros supuestos hay que tener en cuenta que el ejercicio anterior de una opción altera, a veces sustancialmente, el valor subyacente que sirve de referencia para una opción posterior, y viceversa. Esta interactividad de las opciones es bidireccional en el planteamiento binomial, y quiebra la aditividad respecto al valor sin flexibilidad.

Una solución, sólo aproximada, para este problema puede ser:

- 1) Elaborar el árbol binomial del proyecto sin flexibilidad.
- 2) Elaborar el árbol del proyecto con la opción que tiene una  $t$  más larga, que sirve de subyacente para la opción de  $t$  más corto.
- 3) Calcular el árbol añadiendo el valor de la opción más cercana sobre la base del subyacente que incluye la opción más lejana.

En definitiva, sólo puede afirmarse que:

$$\text{Valor total del proyecto} = \text{VAN básico} + \text{valor de la combinación de opciones.}$$

### 4.3 EL USO DE LA TEORÍA DE OPCIONES PARA VALORAR FUENTES DE FINANCIACIÓN

Otras de las aplicaciones de la teoría de valoración de opciones es la posibilidad de valorar fuentes e instrumentos financieros. En el ámbito de la empresa, la caracterización se realizaría sobre la base de la siguiente ecuación:

Valor de la empresa igual a:

Valor de la opción de compra (de los accionistas) sobre el valor de la empresa, con precio de ejercicio (*strike*) igual a los pagos anuales de la deuda (valor del *E*)

+ Valor actual de la deuda sin riesgo.

- Valor de la opción de venta *put* (de los accionistas) sobre el valor de la empresa con precio de ejercicio igual a los pagos de la deuda. (Valor del riesgo)

En este modelo, se supone que los accionistas disponen de dos opciones básicas:

- a) Adquirir definitivamente la empresa, si cumplen con los pagos debidos a la deuda;
- b) Abandonar el negocio, sin su valor en un momento temporal concreto es inferir al valor de los pagos a realizar a la deuda.

#### 4.3.1. La deuda, valorada a través de la teoría de opciones

Retomemos nuestro ejemplo de ampliación de planta para ilustrar cómo se puede estimar el valor de la deuda, de acuerdo con el apartado anterior, es:

Valor deuda con riesgo = Valor sin riesgo – Valor de la *put* de los accionistas sobre el negocio con  $t =$  fecha de vencimiento de la deuda y *strike* = pagos de principal e intereses). O lo que es igual:

$$\text{Valor de la deuda con riesgo} = \text{Valor de la deuda sin riesgo} - \text{Valor del riesgo.}$$

Partamos del valor de la empresa incluyendo las opciones de ampliación y abandono, pero sin reparto de dividendos.

---

EVOLUCIÓN VALOR DEL PROYECTO SIN FLEXIBILIDAD	
HIPÓTESIS DE PARTIDA	
volatilidad	9,75%

S	601,711	
u	1,10241144	0,10241144
d	0,90710234	-0,09289766
Rf	10,50%	
p	53,88%	
q	46,12%	
D	0,00%	

**Árbol binominal**

cifras en millones de pesetas

Periodos	0	1	2	3	4	5
						1.092,4
					990,9	
				898,8		898,9
			815,3		815,4	
		739,6		739,6		739,7
	670,9		670,9		671,0	
		608,6		608,6		608,6
			552,1		552,1	
				500,8		500,8
					454,3	
						412,1

**Fórmulas:**

**Volatilidad** : 9,75%

**Subyacente** : 601,711

**Factor multiplicativo al alza (u):**  $EXP(Volatilidad)$

$$u = EXP(9,75\%) = 1,10241144$$

**Factor multiplicativo a la baja (d) :**  $1/u$

$$d = 1/1,10241144 = 0,90710234$$

**PERIODOS**

0. Valor presente de la tabla escenario medio sin flexibilidad : 670,90

1. ESCENARIO 0\*( 1 – Pay-out)\*u       $670,90*(1-0,00%)*1,10241144=739,6$

<i>ESCENARIO 0*( 1 – Pay-out)*d</i>	$670,90*(1-0,00%)*0,90710234=608,6$
2. <i>ESCENARIO 1*( 1 – Pay-out)*u</i>	$739,6*(1-0,00%)*1,10241144=815,3$
<i>ESCENARIO 1*( 1 – Pay-out)*ud</i>	$739,6*(1-0,00%)*0,90710234=670,9$
<i>ESCENARIO 1*( 1 – Pay-out)*du</i>	$608,6*(1-0,00%)*1,10241144=670,9$
<i>ESCENARIO 1*( 1 – Pay-out)*d</i>	$608,6*(1-0,00%)*0,90710234=552,1$
3. <i>ESCENARIO 2*( 1 – Pay-out)*u</i>	$815,3*(1-0,00%)*1,10241144=898,8$
<i>ESCENARIO 2*( 1 – Pay-out)*d</i>	$815,3*(1-0,00%)*0,90710234=739,6$
<i>ESCENARIO 2*( 1 – Pay-out)*u</i>	$552,1*(1-0,00%)*1,10241144=608,6$
<i>ESCENARIO 2*( 1 – Pay-out)*d</i>	$552,1*(1-0,00%)*0,90710234=500,8$
4. <i>ESCENARIO 3*( 1 – Pay-out)*u</i>	$898,8*(1-0,00%)*1,10241144=990,9$
<i>ESCENARIO 3*( 1 – Pay-out)*d</i>	$898,8*(1-0,00%)*0,90710234=815,4$
<i>ESCENARIO 3*( 1 – Pay-out)*u</i>	$608,6*(1-0,00%)*1,10241144=671,0$
<i>ESCENARIO 3*( 1 – Pay-out)*d</i>	$608,6*(1-0,00%)*0,90710234=552,1$
<i>ESCENARIO 3*( 1 – Pay-out)*d</i>	$500,8*(1-0,00%)*0,90710234=454,3$
5. <i>ESCENARIO 4*( 1 – Pay-out)*u</i>	$990,9*(1-0,00%)*1,10241144=1092,4$
<i>ESCENARIO 4*( 1 – Pay-out)*d</i>	$990,9*(1-0,00%)*0,90710234=898,9$
<i>ESCENARIO 4*( 1 – Pay-out)*u</i>	$671,0*(1-0,00%)*1,10241144=739,7$
<i>ESCENARIO 4*( 1 – Pay-out)*d</i>	$671,0*(1-0,00%)*0,90710234=608,6$
<i>ESCENARIO 4*( 1 – Pay-out)*u</i>	$454,3*(1-0,00%)*1,10241144=500,8$
<i>ESCENARIO 4*( 1 – Pay-out)*d</i>	$454,3*(1-0,00%)*0,90710234=412,1$

Supongamos, que el Arca Continental quiere financiar la compra de aparcamiento tomando deuda con las siguientes características:

---

**Características del préstamo**

---

Principal del préstamo:	500,00
Amortización:	<i>Ballet 5 años</i>

Intereses: A determinar

El análisis a través de la teoría de opciones nos dirá cuál es el interés de equilibrio de la deuda asumida; es decir, aquel que compensa al banco del riesgo de crédito o de *default* del negocio financiado. Esto depende no sólo del riesgo de negocio (volatilidad del subyacente = valor empresarial), sino también del calendario de pagos de la deuda, que alarga o reduce la duración de la misma. En nuestro supuesto, Arca Continental consiguió convencer a una entidad financiera para que le presten dinero con un plazo de cinco años, sin amortización durante ese período (amortización total al vencimiento o *bullet*)

El interés de equilibrio, que compensa el riesgo del negocio y de duración, se obtendría de la siguiente forma:

CALENDARIO DE AMORTIZACIÓN E INTERESES						
Años	0	1	2	3	4	5
Deuda viva (en millones de ptas.)	500	500	500	500	500	0
Interés 8,04%		40	40	40	40	40
Amort. Principal (en mill. Pesetas)		0	0	0	0	500,0
Total pagos (en mill. Pesetas)		40	40	40	40	540,2
Tasa libre riesgo	4,25%					
Spread equilibrado	3,79%					
						540,200
					529,07	
				519,00		540,200
			509,88		529,07	
	500,43			519,00		540,200
	489,56		507,02		529,07	

	492,00	512,13	540,200
		490,16	512,63
		479,77	500,811
			454,29
			412,085

---

**Fórmulas:**

**SPREAD EQUILIBARDO**= tasa de interés-tasa libre de riesgo= 8,04%-4,25%=3,79%

**DEUDA VIVA AÑO 0**= 500

**DEUDA VIVA AÑO 1**= 500

**DEUDA VIVA AÑO 2**= 500

**DEUDA VIVA AÑO 3**= 500

**DEUDA VIVA AÑO 4**= 500

**DEUDA VIVA AÑO 5**= 0

**INTERES AÑO 0**= 0

**INTERES AÑO 1**= (valor de la deuda año 0\*interés)= (500\*8,04%)= 40

**INTERES AÑO 2**= (valor de la deuda año 1\*interés)= (500\*8,04%)= 40

**INTERES AÑO 3**= (valor de la deuda año 2\*interés)= (500\*8,04%)= 40

**INTERES AÑO 4**= (valor de la deuda año 3\*interés)= (500\*8,04%)= 40

**INTERES AÑO 5**= (valor de la deuda año 4\*interés)= (500\*8,04%)= 40%= 13

*AMORTIZACIÓN PRINCIPAL AÑO 0=0*

*AMORTIZACIÓN PRINCIPAL AÑO 1=0*

*AMORTIZACIÓN PRINCIPAL AÑO 2=0*

*AMORTIZACIÓN PRINCIPAL AÑO 3=0*

*AMORTIZACIÓN PRINCIPAL AÑO 4=0*

*AMORTIZACIÓN PRINCIPAL AÑO 5=500*

*TOTAL DE PAGOS AÑO 0= interés + amortización principal= 0+0=0*

*TOTAL DE PAGOS AÑO 1=interés + amortización principal= 40+0=40*

*TOTAL DE PAGOS AÑO 2=interés + amortización principal= 40+0=40*

*TOTAL DE PAGOS AÑO 3=interés + amortización principal= 40+0=40*

*TOTAL DE PAGOS AÑO 5=interés + amortización principal= 40+500=540*

*CALL5: MIN(ESCENARIO 5\_TOTAL DE PAGOS AÑO 5)*

*CALL5=MIN(1092,4\_540,2)= 540,2*

*CALL5=MIN(529,2\_540,2)= 540,2*

*CALL5=MIN(739,7\_540,2)= 540,2*

*CALL5=MIN(608,6\_540,2)= 540,2*

*CALL5=MIN(500,8\_540,2)=500,8*

*CALL5=MIN(412,1\_540,2)=412,1*

*CALL4: =MIN((CALL5u/(1+ tasa libre de riesgo))\*probabilidad de riesgo neutro al alza (p)+(CALL5d/probabilidad de riesgo neutro a la baja) + interés momento 4; proyecto con opciones momento 4))*

$$CALL4=MIN((540,2/1,11)*0,5388+ 540,2/(1,11*0,4612)+40;990,9))= 529,07$$

$$CALL4=MIN(540,2/1,11)* 0,5388+ 540,2/(1,11*0, 4612)+40;815,4))= 529,07$$

$$CALL4=MIN((540,2/1,11)*0,5388+ 540,2/(1,11*0, 4612)+40;671,0))= 529,07$$

$$CALL4=MIN((540,2/1,11)*0,5388+ 500,81/(1,11*0, 4612)+40;552,1))= 512,63$$

$$CALL4=MIN((500,81/1,11)*0,5388+ 412,09/(1,11*0, 4612)+40;454,3))= 454,29$$

$$CALL3=MIN((529,07/1,11)*0,5388+ 529,07/(1,11*0, 4612)+40;898,8))= 519,00$$

$$CALL3=MIN((529,07/1,11)*0,5388+ 529,07/(1,11*0, 4612)+40;739,6))= 519,00$$

$$CALL3=MIN((529,07/1,11)*0,5388+ 512,63/(1,11*0, 4612)+40;608,6))= 512,13$$

$$CALL3=MIN((512,63/1,11)*0,5388+454,29/(1,11*0, 4612)+40;500,8))= 479,77$$

$$CALL2=MIN((519,00/1,11)*0,5388+ 519,00/(1,11*0, 4612)+40;815,3))= 509,88$$

$$CALL2=MIN((519,00/1,11)*0,5388+ 512,13/(1,11*0, 4612)+40;670,9))= 507,02$$

$$CALL2=MIN((512,13/1,11)*0,5388+ 479,77/(1,11*0, 4612)+40;552,1))= 490,16$$

$$CALL1 =MIN((509,88/1,11)*0,5388+ 507,02/(1,11*0, 4612)+40;739,6))= 500,43$$

$$CALL1=MIN((507,22/1,11)*0,5388+ 490,16/(1,11*0, 4612)+40;608,6))= 492,00$$

$$CALL0=MIN((500,43/1,11)*0,5388+ 492,00/(1,11*0, 4612)+40;670,9))= 489,56$$

Si suponemos que la deuda es única, que tiene prioridad absoluta en caso de quiebra y que no existen costes de liquidación, el valor de la deuda sería en el momento 5 (momento del vencimiento) el valor menor entre el valor de la empresa y el de la deuda (principal más intereses). Obsérvese que, en los escenarios de liquidación de la compañía ejercitando la opción de abandono por 511,6 millones, el importe obtenido es inferior a los pagos debidos por el préstamo, por lo que todos los fondos ingresados pasan a las arcas del acreedor. En los escenarios en que el valor empresarial es superior a los 540,20 millones de principal e intereses que se adeudan, el valor de la deuda es precisamente éste, pues el deudor puede hacer frente a sus obligaciones.

En definitiva, en el momento 5, el valor de la deuda es igual al mínimo entre el valor de empresa y los 540,20 millones.

A partir de aquí, si tomamos como ejemplo el escenario del momento 4, en el que el valor de la deuda es de 231,21 millones, la formulación para el cálculo es:

$$\text{MIN}((540,2/1,11)*0,5388+ 540,2/(1,11*0,4612)+40;990,9)= 529,07$$

Nótese que 40 es la cifra de intereses que se paga en ese período (si hubiera existido pago de principal, habría de ser añadido). Será necesario iterar hasta encontrar el volumen de intereses que posibilitan que el valor nominal de la deuda (la contratada inicialmente) sea igual a su valor de mercado ajustada por el riesgo de *Default*. En nuestro caso, esto se produce cuando el *spread* es 3,79 por 100. Este sería el diferencial de equilibrio.

Una vez más hay que llamar la atención sobre las limitaciones del modelo que se aplica, que procede de la teoría de opciones basada en la existencia de una cartera cubierta que justifica el descuento de las magnitudes a la tasa libre de riesgo.

¿Cómo se cubre el riesgo de *default* de una compañía? No será fácil encontrar una cartera que replique los flujos generados por el “riesgo *default*”.

#### 4.3.2. El valor de los recursos propios analizados como opciones

Los recursos propios también pueden ser valorados como si fueran opciones, y quizá menos limitaciones teóricas que las que se plantean en el caso de la deuda.

En este caso, se trata de analizar una opción compuesta de carácter (tracto) sucesivo; es decir, de un opción cuyo ejercicio da origen al nacimiento de una nueva(s) opción(es). En efecto, si caracterizamos a los recursos propios como una opción de compra en la empresa con strike igual a los pagos para el servicio de la deuda en cada periodo, es necesario que en cada periodo los accionistas cumplan con las obligaciones frente a los acreedores para que nazca una opción similar en el periodo siguiente, y hasta el completo paso de la deuda. ¿En qué circunstancias ejercitará el accionista dicha opción cada periodo? Sólo en caso de que el valor de los activos supere el valor de los pagos a realizar a la deuda.

Veamos esto en nuestro ejemplo del parking: el valor de los recursos propios, en cada momento y escenario, es el valor empresarial menos los pagos a realizar a la deuda:

VALOR DE LOS RECURSOS PROPIOS					
0	1	2	3	4	5
					552,2
				461,8	
			379,8		358,7
		305,5		286,3	
	239,2		220,6		199,5
181,3		163,9		141,9	
	116,6		96,5		68,4
		61,9		39,5	
			21,0		0,0
				0,0	
					0,0

**Fórmulas:**

**Momento 0:**

- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 670,9 - 489,56 = 181,3*

**Momento 1:**

- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 739,6 - 500,43 = 239,2*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 116,6*

**Momento 2**

- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 815,3 - 509,88 = 305,5*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 163,9*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 61,9*

**Momento 3**

- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 898,8 - 519 = 379,8*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 220,6*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 96,5*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 21,0*

**Momento 4**

- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 990,9 - 529,07 = 461,8*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 286,3*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 141,9*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 39,5*

**Momento 5**

- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 1.092,4 - 540,2 = 552,2*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 358,7*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 199,5*
- *Valor del proyecto sin flexibilidad – Valor del calendario de amortización = 68,4*

**4.3.2.1. Las opciones compuestas de carácter simultáneo**

Se trata, en estos casos, de opciones sobre opciones; pero de ejercicio simultáneo, como, por ejemplo, en el supuesto de opciones sobre acciones, cuando tales acciones (recursos propios) han sido analizadas como opciones.

Volviendo a nuestro ejemplo del aparcamiento, supongamos que Arca Continental está dispuesto a venderle a otra empresa opciones de compra sobre el negocio con las siguientes condiciones:

Vencimiento: al finalizar el 5º año (europea)

Strike.:1.6 millones

¿Qué valor tiene dichas opciones?

Para valorar este tipo de opciones, se procede de la siguiente forma:

- 1) Desarrollo del árbol binomial que forma el subyacente para la “segunda opción”
- 2) Desarrollo del árbol binomial de la opción sobre la opción

En nuestro caso, el árbol binomial del subyacente es el de los recursos propios, que se produce en la página anterior. El árbol de la opción europea sobre dichos recursos propios es:

<b>OPCIÓN SOBRE OPCIÓN (OPCIÓN COMPUESTA)</b>						
Strike	1,6 millones					
Ejercicio	5 años (europea)					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
						550,6
					417,5	
				310,7		357,1
			220,6		256,7	
		149,4		165,4		197,9
	97,3		100,3		96,5	
		58,5		47,0		0,0
			22,9		0,0	
				0,0		0,0
					0,0	
						0,0

*Fórmulas:*

**Momento 5**

- Valor de los recursos propios (momento 5) – Strike=552,2 - 1,6 =550,6
- Valor de los recursos propios (momento 5) – Strike=357,1
- Valor de los recursos propios (momento 5) – Strike=197,9

**Momento 4**

- *Valor opción sobre opción (momento 5) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (Valor opción sobre opción (momento 5)/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) =  $550,6 / 1,11 * 0,5388 + (357,1/1,11) * 0,4612 = 417,5$*
- *Valor opción sobre opción (momento 5) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (Valor opción sobre opción (momento 5)/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) =  $256,7$*
- *Valor opción sobre opción (momento 5) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (Valor opción sobre opción (momento 5)/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) =  $96,5$*

**Momento 3**

- *Valor opción sobre opción (momento 4) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (0/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) =  $417,5 / 1,11 * 0,5388 + (256,7 / 1,11) * 0,4612 = 310,7$*
- *Valor opción sobre opción (momento 4) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (0/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) =  $165,4$*
- *Valor opción sobre opción (momento 4) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (0/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) =  $47$*

**Momento 2**

- *Valor opción sobre opción (momento 3) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (0/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) =  $310,7 / 1,05 * 0,5388 + (165,4 / 1,11) * 0,4612 = 220,6$*
- *Valor opción sobre opción (momento 3) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (0/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) =  $100,3$*
- *Valor opción sobre opción (momento 3) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (0/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) =  $22,9$*

**Momento 1**

- *Valor opción sobre opción (momento 2) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (0/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) =  $220,6 / 1,11 * 0,5833 + (100,3 / 1,11) * 0,4612 = 194,4$*
- *Valor opción sobre opción (momento 2) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (0/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) = 58,5*

**Momento 0**

- *Valor opción sobre opción (momento 1) /opción de diferir % \*valor del proyecto con opciones (p) + (0/opción de diferir %) \* valor del proyecto con opciones (q) =  $194,4 / 1,11 * 0,5833 + (58,5 / 1,11) * 0,4612 = 97,3$*

En el momento 5, y para el escenario más favorable (valor de los recursos propios de 588), el valor de la opción sobre las acciones es de  $552,2 - 1,6 = 550,6$ . Como se trata de una opción europea, el valor de la opción en los momentos anteriores, y para cada escenario de obtiene mediante el descuento a las tasas libre de riesgo de los valores de la opción en el momento posterior, ponderados por su probabilidad riesgo neutro. Por ejemplo, en el momento 4:

$$(550,6 / 1,11 * 0,5388 + (357,1 / 1,11) * 0,4612 = 417,5$$

**4.3.3. El valor de instrumentos híbridos a través de opciones: los bonos convertibles**

Una vez analizados deuda y recursos propios mediante la teoría de opciones, no hay ningún problema para aplicar el modelo a instrumentos híbridos como, por ejemplo, bonos convertibles. El poseedor de un bono convertible siempre elegirá la alternativa de mayor valor, permanecer como bonista o convertirse en accionista en el momento de la conversión.

Analicemos otro ejemplo sobre la base del caso del aparcamiento. Supongamos que Arca Continental puede venderle a una compañía de capital-riesgo unos bonos convertibles de nominal 500 millones, a cinco años, con una opción de convertirse en titular del 65 por 100 del negocio en cualquier momento durante los siguientes cinco años.

¿Qué tipo de interés deberán pagar dichos bonos en equilibrio? ¿Qué valor tiene la opción de conversión? Partamos una vez más del valor del proyecto con opciones y del valor de los recursos propios que reproducimos aquí:

**EVOLUCIÓN VALOR DEL PROYECTO SIN FLEXIBILIDAD**

**HIPÓTESIS DE PARTIDA**

volatilidad	9,75%	
S	601,711	
u	1,10241144	0,10241144
d	0,90710234	-0,09289766
Rf	10,50%	
p	53,88%	
q	46,12%	
D	0,00%	

**Árbol binominal**

cifras en millones de pesetas

Periodos	0	1	2	3	4	5
						1.092,4
					990,9	
				898,8		898,9
			815,3		815,4	
		739,6		739,6		739,7
	670,9		670,9		671,0	
		608,6		608,6		608,6
			552,1		552,1	
				500,8		500,8
					454,3	
						412,1

**VALOR DE LOS RECURSOS PROPIOS**

0	1	2	3	4	5
					552,2
				461,8	
			379,8		358,7
		305,5		286,3	
	239,2		220,6		199,5
181,3		163,9		141,9	
	116,6		96,5		68,4
		61,9		39,5	
			21,0		0,0
				0,0	
					0,0

Partiendo del valor del proyecto con opciones y sin flujos repartidos, y de unas condiciones de plazo y conversión, el valor del convertible en el momento de conversión es:

$$MAX\{MIN(VE, Pagosdeuda); (RP * \% \text{ participación tras conversión})\}$$

Donde VE es el valor y RP son los recursos propios.

Así, en el escenario donde el valor empresarial es 1.092,5 (momento 5) el valor del convertible es:

$$1. \quad MAX(MIN(Valor \text{ empresarial (momento 5)}; Pagos \text{ deuda (momento 5)}); (Recursos \text{ propios (momento 5)} * part. \text{ Tras conversión}) = MAX\{MIN(1.092,5 ; 232.77); (552,2 * 0.65)\} = 540,2$$

## BIBLIOGRAFIA

Real options & Antikarov. Texere, 2001

Opciones, Futuros e Instrumentos Derivados. Pablo Fernandez. Ediciones Deusto, 1996

Real options. Amran, M. y Kuatitaka., *Harvard Business School Press*, 1999.

Valuation. 3.ª edición. Cap. 15. Copeland, Koller y Murrin. Wiley & Sons, Inc, 2000

Real options in Capital Budgeting. Lenos Trigeorgis, Praeger, 1995.

Real options and options Embedded securities. William. T. MOORE, Wiley Finance, 2001

Opciones Reales. J.J. Garcia Machado. Piramide 2001.

Real options in der Unternehmenspraxis. Hommel, Scholich Vollrath, Springer, 2001.

Real options and Investments under uncertainty. E. Schwartz, L. Trigeorgis, 2001.

## Enunciado del ejercicio

### CASO REAL

#### EMPRESA ARCA S.A

La empresa Arca Continental desea invertir en una ampliación de planta durante los próximos 5 años en Machachi perteneciente al canton Mejia, para lo cual el valor del subyacente es 601,711 millones, adicionalmente tiene la oportunidad de ampliar su mercado de productos con la compra de productos TONI valorado en \$1600 millones, para lo que se necesita saber que opciones le permiten tener un beneficios a futuro y tomar la decisión correcta.

Datos

-Volatilidad = 9.75%

-Tasa libre de riesgo del Ecuador = 10.50%

-Tasa de repartos de dividendos = 1.55%

-Tiempo = 5 años

Calcular:

- La evolución del proyecto sin flexibilidad en periodo de 5 años
- El valor de la opción CALL DE AMPLIACIÓN con plazo hasta un ejercicio de 5 años y strike de 1600 millones, con un incremento del 16.63%,
- De la misma manera se procede para valorar una opción de abandono (en este caso un PUT europeo con plazo hasta el ejercicio de 5 años): en el momento de ejercicio, el valor de la put será

$$\text{Max } (0; K-S)$$

Dónde:

K es el strike o valor liquidativo en caso de abandono.

En nuestro caso, y con strike de 1,6 millones

Arca Continental, supongamos ahora que el vendedor le concede la posibilidad de comprar el inmueble, en cualquier momento de los próximos dos años, por un precio de 325 millones de pesetas. ¿Mejora esta oferta la situación del comprador? Esta situación puede analizarse como una opción de diferir el proyecto de empresa.

- Calcular el valor total del proyecto.
- Dentro del ejemplo de la inversión estimar el valor de la deuda, su precio de equilibrio y el valor de recursos propios, incluyendo las opciones de ampliación y abandono sin reparto de dividendos.
- Supongamos, que Arca Continental requiere financiamiento con las siguientes características:

<b>CARACTERÍSTICAS DEL PRÉSTAMO</b>	
<b>Principal del préstamo</b>	100
<b>Amortización</b>	5
<b>Interés</b>	8,04%

En nuestro supuesto, Arca Continental consiguió convencer a una entidad financiera para que le presten dinero con un plazo de cinco años, sin amortización durante ese período (amortización total al vencimiento o *bullet*)

Arca Continental está dispuesto a venderle a una empresa opciones de compra sobre el negocio con las siguientes condiciones:

Vencimiento: al finalizar el 5º año (europea)

Strike.:1,6 millones

¿Qué valor tiene dichas opciones?

Para valorar este tipo de opciones, se procede de la siguiente forma:

- 3) Desarrollo del árbol binomial que forma el subyacente para la “segunda opción”
- 4) Desarrollo del árbol binomial de la opción sobre la opción

Supongamos que Arca Continental puede venderle a una compañía de capital-riesgo unos bonos convertibles de nominal 500 millones, a cinco años, con una opción de convertirse en titular del 65 por 100 del negocio en cualquier momento durante los siguientes cinco años.

¿Qué tipo de interés deberán pagar dichos bonos en equilibrio? ¿Qué valor tiene la opción de conversión?

## Conclusiones

### Conclusiones de equipo de investigación

1. En el presente trabajo se presentó el método de valoración de opciones como una metodología que permite ampliar la visión y estrategias de los inversionistas en ambientes de alta incertidumbre permitiéndoles tomar decisiones de negocio.
2. Los árboles de decisión (teoría de juegos) constituyen una alternativa para evaluar la flexibilidad asociada con las decisiones de inversión. No obstante, la metodología de opciones reales es rigurosamente más correcta; tanto las opciones reales como los árboles de decisión capturan la flexibilidad, sin embargo las opciones reales son ajustadas por el riesgo
3. La valoración de opciones reales integra el análisis financiero real con la perspectiva estratégica generando una estructura más amplia para un estudio global que incorpora futuras alternativas durante la ejecución del proyecto.

### Conclusión del caso Arca Continental

- La empresa Arca Continental debe invertir en el proyecto, ya que su valor, incluyendo las dos opciones (670,9) millones, es superior al precio de venta (601,7) millones que es el precio de venta fijado del proyecto, Invertir en este proyecto se obtendrá una rentabilidad de un cuantía de 69,2 millones.
- En la inversión de un proyecto es factible trabajar con financiamiento de terceros ya que este generaría un escudo fiscal en el pago del impuesto a la renta en los intereses, y por ende se reducirá dicho pago.
- Al analizar el proyecto que desea implementar Arca Continental es recomendable que obtenga un mayor porcentaje de financiamiento de terceros y no lo haga con sus recursos propios

## Recomendaciones

1. Se debe realizar un análisis sobre un proyecto para conocer resultados al invertir y poder tomar la decisión correcta con el método de opciones, el cual es un método eficaz que nos ayuda a comparar de mejor manera los posibles resultados que puede tener dicho proyecto.

## Literatura consultada:

López Lubían Francisco, Walter de Luna: FINANZAS CORPORATIVAS EN LA PRACTICA, EDITORIAL , McGraw-Hill

Primera edición 2002