

Caso Ecopetrol - Ingenieria Financiera

Pedro David Gutierrez, Juan Camilo Liberato, Andres Sierra Cuellar

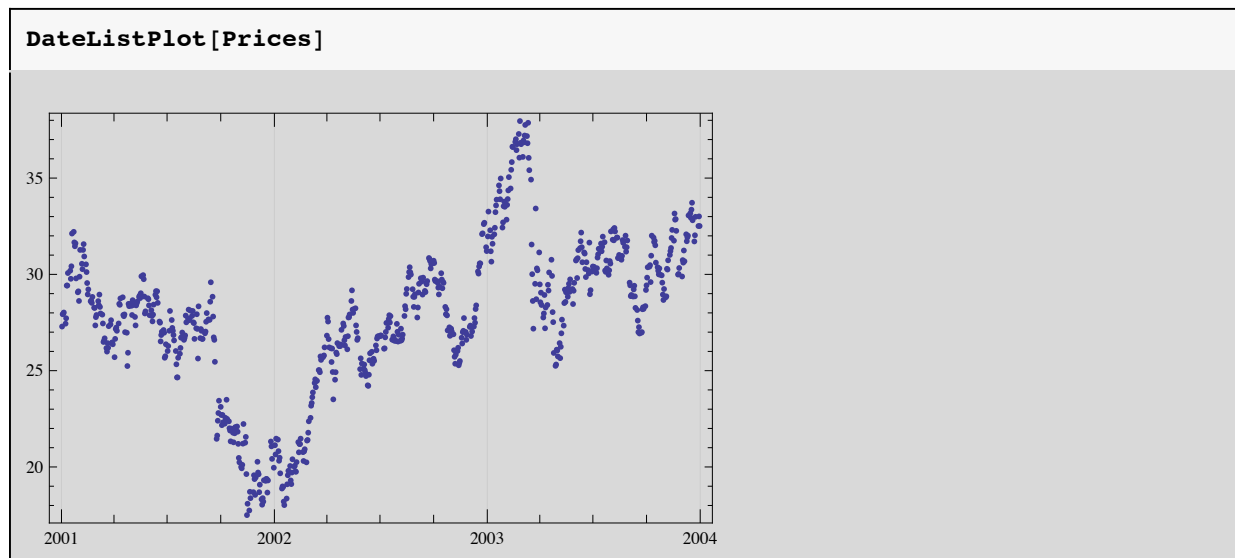
Primera parte: Simulación del Precio del Petróleo

¿Se puede asumir que el precio del petróleo se comporta como un Movimiento Browniano Geométrico dada la información suministrada?

Si, para demostrar que el precio se comporta como un MGB, realizamos el siguiente analisis:

Se toman los precios históricos diarios del WTI desde el 02 de Enero del 2001 hasta el 30 de Diciembre de 2003.

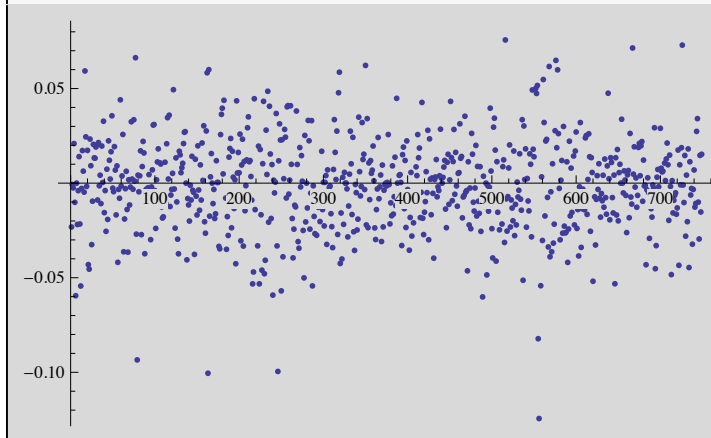
Fuente : Quantopian.com



El precio maximo de la serie fue 37.96 USD/Barril y el minimo fue 17.5 USD/Barril

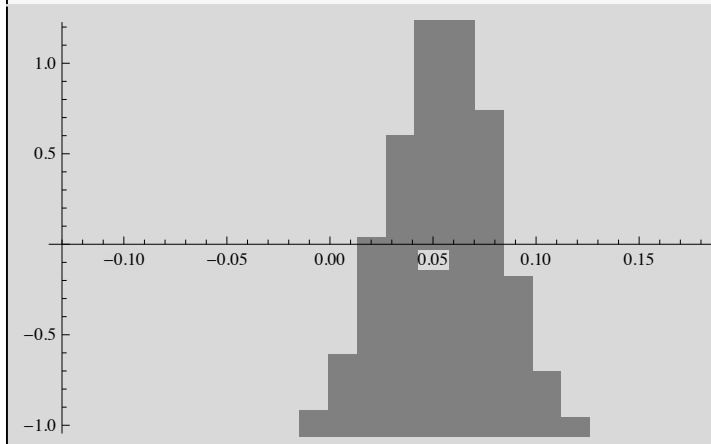
Para estimar la volatilidad, calculamos el logaritmo de los saltos de un día a otro entre los datos obtenidos.

```
diff = Table[logpr[[i]] - logpr[[i + 1]], {i, 1, Length[pr] - 1}];
```



Mostrando Un histograma de los datos podemos deducir que se trata de una distribución Normal. Cuya media es (Sin logaritmo) -0.0069, y Su desviación estándar es (Sin Logaritmo) : 0.727071, Con logaritmo serían : -0.00023 y 0.0265 Respectivamente.

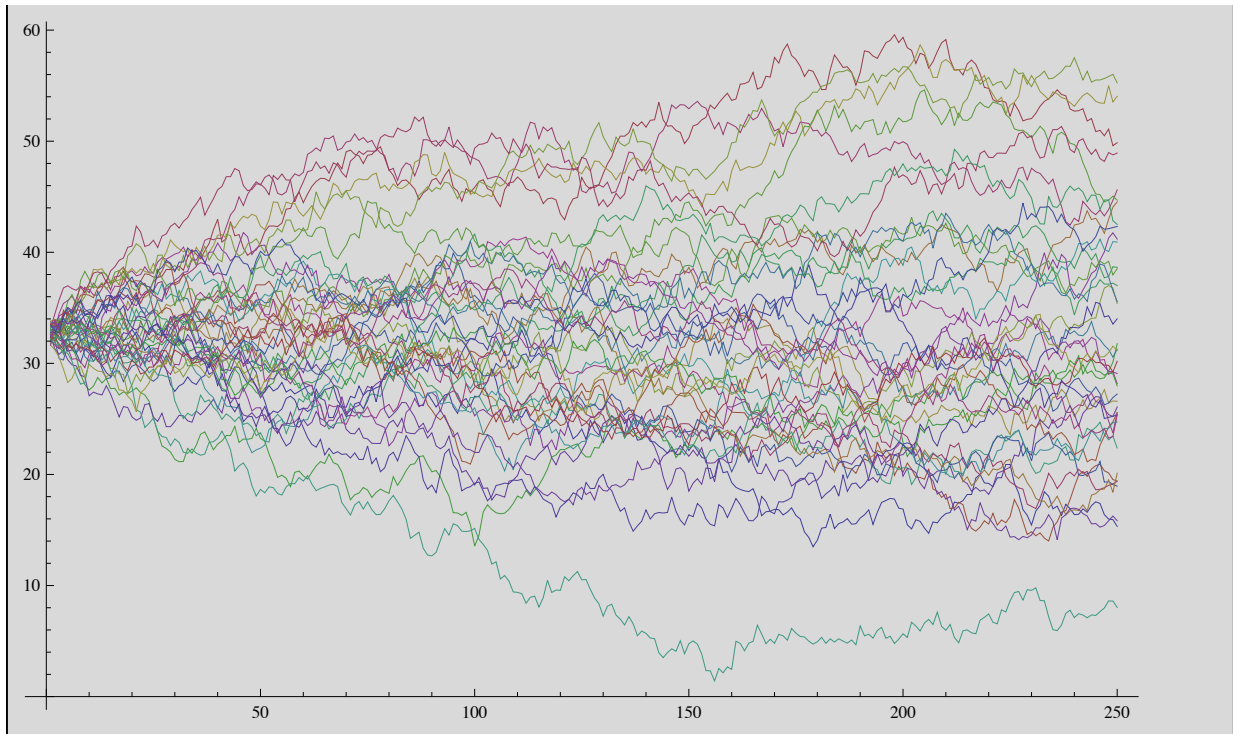
```
Histogram[diff]
```



Entonces como el MGB dice que los precios saltan de manera aleatoria siguiendo una distribución Normal , podemos concluir que los precios siguen una MGB.

Si se puede asumir esto, ¿cuáles podrían ser unos límites razonables para valores del comportamiento del precio del petróleo en 2004 dada la información suministrada con niveles de confianza del 90%, 95% y 99%?

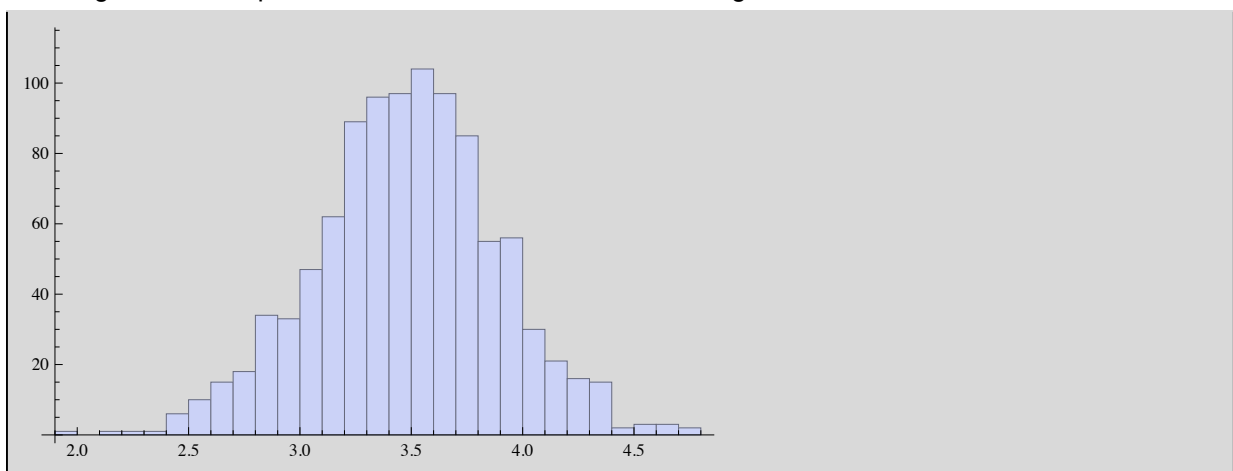
Para dar unos intervalos de confianza para el año siguiente , debemos hacer una simulación del proceso MGB (Wiener) para lo cual se usaron los parametros de la normal obtenida. Se hizo una simulación de montecarlo para 1000 caminatas aleatorias, el resultado grafico de 40 caminatas es el siguientes :



Las Simulaciones se hicieron con los parametros logaritmicos así :

```
caminatas = Table[
  actual = logpr[[Length[logpr]]];
  Table[actual = actual + RandomVariate[
    NormalDistribution[0, StandardDeviation[diff]]], {i, 1, 250}];
  actual
, {k, 1, 1000}
];
```

El histograma de los precios finales de las caminatas es el siguiente :



Luego podemos obtener los nuevos parametros para la estimación de los intervalos de confianza

```
{e^Mean[caminatas], e^StandardDeviation[caminatas],
e^Quantile[caminatas, {0.005, 0.025, 0.05, 0.95, 0.975, 0.995}]}
{32.4759, 1.50485, {11.211, 14.0914, 16.2772, 63.8084, 73.5622, 95.6173}}
```

Esto significa que el valor esperado de el precio del activo para el 2004 es de 32.4759 USD/Barril , y los intervalos de Confianza serian :

Intervalo	Inicio	Fin
90	16.27	63.80
95	14.09	73.56
99	11.21	95.61

Dado que ECOPETROL utilizó el 95% de confiabilidad ¿qué tan acertado resultó el cálculo realizado por ECOPETROL en este sentido? Si existen diferencias explique por qué existen.

Las predicciones de ecopetrol eran de entre 18.58 y 38.5 . Estos son alejados de nuestras estimaciones, sin embargo las consideramos “menos confiables” que las nuestras, esto puede ser debido al calculo de la volatilidad de ecopetrol, o a los datos usados para hacer la caminata aleatoria, ademas puede ser que ecopetrol usara otros intervalos temporales, y que sus simulaciones, no fueran estrictamente MGB, sino que incluyan factores externos dados por la opinion de “Expertos” en este tipo de commodities, los cuales sugerian una tendencia a la baja, y por ellos el limite superior, fue relativamente bajo.

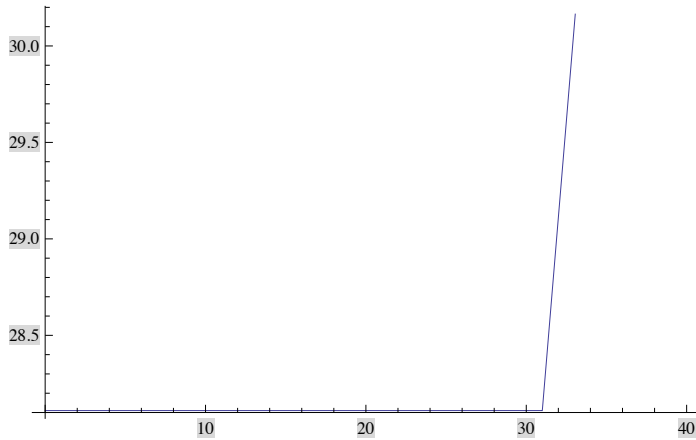
Segunda Parte: Decisión de cobertura y valoración de contratos

Valoración de las diferentes estrategias :

Put (Protector Put) :

Un protector put se realiza cuando se quieren limitar las perdidas , pero dejar abiertas las ganancias, entonces debemos adquirir un put. El downside de este puede ser el costo up-front que genere, de 2.89, y que se requiere que ya se posea del activo subyacente.

```
FinancialDerivative[{"European", "Put"}, {"StrikePrice" → 31
, "Expiration" → 1},
{"InterestRate" → 0.0148, "Volatility" → 0.302782, "CurrentPrice" → 32.51}]
2.89059
```



Swap :

El Swap consiste en cambiar los flujos de caja variantes del precio del petroleo, por una venta consistente del petroleo en 31.8USD/Barril , el costo upfront fee es de 0, sin embargo, si el precio sube por encima d 31.8 USD, se limitaran las ganancias a este maximo.

Put Spread :

Un put Spread (En este caso un Bear Put Spread) es una estrategia que se realiza ante la previsión de un escenario bajista, consiste en un Long Put, y un Short Put, con un strike price menor.

Los Parametros del Long Put, serian :

Strike Price : 25.5

Expiration : 1 Año

Risk Free Interest Rate :0.0148

Volatility: 0.302782

Current Price:32.51

La volatilidad fue calculada como la volatilidad diaria, dependiente de los cambios porcentuales durante toda la serie y luego convertida a la volatilidad anual, asi :

```
df3 = Table[Abs[(pr[[i]] / pr[[i + 1]]) - 1], {i, 1, Length[pr] - 1}];
```

$$\text{volatilidad} = \frac{\text{Mean}[df3]}{\sqrt{\frac{1}{252}}}$$

0.302782

La tasa de interes libre de riesgo sera de 1.48% Anual, tomado de los precios de los Bonos del Tesoro americano para 2004 para bonos con vencimiento a 1 año.

Se asume una expiración de un año.

```
FinancialDerivative[{"European", "Put"},
{"StrikePrice" → 25.50, "Expiration" → 1},
{"InterestRate" → 0.0148, "Volatility" → 0.302782, "CurrentPrice" → 32.51}]
```

0.9434

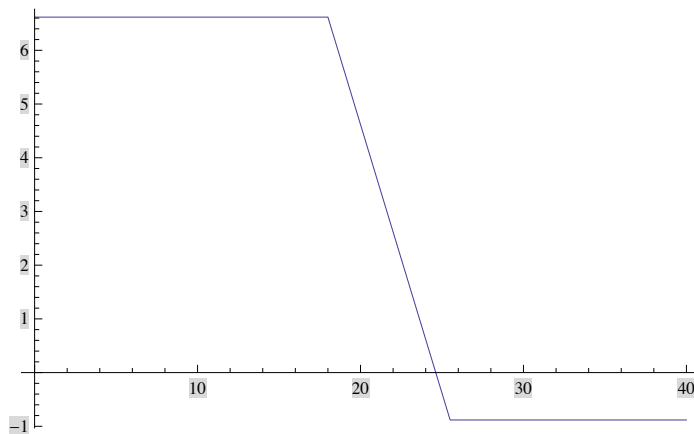
El costo de este put es de 0.9434 USD/Barril

Ahora, hay que vender un put a un strike price de 18, para completar el Bear Put Spread

```
FinancialDerivative[{"European", "Put"},
{"StrikePrice" → 18, "Expiration" → 1},
{"InterestRate" → 0.0148, "Volatility" → 0.302782, "CurrentPrice" → 32.51}]
```

0.0609548

El costo final, al comprar un put, y luego vender el otro seria de : 0.882446 USD/ Barril, este instrumento puede ser visualizado asi :



Collar :

Un collar consiste de estar long en un Put, y escribir un Call, en este caso con precios de 25.5, y 31, y al mismo tiempo tener una unidad del activo., El put tendria un precio de :

```
FinancialDerivative[{"European", "Put"},
{"StrikePrice" → 25.5, "Expiration" → 1},
{"InterestRate" → 0.0148, "Volatility" → 0.302782, "CurrentPrice" → 32.51}]
```

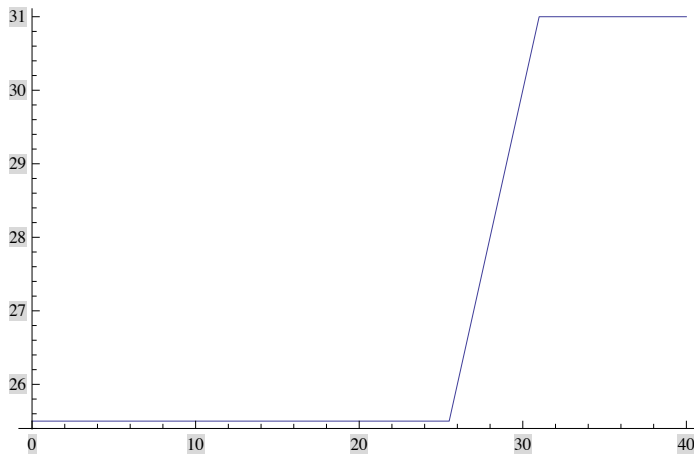
0.9434

Y el Call uno de :

```
FinancialDerivative[{"European", "Call"},
{"StrikePrice" → 31, "Expiration" → 1},
{"InterestRate" → 0.0148, "Volatility" → 0.302782, "CurrentPrice" → 32.51}]
```

4.85601

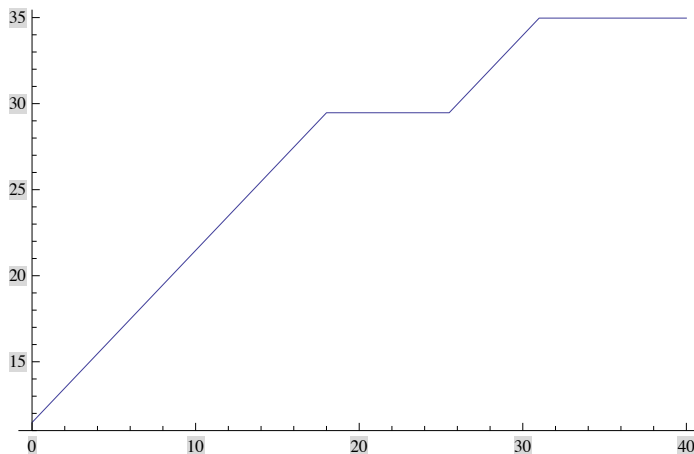
Por lo que el precio del Collar , seria : $-4.85601 + 0.9434 = -3.91261$ (Es decir, Gano 3.91 Dolares por cada Contrato), este collar, luciria asi :



Three Way:

El three way consiste de vender un Call en 31 , Comprar un Put, con precio de ejercicio de 25.5 y vender una Put, con precio de ejercicio de 18, estos elementos ya estan valorados, por lo que el precio seria :

$4.85601 - 0.9434 + 0.0609548 = 3.97356$, Es decir , recibo 3.97356 por contrato vendido. La forma del Three Way seria la siguiente



¿Cuáles estrategias resultan menos costosas teniendo en cuenta el costo *up front fee*?

Estrategia	Costo
Swap	0
Put Spread	0.882
Collar	-3.912
Three Way	-3.973
Put	2.89059

De acuerdo a la valoracion realizada, en dos de las estrategias, no solo no se paga, sino que se gana dinero al crear los contratos, entonces la estrategia que menos upfront-fee tiene es hacer un three way.

Explique claramente cual es el *trade-off* que existe entre las ganancias y costos de cada estrategia

Swap : Aunque el swap no tenga un upfront fee, existe un potencial de limitar ganancias despues de 31.15 usd/Barril, esto es debido a que si el precio del activo supera este precio, igualmente lo debemos vender a este precio, aunque si el precio es menor, entonces estaremos protegidos contra estos cambios.

Put Spread : El put Spread es costoso (up – front fee) sin embargo, en el caso de pocas perdidas en el precio del activo, este genera ganancias, y esta protegido contra bajas aun mayores del precio del activo, su downside es que si el precio sube, habran perdidas, aunque limitadas, por ello, el put Spread se debe utilizar solo si se esta seguro de una tendencia bajista, Limitada.

Collar : El Collar nos provee de una ganancia y una perdida limitada, por lo que para este caso en el que no se esta seguro de como le vaya a la compañía, pero sin embargo, el costo asociado, al menos en el caso ecopetrol es negativo. Esto es debido a que limita las ganancias por encima de 31 (No paga mas que el swap)

Three Way : El three way nos provee de un collar, pero de menor costo, que se realiza, al no protegerse contra perdidas extremas, entonces, aunque protege contra caidas no muy pronunciadas en el precio del activo, tambien restringe las ganancias, sin embargo, genera una ganancia con la up – front fee.

¿Considera que el *pricing* de los contratos ofrecido a ECOPETROL estaba bien calculado? Si existen diferencias explique porque existen.

El pricing esta bien hecho, con respecto a que se tienen en cuenta el hecho de que el three way, es menos caro que el collar, que a su vez es menos caro que el put spread, y el swap siempre sera cero. Sin embargo, la mayor diferencia entre la evaluacion de los bancos y la nuestra es que en 2 de los productos, se genera una ganancia up-front fee, en vez de generarse un costo, sin embargo la proteccion esta hecha , con precios bajos, con respecto al actual (hasta 31) lo que justifica las ganancias up-front fee, los bancos tal vez tenian que cobrar por los productos porque se creia que habia una tendencia bajista, y por ende el riesgo de perdida era mayor.

Segunda Parte: Decisión de cobertura y valoración de contratos (Parte 2 , Punto 3)

Calcule los pagos (*payoffs*) totales obtenidos de la combinación de instrumentos realizados en el instrumento de cobertura utilizados por ECOPETROL (*three way*).

El payoff del three way se puede describir con la siguiente funcion :

$$\text{If}[x > 31, x, 31] - \text{If}[x > 25.5, x, 25.5] + \text{If}[x > 18, x, 18]$$

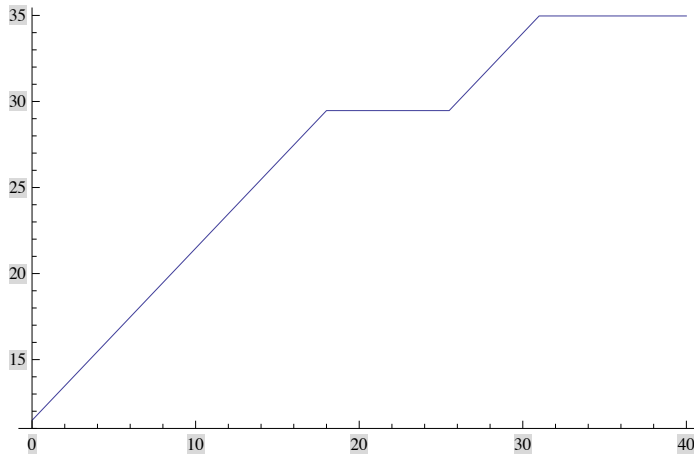
Si el precio es mayor de 31, obtendremos el precio actual, si no, 31, ademas

Si el precio es mayor de 25.5 Pagaremos el Precio, si no, pagaremos solo 25.5

Si el precio es mayor de 18, obtendremos el precio, si no, obtendremos solo 18.

Esto se resume como que si el precio es menor que 18 Obtendremos 23.5, que es lo pagado por el $(31+18-25.5)$, luego, entre 18 y 25.5 obtendremos el precio del subyacente , mas 5.5 $(-25.5+31)$ y en el caso que e precio supere los 31, Obtendremos el precio del subyacente. Lo anterior, se puede mostrar en la siguiente grafica

Muestre gráficamente el comportamiento de estos pagos para ambos casos.



Mencione las ventajas y desventajas de cada uno de estos instrumentos a la luz del caso.

Los instrumentos que conforman el three way son :

Vender un Call en 31 : Se pierde el exceso de ganancia despues de 31.

Comprar un Put con precio de ejercicio de 25.5 : Permite ganancias desde 25.5 hasta 31

y vender una Put, con precio de ejercicio de 18 : Permite una cobertura contra caidas del precio leves, aunque se queda expuesto antes caidas bruscas del precio (mas de 18) , que estan en el borde del intervalo de confianza., Ademas reduce los costos del up-front fee.

PayOffs Totales :

Con un precio final de: 43.16 Dolares por Barril, y vendiendo 10 millones de barriles entonces los payoffs serian :

Costos UpFront :

Swap : \$0

Three Way Collar : $3.973 * 0.73 * 10000000 = 29002900$ de ganancias de los contratos., Se invierte esta ganancia a la tasa libre de riesgo por un año.

Cierre de los contratos

Swap : $(43.16-31.15) * 0.27 * 10000000 = -32427000$ de perdidas al cierre de los contratos

Three Way Collar : $(-12.16 * 0.73 * 10000000) = - 88768000$ de perdidas al cierre de los contratos

Total : $(- 88768000-32427000+29002900*1.0148) = - 91762857$ (Pagar 91762857 en total) de los 431600000 Recibidos.

Esto es , equivalente a haber vendido los barriles por un total de 339837143 o a 33.98 Dolares cada uno, por lo que el cubrimiento, fue exitoso.

Segunda Parte: Decisión de cobertura y valoración de contratos (Parte 2 , Punto 4)

Calcule los pagos totales obtenidos de las otras estrategias disponibles en el mercado: Collar, Put Spread, Put. Realice una comparación entre estos instrumentos y los seleccionados por ECOPETROL (three way y swap).

Aqui se asumira que el 100% de los 10000000 de Barriles estan en la estrategia.

UpFront Fees

Estrategia	UpFront Fee
Collar	39 120 000
Put Spread	- 8 820 000
Put	- 28 905 000

El Collar , invertido a la tasa libre de riesgo seria : 39698976

Estrategia	Cierre de Contratos
Collar	- 121 600 000
Put Spread	0
Put	0

El total seria (incluyendo barriles vendidos):

Estrategia	Totales (Por Barril)
Collar	34.9698976
Put Spread	42.2780000
Put	40.2695000

Por lo tanto, la mejor opcion a escoger (Dado lo sucedido) era haber hecho el put Spread, y incluso la peor de estas 3 Opciones (El Collar), es mejor que la que ecopetrol ejecuto.

Mencione las ventajas y desventajas de cada uno de estos instrumentos a la luz del caso.

La ventaja principal del put Spread es que no cobrara en un escenario bajista o alcista (de alta volatilidad) sin embargo, como su precio upfront no es tan alto como el del protective put, las ganancias son superiores, en cuanto al collar, aunque se esta bien protegido, su precio upfront es muy bueno (genera ganancias), y solo permite vender hasta 31 , lo que genera perdidas

Tercera parte: Estrategia global de cobertura

¿Considera en términos generales que la decisión de cobertura escogida por ECOPETROL frente a la caída en el precio fue la más indicada? Tenga en cuenta la información que se tenía disponible en el momento en que se tomó la decisión de cobertura, el análisis ex post de los hechos y la posición tomada por ECOPETROL respecto a su estrategia de riesgo

El analisis de los intervalos de confianza hechos por ECOPETROL fue un analisis con un sesgo bajista. lo que dio unos resultados que iban a la baja. en los intervalos de confianza . esto. a su vez. causo que la cobertura fuera muy agresiva a la baja. y aunque se logro cubrir el riesgo que se tenia pensado. las ganancias fueron mermadas por el hecho de las cotas para los strike price (derivadas de los intervalos de confianza). eran extremadamente bajas (Querian incluso vender mas bajo de lo que estaba el precio en el momento de hacer los contratos . y esto se consideraba un buen escenario). cuando se sabe que la mejor estimacion del precio hacia el futuro es el precio actual. entonces los contratos se ejercieron con este precio de venta. que termino siendo mucho mas bajo del precio al que se hubiera podido vender.

Cabe agregar que cualquier otra de las estrategias de cobertura hubieran tenido un mejor resultado al final, y si las cotas hubieran sido mejor generadas, tendria aun mejores resultados.

Explique si el análisis que realizó ECOPETROL para la escogencia de los instrumentos dada su estrategia global de cobertura (es decir, teniendo en cuenta el total de sus exportaciones) fue el más indicado, según la información disponible que tenía en el momento de la toma de la decisión.

Teniendo en cuenta que el analisis que ellos tenian suponía una tendencia bajista, se considera que es una mala decision solo cubrir el 15% de los activos, si se esta en riesgo un cumplimiento de una cuota

de transferencia, y se cubre solo esta cuota sin pensar en el resto del activo, entonces se pone en riesgo el capital de reinversión en la empresa (Por ejemplo proyectos de exploración). Se debió haber pensado también en cubrir el resto de los activos, aunque de una manera mucho menos agresiva, de forma que si hay bajas en el precio no lleven a la pérdida de todo el capital, sino que se ofrezca un cubrimiento leve que deje oportunidades de lucro en condiciones favorables.

Bono adicional:

¿Puede Usted recomendar alguna forma adicional de simulación de precios del wti y de cobertura que considere pudo ser tomada en cuenta dada la información suministrada y que fuera más apropiada? Justifique claramente su respuesta si considera que hay otra forma y las implicaciones de la misma

Podría construirse un simulador híbrido que no solo sea un modelo GBM (aunque si lo tenga como base), sino que incluya también saltos bruscos en el precio del activo, bajo cierta probabilidad (Que es calculada con base a la historia del activo), el movimiento browniano geométrico solo asume cambios suaves, y la ocurrencia de cambios bruscos puede modificar el intervalo de confianza que se quiere obtener.

Junto a esto, se pueden identificar ciclos macroeconómicos que causan que el precio de las commodities (en este caso) sean influenciados por estos mismos, y que no necesariamente estén ya incluidos en el precio del activo, esto se haría haciendo un estudio de series de tiempo de muy baja frecuencia hacia atrás, e identificando patrones macroeconómicos que nos ayuden a modificar el Drift, utilizado por el GBM, en el espacio de tiempo a simular, e incluso se podría cambiar este drift, que en el modelo es constante, por uno que cambia dependiendo de el momento del ciclo macroeconómico en el que se está.

Para cubrir los intereses de la empresa contra los cambios bruscos, se deben explorar los cientos de escenarios posibles que hay, con respecto a estrategias de cobertura que pueden ser exóticas, o usar opciones exóticas, en este caso, no se debieron haber explorado tan pocas posibilidades sino que se podía construir una serie de simulaciones frente a las diferentes estrategias de cobertura, con el fin de seleccionar la mejor. Incluso asumiendo primas mayores (Por ejemplo Opciones Americanas o Bermudas).