

## Opciones Arco Iris

Dr. Guillermo López Dumrauf

Copyright © 2006 by Dr. Guillermo López Dumrauf

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means — electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise — without the permission of Dr. Guillermo López Dumrauf  
This document provides an outline of a presentation and is incomplete without the accompanying oral commentary and discussion.

# Definición

Las opciones arco iris ("*rainbow options*") son aquellas cuyo valor es afectado por **más de una fuente de incertidumbre**

Aparecen a menudo en aquellos negocios donde se mezclan los **riesgos de mercado** (públicos) con los **riesgos privados**. Estos últimos, generalmente no presentan correlación con los primeros...

# Riesgos públicos y privados

Industria	Riesgos privados	Riesgos públicos
Farmacéutica Biotecnología	Suceso en experimentos Regulaciones	Precio y demanda
Petróleo Minería Gas Extractivas en general	Cantidad de petróleo, o gas, o minerales en un yacimiento Calidad del petróleo	
Investigación y desarrollo	Suceso en experimentos Regulaciones	
Comunicaciones	Incertidumbre tecnológica Regulaciones	

# Riesgos privados y riesgos públicos

La Escuela del Análisis de Decisión de Stanford ha realizado propuestas sobre modelos para tratar simultáneamente con riesgos privados y riesgos públicos. Los trabajos más conocidos pueden resumirse en los papers de Smith y Nau () y Borison (). Se han presentado variantes con distintos nombres, pero los rasgos fundamentales son:

- Para riesgos públicos utilizar replicated portfolio (o probabilidades neutrales)
- Para riesgos privados utilizar probabilidades subjetivas

Dadas sus características, podría decirse que este método constituye un *“fully risk-neutral approach”*

# Ejemplo de opción arco iris

El approach que presentaremos a continuación ha sido sugerido por Copeland y Antikarov (2001). C&A mezclan el tratamiento de los riesgos privados con el tratamiento de los riesgos de mercado. El approach consiste en

- **Utilizar probabilidades subjetivas y descuento a la mitad de la tasa libre de riesgo (1/2 año)**
- **Utilizar los métodos tradicionales y descuento a la mitad de la tasa libre de riesgo (1/2 año)**

El método se torna visualmente complejo y la mezcla hace que haya alguna pérdida de precisión. Su bondad radica en que tal vez sea más amigable para el senior management

# Ejemplo de opción arco iris

C&A lo explican con un ejemplo "Pharma Company", cuyos datos aparecen a continuación:

La compañía X está evaluando un proyecto de investigación y desarrollo de un nuevo producto. **Se precisan 3 fases:**

**Investigación.** Costo= 3 millones; la chance de alcanzar el éxito en esta fase es del 20% (en base a la experiencia)

**Desarrollo.** Costo= 60 millones

Chance de generar un buen producto 15% ; PV= 600 millones

Chance de generar un producto mediocre: 25% ; PV= 40 millones

Chance de fracaso: 60% ; PV=0

**Construcción de la fábrica.** Costo=40 millones; los flujos de fondos comienzan al final del año 3; WACC=10%;  $r_f=5\%$

# El VAN ingenuo

Utilizando como tasa de descuento la tasa libre de riesgo para los tres primeros años (ya que los riesgos privados no se encuentran correlacionados con el mercado) obtenemos **el VAN INGENUO (-51,33)** que nos dice que no conviene invertir:

Valor esperado del proyecto al final del año 3, una vez construida la planta, calculado con el WACC

Costo planta

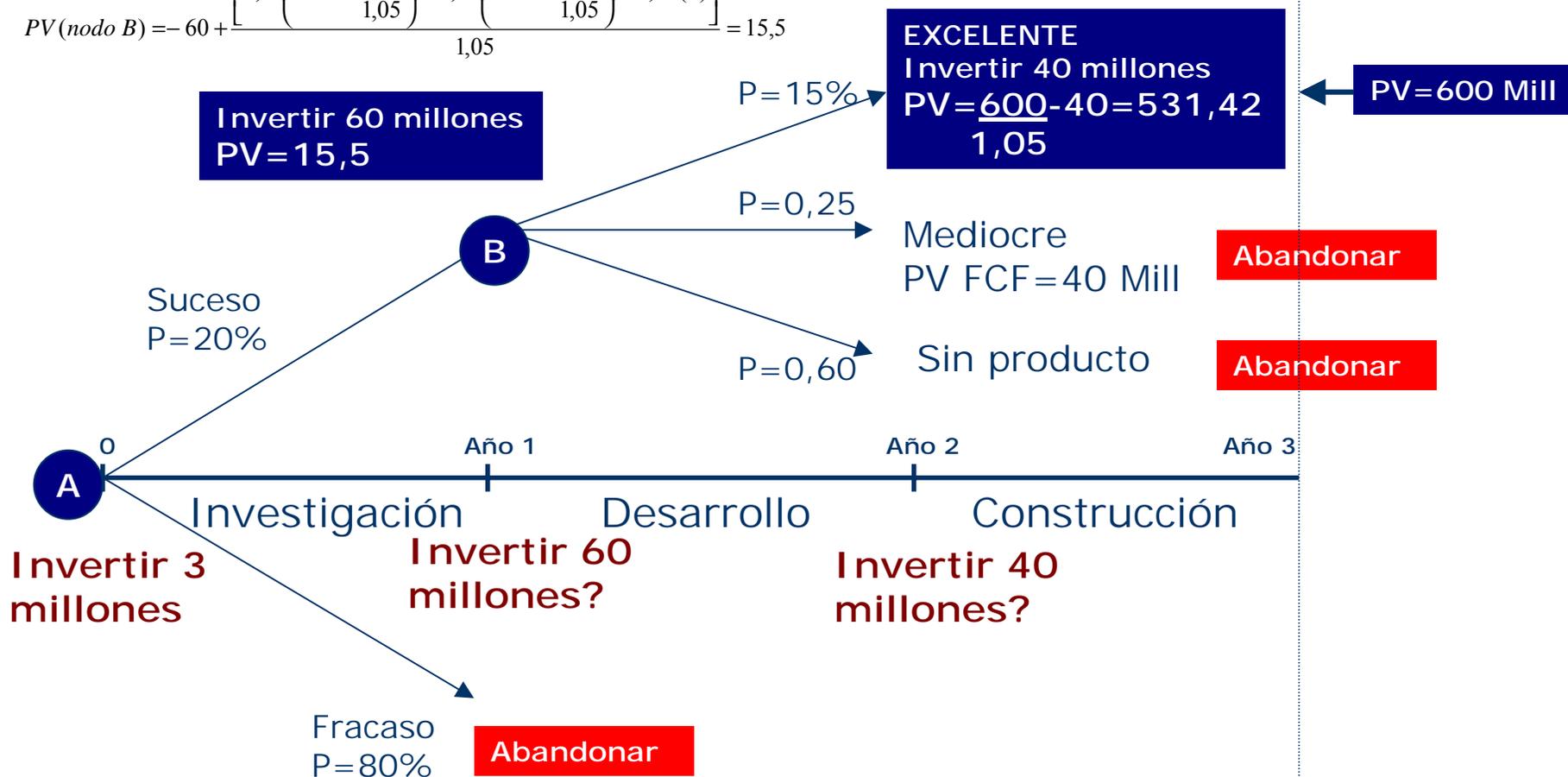
Costo desarrollo

Costo investigación

$$-3 + 0,20 \left[ 0,15 \left( -40 + \frac{600}{1,05} \right) + 0,25 \left( -40 + \frac{40}{1,05} \right) + 0,60 \left( -40 + 0 \right) \right] + 0,80 \left[ \frac{0}{1,05} - 60 \right] = -51,33$$

# El VAN aplicando DTA

$$PV(\text{nodo B}) = -60 + \frac{\left[ 0,15 \left( -40 + \frac{600}{1,05} \right) + 0,25 \left( -40 + \frac{40}{1,05} \right) + 0,60(0) \right]}{1,05} = 15,5$$



## El VAN con DTA

$$PV(\text{nodo A}) = 0,20 \left[ \frac{0,15 \left( -40 + \frac{600}{1,05} \right) + 0,25 \left( -40 + \frac{40}{1,05} \right) + 0,60(0)}{1,05} - 60 \right] + 0,80(0) = 2,95$$

15,5

Como el costo de la investigación es de 3 millones, **el VAN es  $2,95 - 3 = -0,05$**

Dado el valor de la flexibilidad de 51,5 millones ( $51,5 - 0,05$ ) elegiríamos seguir...

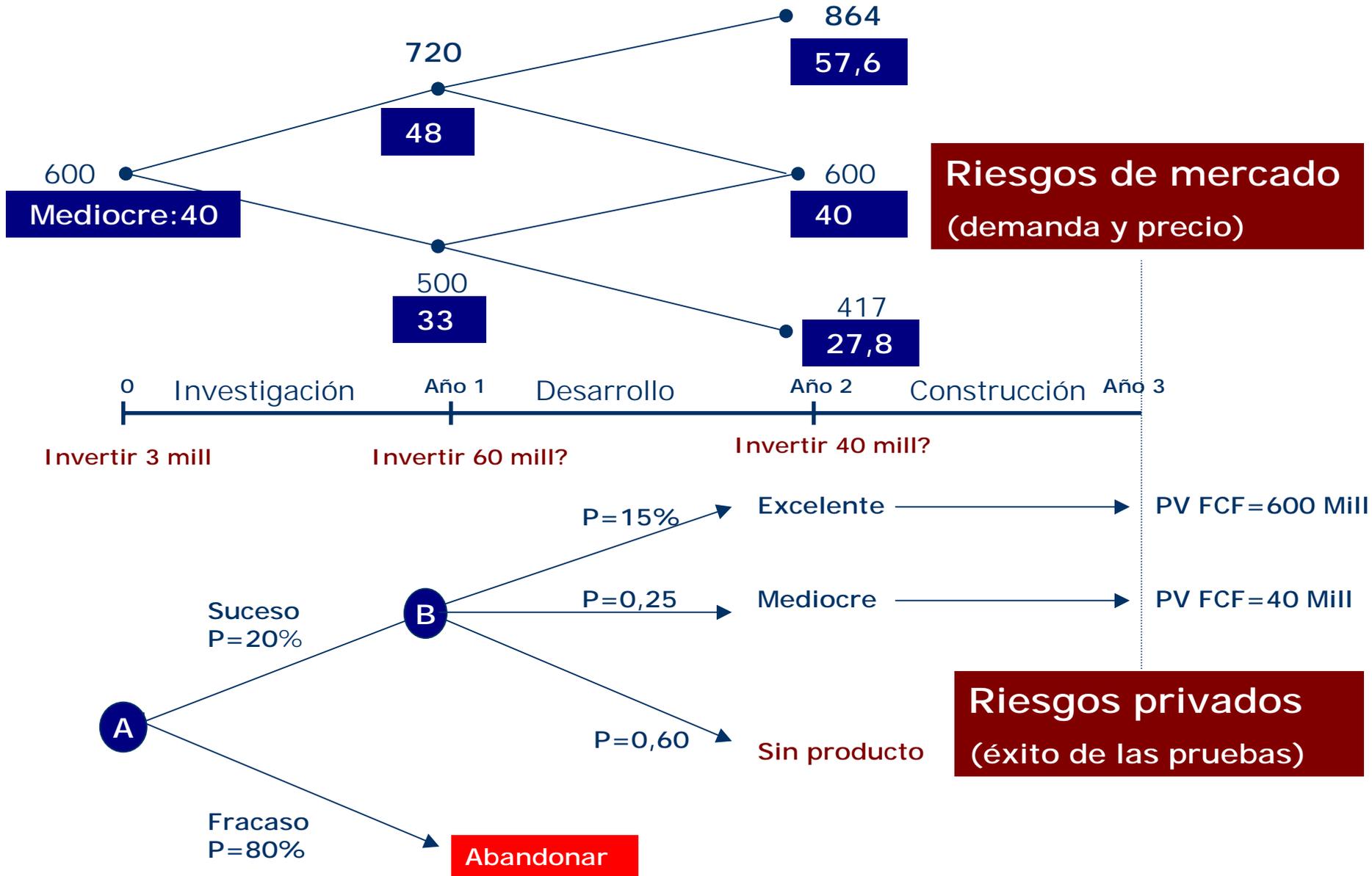
# Opción compuesta arco iris

Aunque la gerencia piense que un buen producto generará un flujo de caja perpetuo de 60 millones ( $PV=60/0,10=600$  millones) y uno mediocre un flujo de caja de 4 millones ( $PV=4/0,10=40$  millones)

**sabe que esas estimaciones son afectadas por los riesgos de mercado y pueden fluctuar, a partir de hoy, en un 20% para arriba o para abajo...**

**Y el valor del proyecto podría ser más bajo o más alto...**

# Las fuentes de incertidumbre

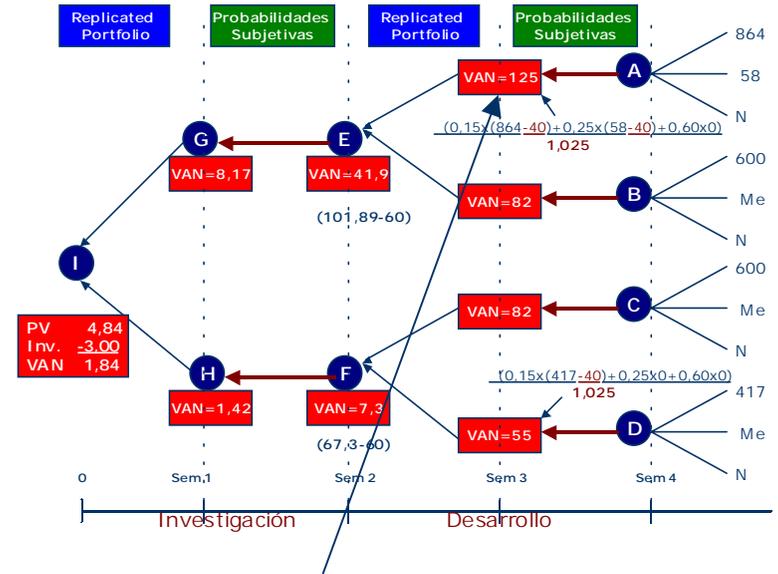


## Opción compuesta arco iris

Lo que quieren decir C&A, es que una mercancía que tiene un valor esperado hoy de 600 millones (aunque ese será el valor una vez que esté construida la fábrica y comience a producir y generar flujos de efectivo) puede fluctuar 20% para arriba o para abajo, y dentro de dos años, podría haber diferentes combinaciones de éxito/fracaso tecnológico y precios. Por ejemplo, el proyecto podría valer 864 millones (si el precio sube dos veces y el producto es óptimo) o 27,8 millones (si el precio baja dos veces y el producto es mediocre)

# VAN del proyecto al final del 3er semestre

La incertidumbre tecnológica se resuelve al final del segundo año en los nodos A, B, C y D. En ese momento, debe decidirse si se contruye la fábrica o se abandona el proyecto.

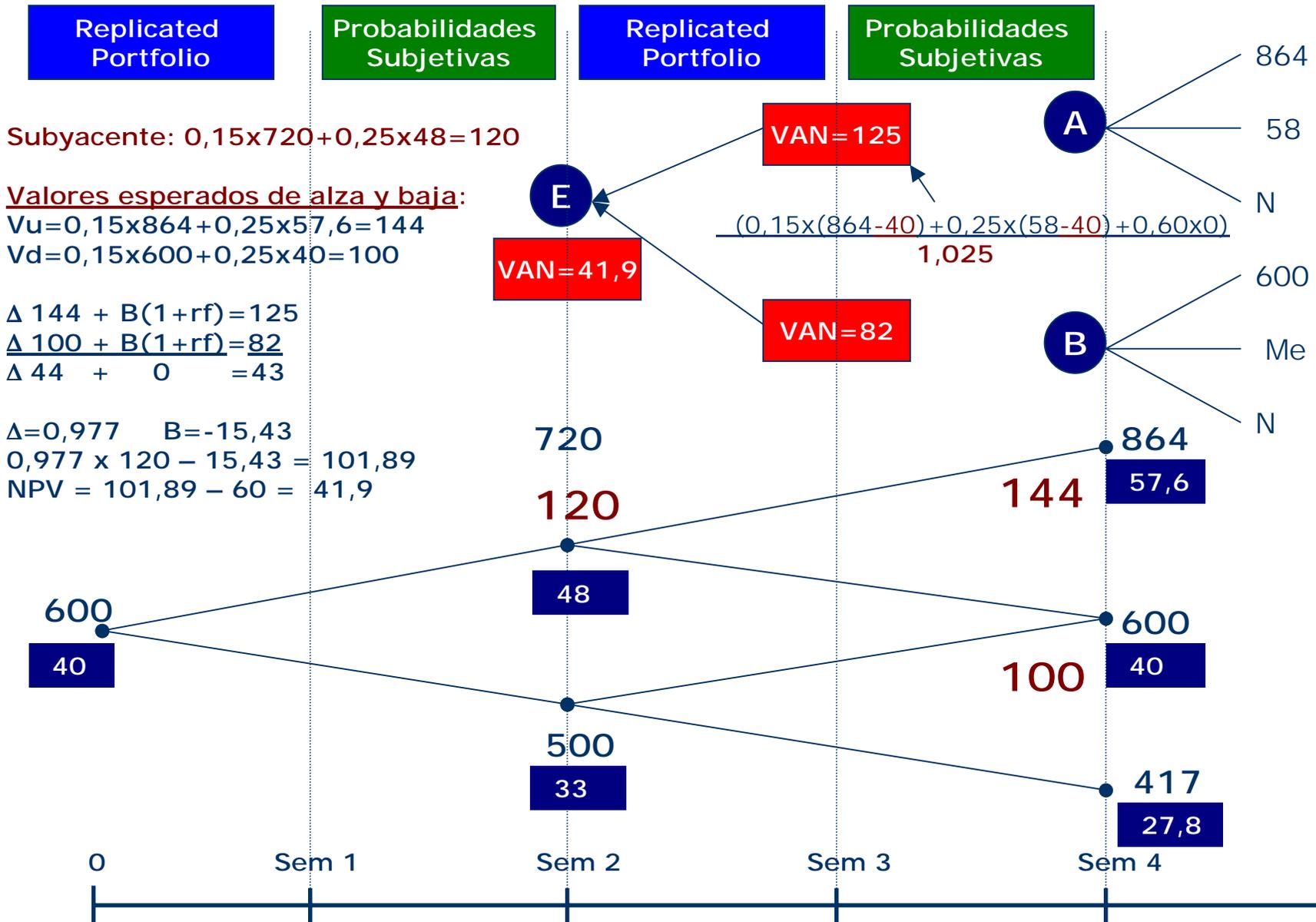


**El PV del proyecto al final del 1er semestre del segundo año** es el valor esperado descontado a la mitad de la tasa libre de riesgo, menos la inversión (40 millones)

En el nodo A, la información nos dice que el precio aumentó dos veces, de modo que si en la fase tecnológica se demostró que el producto es un suceso, su valor será:

$$\frac{(0,15 \times (864 - 40) + 0,25 \times (58 - 40) + 0,60 \times 0)}{1,025} = 125$$

# Mecánica: riesgos privados + riesgos públicos



# VAN del proyecto al final del 2do semestre

Como la incertidumbre de mercado está correlacionada con éste, precisamos utilizar el abordaje del replicated portfolio en el nodo E.

Los retornos al final del período son 125 y 82 (los valores presentes obtenidos al final del 1 semestre incluyendo la incertidumbre tecnológica) . El valor del activo subyacente al inicio del 2do año es  $0,15 \times 720 + 0,25 \times 48 = 120$

Los valores esperados (ponderados) en las situaciones de alza y baja son

$$Vu = 0,15 \times 864 + 0,25 \times 57,6 = 144$$

$$Vd = 0,15 \times 600 + 0,25 \times 40 = 100$$

Formamos el portfolio con los valores de los activos subyacentes al final del segundo año y los igualamos a los retornos de la opción, para despejar luego delta y B:

$$\Delta \cdot 144 + B(1+rf) = 125$$

$$\underline{\Delta \cdot 100 + B(1+rf) = 82} \quad (\text{la } rf \text{ es } 2,5\% \text{ la mitad de la tasa libre de riesgo anual})$$

$$\Delta \cdot 44 + 0 = 43$$

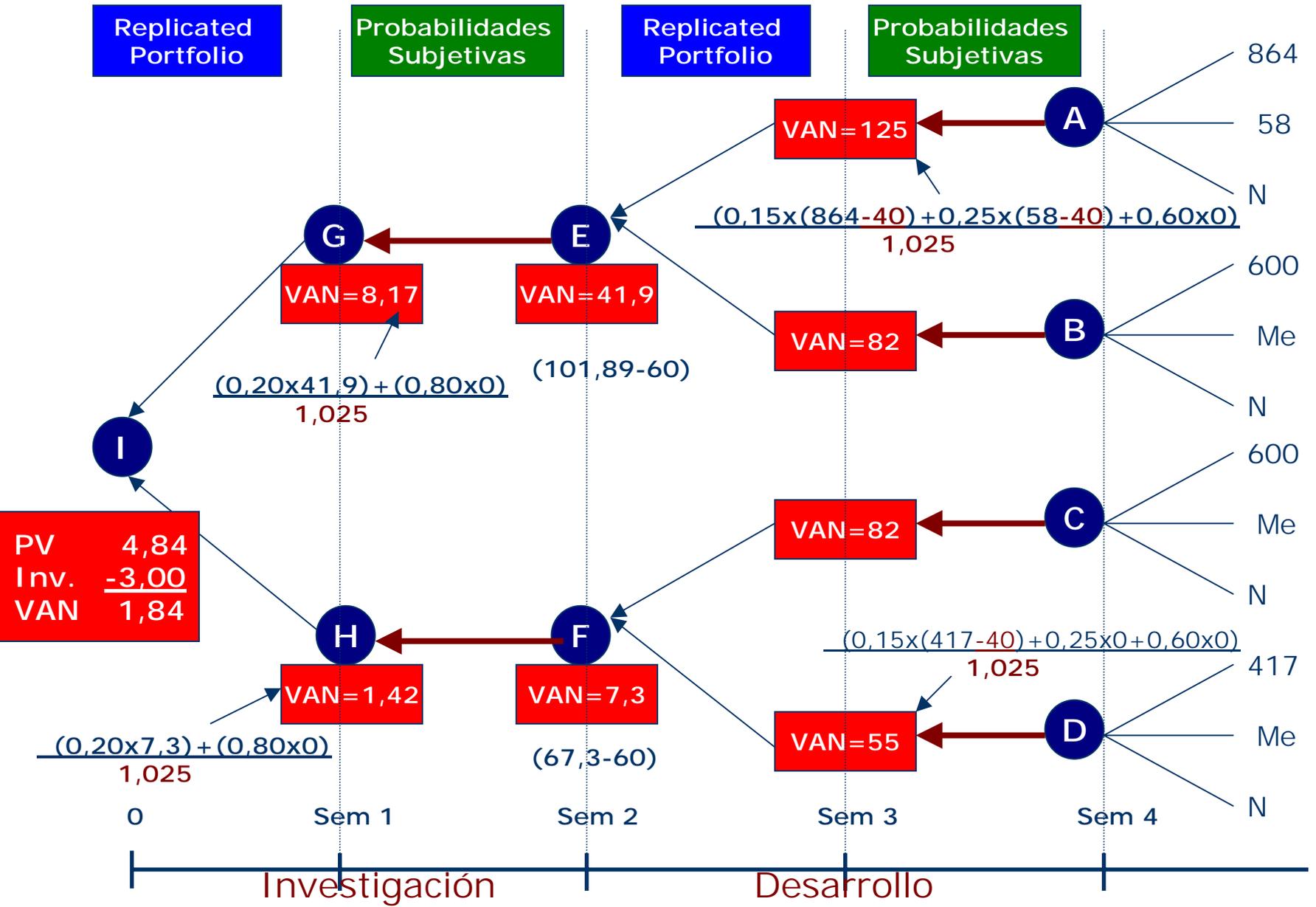
$$\Delta = 0,977 \quad B = -15,43$$

Finalmente, reemplazamos en la composición del portafolio y restamos la inversión en desarrollo para obtener el VAN

$$0,977 \times 120 - 15,43 = 101,89$$

$$\text{VAN} = 101,89 - 60 = 41,9$$

# Mecánica: riesgos privados + riesgos públicos



# Replicated portfolio

## Nodo F:

Activo subyacente:  $0,15 \times 500$   
 $+ 0,25 \times 33 = 83,25$

$$V_u = 0,15 \times 600 + 0,25 \times 40 = 100$$

$$V_d = 0,15 \times 417 + 0,25 \times 27,77 = 69,55$$

$$\Delta \cdot 100 + B(1 + r_f) = 82$$

$$\underline{\Delta \cdot 69,5 + B(1 + r_f) = 55,17}$$

$$\Delta \cdot 30,45 + 0 = 26,8$$

$$\Delta = 0,88 \quad B = -5,9$$

$$0,88 \times 83,25 - 5,9 = 67,3$$

## Nodo E:

Activo subyacente:  $0,15 \times 720$   
 $+ 0,25 \times 48 = 120$

$$V_u = 0,15 \times 864 + 0,25 \times 57,6 = 144$$

$$V_d = 0,15 \times 600 + 0,25 \times 40 = 100$$

$$\Delta \cdot 144 + B(1 + r_f) = 125$$

$$\underline{\Delta \cdot 100 + B(1 + r_f) = 82}$$

$$\Delta \cdot 44 + 0 = 43$$

$$\Delta = 0,977 \quad B = -15,43$$

$$0,977 \times 120 - 15,43 = 101,89$$

# Replicated portfolio

## Nodo I:

Activo subyacente:  $0,15 \times 600 + 0,25 \times 40 = 100$

$$V_u = 0,15 \times 720 + 0,25 \times 48 = 120$$

$$V_d = 0,15 \times 500 + 0,25 \times 33 = 83,25$$

$$\Delta \cdot 120 + B(1+rf) = 8,17$$

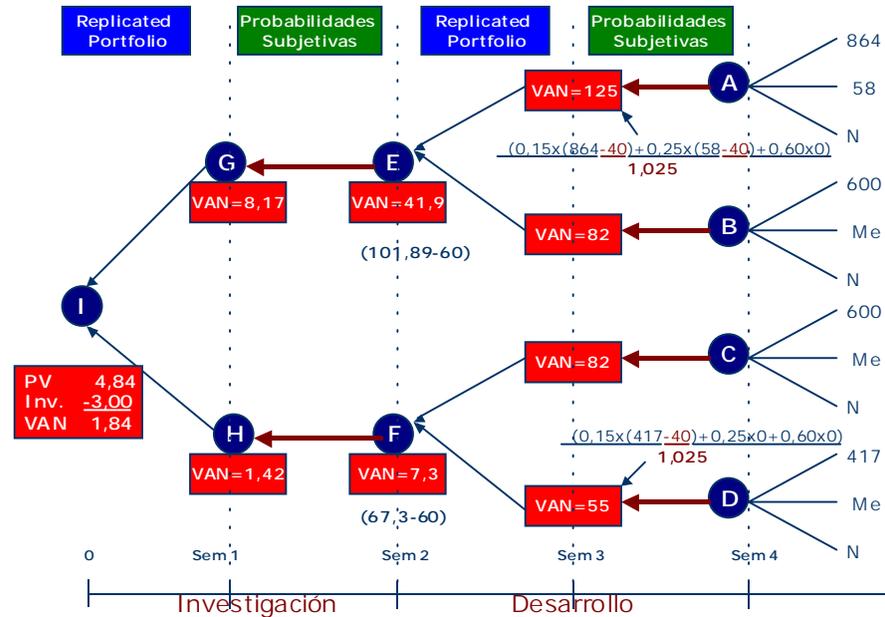
$$\Delta \cdot 83,25 + B(1+rf) = 1,42$$

$$\Delta \cdot 36,75 + 0 = 6,75$$

$$\Delta = 0,1837 \quad B = -13,53$$

$$0,15 \times 600 + 0,25 \times 40 = 100$$

$$0,1837 \times 100 - 13,53 = 4,84$$



PV	4,84
Gastos investigación	-3,00
VAN	1,84

# Approach C&A para riesgos públicos y privados: conclusiones

La metodología propuesta por C&A de mezclar riesgos privados y públicos en un análisis tipo “fully risk-neutral approach” tal vez pierde un poco de precisión cuando mezclan el replicated portfolio con las probabilidades subjetivas (por ejemplo, al calcular el valor esperado con probabilidades subjetivas para captar todas las posibilidades, inclusive la de no obtener producto, no se ajusta al valor que obtendríamos con probabilidades neutrales usando éstas en la parte que usamos el replicated portfolio)

# Bibliografía específica sobre opciones arco iris

- Copeland-Antikarov (2001) Real Options: A Practitioner's Guide, TEXERE, New York, NY, 2001
- Luehrman Timothy A. (1997) "What's It Worth? A General Manager's Guide to Valuation," Harvard Business Review, May-June 1997, pp. 132-142
- James E. Smith and Robert F. Nau, "Valuing Risky Projects: Option Pricing Theory and Decision Analysis," Management Science, Volume 41, Number 5, May 1995, pp. 795-816. (Smith and Nau, 1995)
- James E. Smith and Kevin F. McCardle, "Valuing Oil Properties: Integrating Option Pricing and Decision Analysis Approaches," Operations Research, Volume 46, Number 2, March-April 1998, pp. 198-217. (Smith and McCardle, 1998)
- Martha Amram and Nalin Kulatilaka (1999) Real Options: Managing Strategic Investment in an Uncertain World, Harvard Business School Press, Boston, MA
- Martha Amram and Nalin Kulatilaka (2000) Strategy and Shareholder Value Creation: The Real Options Frontier, Journal of Applied Corporate Finance, Summer 2000, Volume 15, Number 2, pp. 15-28
- Brandao, Dyer and Hahn (2005) " Using Binomial Decision Trees to Solve Real Option Valuation Problems" (disponible en <http://www.iag.puc-rio.br/~brandao/index.html>)
- Real Options Analysis: Where are the Emperor's Clothes? Adam Borison, Stanford University (en el site de la Real Options Group). El sitio de la Real Options Group es [www.rogroup.com](http://www.rogroup.com) donde pueden encontrarse los últimos papers presentados en el congreso de este año en París. Hay muchos papers interesantes. Algunos de ellos son: Optimal Investment Scale and Timing in Oilfield Development Marco A. G. Dias, Petrobras & PUC - Rio de Janeiro, Katia Rocha, IPEA & PUC - Rio de Janeiro José Paulo Teixeira, PUC - Rio de Janeiro
- La página web más completa sobre real options es la de Marco Guimaraes Días <http://www.puc-rio.br/marco.ind/main.html>