

# **Aplicación de un modelo riguroso con métodos de simulación Monte Carlo para ayudar en la toma de decisiones de inversión en fábricas de azúcar**

**Jack Fisher<sup>1</sup>**

## **Resumen**

Se llevó a cabo el modelado de posibles modificaciones para la fábrica de azúcar Y en "Country X". Las propuestas abarcaron cambios en los molinos, mejoras de proceso en fábrica, un aumento en la capacidad de molienda y un nuevo sistema de cogeneración para exportar electricidad. El modelo incluyó balances de masa y energía y un análisis financiero de todo el sistema, y tuvo en cuenta la incertidumbre usando los métodos de simulación Monte Carlo. La aplicación de este modelo holístico y riguroso proporcionó una ayuda valiosa en la toma de decisiones sobre los trabajos de mejora propuestos. Permitted predecir el beneficio financiero en cada etapa de trabajo junto con bandas de confianza así como las probabilidades de un retorno negativo. Mediante un análisis de sensibilidad se establecieron los riesgos y las oportunidades más importantes, destacando los posibles trabajos necesarios para mitigar los riesgos o aprovechar las oportunidades. Asimismo se resaltaron temas importantes, como la necesidad de mejorar la eficiencia térmica, aumentar la extracción de los molinos y los beneficios potenciales de mejorar la calidad de la caña. En términos generales, el trabajo identificó la solución ideal en función de un equilibrio en los beneficios obtenidos contra el costo de inversión con un nivel aceptable de riesgo.

Palabras clave: fábrica, molino, modelo, simulación, riesgo, decisión.

## **Abstract**

Technical and economic modelling of potential modifications to the Y sugar factory was carried out. The proposals included mill and process house improvements, an increase in crushing rate, and a new cogen boiler with export of electricity. The modelling incorporated mass and energy balances and financial analyses of the complete system, and uncertainty was taken into account using Monte Carlo simulation methods. This application of holistic and rigorous modelling provided valuable assistance in decision-making regarding the proposed improvement works. The predicted financial benefit for each stage of work was identified, together with confidence bands and probabilities of a negative return. Sensitivity analysis identified the major risks and opportunities, highlighting potential work to mitigate the risks or take advantage of the opportunities. Important issues were raised, such as the necessity for thermal efficiency

---

<sup>1</sup> Asesor de procesos (CEng MICHemE), Tate & Lyle Process Technology y [www.sugarcane-model.com](http://www.sugarcane-model.com).  
jack.fisher@gmail.com

improvements alongside mill extraction increases, and the potential benefits of improving cane quality. Overall, the work identified the optimum solution in terms of balancing benefits gained against investment cost, at an acceptable level of risk.

Keywords: factory, mill, modelling, simulation, risk, decision.

## Introducción

La Y Sugar Company ("XSC") está contemplando invertir , una de sus cuatro fábricas de azúcar. Tate & Lyle Process Technology (TLPT) fue invitada para evaluar las operaciones y el equipo existente en la actualidad así como para proponer soluciones que permitieran (a) mejorar las operaciones de molienda, (b) mejorar las operaciones de proceso en fábrica y (c) aumentar la capacidad de molienda de caña. También existe la posibilidad de reemplazar la caldera actual de baja presión por una caldera de cogeneración de alta presión. Este documento considera la forma como el uso de la simulación de Monte Carlo en la formulación de un modelo técnico y económico puede emplearse para ayudar en la toma de decisiones relacionadas con la identificación e implementación de las soluciones propuestas. Todos los valores citados deben tomarse únicamente como indicativos; el principal objetivo consiste en describir el método de análisis. Todos los valores monetarios aparecen expresados en dólares estadounidenses (US\$).

## Materiales y métodos

### Software de modelado

El trabajo descrito en este documento se llevó a cabo usando el SugarCaneModel, una herramienta de modelado económico y técnico. SugarCaneModel realiza balances de masa y energía y un análisis financiero del sistema que está siendo modelado. Permite obtener análisis de sistemas completos en un solo modelo, incluyendo todas las variables significativas, y da cuenta de la incertidumbre a través de la aplicación de los métodos de simulación de Monte Carlo. El SugarCaneModel opera en Microsoft Excel y utiliza el software @RISK de Palisade<sup>2</sup>, para ejecutar la simulación de Monte Carlo.

### Simulación de Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo es una técnica matemática computarizada que les proporciona a las personas responsables de la toma de decisiones una gama de resultados posibles y las probabilidades que se presentarán con cada curso de acción elegido. El método puede describirse mediante la referencia a los siguientes pasos básicos, que serán ilustrados más adelante.

---

<sup>2</sup> [www.palisade.com/risk](http://www.palisade.com/risk)

1. Reemplazo de todos los parámetros de entrada (input) sujetos a incertidumbre inherente con una gama de valores, representados por una distribución de probabilidad (tal como una distribución normal). Ver un ejemplo en la gráfica 10.
2. Recálculo del modelo una y otra vez, usando en cada ocasión un conjunto diferente de entradas aleatorias tal como sean muestreadas a partir de las distribuciones de probabilidad.
3. Agregación de los resultados de cada recálculo y generación de distribuciones de probabilidad para cada valor de salida (output).

Este enfoque contrasta con la formulación tradicional estática de modelos, en la que valores fijos de entrada dan como resultado valores fijos de salida. Muy pocas (si es que alguna) entrada de un modelo se conocen realmente con un nivel de confianza del 100%, y por consiguiente, los resultados de un modelo estático no reflejan ninguna realidad conocida.

#### 1° etapa de modelado: Escenario base

La primera etapa incluyó la creación de un modelo del escenario base contra el cual serían evaluados los cambios propuestos. El objetivo en esta etapa consistía en establecer una representación razonablemente precisa del desempeño del proceso actual de molienda. "XSC" lleva registros técnicos exhaustivos de cada uno de sus molinos y estos suministraron la mayoría de la información necesaria para generar el modelo. Naturalmente el desempeño de los molinos existentes no es fijo: ha variado en el pasado y variará en el futuro. Por lo tanto entradas clave como la calidad de la caña, la extracción de molienda, la eficiencia térmica y la producción de la casa de calderas fueron substituidas por distribuciones de probabilidad. Se usaron datos promedio de las cosechas de 2009 y 2010 para generar las distribuciones. Esto ofreció una representación más realista del desempeño, que si se hubieran tomado valores fijos de un mes específico o una cosecha determinada, los cuales pueden reflejar un desempeño inusualmente bueno o malo.

#### 2° etapa de modelado: Mejoras en la molienda

La segunda etapa consistió en ajustar el modelo inicial de manera que representara las siguientes áreas de mejora, tal como habían sido identificadas por TLPT:

- Eliminación de los cuchillos de caña actuales e instalación de una cortadora industrial de tracción eléctrica.
- Instalación de un cuarto molino nuevo y modificación de la banda transportadora de bagazo de alimentación de la caldera.
- Instalación de alimentadores de presión en el primer molino actual y en el nuevo (cuarto) molino.
- Reemplazo del sistema de tracción a vapor por uno de tipo eléctrico.
- Instalación de una nueva caja de alta velocidad en el primer y segundo molino.
- Instalación de un nuevo sistema mejorado de maceración.

Con base en resultados de proyectos anteriores, se esperaba que estos trabajos incrementaran la extracción de sacarosa de un 87-89% (en la fase de punto de partida) a un 95-97% y redujeran la humedad del bagazo de un 55-57% a un 45-47%. La imbibición se agua aumentaría de 120-130% a 180-220% y los requerimientos de energéticos en el área de molinos se incrementarían desde 100 kWh/tonelada de fibra hasta 170-190 kWh/tonelada de fibra. .

### 3° etapa de modelado: Mejoras del proceso en fábrica

Se identificaron diferentes aspectos para el mejoramiento de los procesos en fábrica y se ajustaron muchos parámetros del modelo entre la 2° y 3° etapa. Algunos de los cambios más significativos fueron:

- Introducción de purga de vapor para alimentar los tachos al vacío y calentadores de jugo.
- Reconfiguración de los evaporadores para lograr una estación de evaporación de efecto múltiple.
- Aumento del brix del jugo evaporado (a través de un nuevo sistema de control de brix del evaporador).
- Mejoramiento en la producción en cristalización (a través de nuevos agitadores de tacho, centrifugas y cristizador).
- Reducción de pérdidas de calor y sacarosa (a través de una mejor operación y control de pH).

### 4° etapa de modelado: Aumento en la rata de molienda

La cuarta etapa consistió en incrementar la capacidad máxima de molienda de 100 a 250 (-10%, +5%) t/h (toneladas métricas). Para alcanzar este aumento se identificaron diferentes modificaciones y adición de equipos, pero no se modificaron los balances de masa y energía en el modelo (de la etapa 3).

### 5° etapa de modelado: Nueva caldera y exportación de electricidad

La quinta etapa incluyó el reemplazo de la caldera existente (-30 barg) por una nueva caldera de alta presión (~100 barg) provista de turbina de condensación y exportación de la electricidad excedente a la red de suministro de electricidad nacional de "Country X". En el modelo de base, siempre que es posible, la electricidad del molino es suministrada a través de un turboalternador, pero debida a ineficiencias y requerimientos de la transmisión de vapor, se presentan déficits compensados con importaciones de la red nacional de suministro.

### 6° etapa de modelado: Mejoramiento de la calidad de la caña

La etapa seis se adicionó para explorar los posibles beneficios de mejorar la calidad de la caña. Se redujo el contenido de agua y se aumentó la pureza. El efecto general consistió en incrementar el valor del contenido de Sacarosa desde mas o menos 12.3% a 14%, e incrementar el contenido de fibra de mas o menos 11.1% a 13%. Se utilizó un amplio rango en los valores de mejora para reflejar el alto grado de incertidumbre con respecto a lo que podría alcanzarse de forma realista.

## Análisis financiero

Se llevó a cabo un análisis financiero de cada etapa del proceso. Los ingresos incluyeron las ventas de azúcar crudo y melaza producidos y, a partir de la quinta etapa, de electricidad. Los costos incluyeron aquellos en los que se incurre por la caña, combustible, productos químicos, mantenimiento, mano de obra, etc. Se usaron datos reales de precios de la cosecha del 2010 con rangos definidos de manera que reflejaran posibles variaciones hasta el 2020. Los rangos se definieron a partir de una combinación de datos históricos (como la tasas de cambio promedio anuales o la variaciones en los precios de los productos químicos y consumibles y de previsiones (de instituciones como el Banco Mundial y el gobierno de Estados Unidos). El costo de de capital requerido para cada etapa se anualizó usando un Factor de Recuperación de Capital (CRF, por sus siglas en inglés)<sup>3</sup>.

## Enfoque para el modelado

Se corrieron de forma paralela seis simulaciones para dos modelos. En cada simulación el primer modelo fue definido como el escenario base, mientras el segundo modelo pasó por cada una de las etapas identificadas anteriormente. Se compararon los dos modelos entre sí para evaluar los efectos de cada etapa de cambios. En cada simulación se realizaron 1000 recálculos del modelo, variando en cada ocasión los parámetros de entrada de acuerdo con los rangos definidos en la formulación de los modelos. Todo el proceso de modelado y simulación se automatizó usando el software de modelado.

## **Resultados y discusión**

La tabla 1 detalla el efecto promedio (de mil recálculos) sobre los costos e ingresos a lo largo de los cambios. La gráfica 1 (abajo) muestra el rango predicho del beneficio anual acumulativo resultante de cada etapa de mejoras. Este es el beneficio que se obtiene tomando en consideración el costo de capital, y está indicado en términos de media e intervalos de confianza de 25-75%, y 5-95%. Esto arroja un indicio de la incertidumbre en los resultados. La gráfica 2 muestra los valores promedio para vapor de alta presión (HP) y de salida sobre caña, y producción de azúcar (azúcar/caña).

## Mejoras en la molienda

La gráfica 3 (abajo) muestra la distribución de probabilidad del beneficio anual predicho de emprender los trabajos de mejora en las operaciones de molienda. Esto da un indicio visual del rango potencial de resultados, y muestra que el beneficio promedio anual es de \$32K/y, y que hay una probabilidad del 41%

---

<sup>3</sup> El Factor de Recuperación de Capital emplea una tasa de interés (i) y duración del proyecto (n) para determinar la tasa a la que pueden esperarse de manera razonable los ingresos si los mismos fondos se invirtieran a lo largo de un espacio de tiempo. La fórmula es  $CRF = \frac{i}{(1+i)^n - 1}$ . La tasa de interés del Banco de Reserva de "Country X" se estimó en 6.5% (6-8%) y la vida económica en 15 (10-20) años.

de que los trabajos no sean beneficiosos (esto es, el costo por gasto de capital necesario es mayor que los beneficios). Muestra también una probabilidad de 5% de un beneficio mayor a \$250K/y.

Podría esperarse que el aumento significativo en la producción (causada por una reducción en la pérdida de sacarosa en bagazo 11-12% a 3-4%), como aparece en la gráfica 2, resulte también en un beneficio general mayor; el análisis de la tabla A1 y de las curvas de vapor sobre caña en la gráfica 2 indican por qué este no es el caso. El aumento en la extracción de molienda y agua de imbibición dan como resultado un aumento en los requerimientos de energía para el proceso en fábrica. Podría esperarse que la humedad del bagazo los mitigue, y de hecho, el aumento en la eficiencia de la caldera y el valor de calentamiento del bagazo realmente aumentan la relación vapor/bagazo de 2.1 a cerca de 3. Sin embargo, la cantidad de bagazo se reduce al igual que el contenido de sacarosa (que suministra energía), y el efecto neto es que la generación absoluta de vapor a partir del bagazo solo aumenta en 2-3%. El molino ya está importando pequeñas cantidades de combustible para completar sus necesidades energéticas que ahora se ven incrementadas a un costo de \$320K/y, lo cual neutraliza parcialmente el aumento de \$1m/y en los ingresos por producto (a pesar de que se ve mitigado por la eliminación de la importación de electricidad gracias al aumento en el vapor hacia la turbina).

La gráfica 4 (abajo) muestra el análisis de sensibilidad, esto es, de la sensibilidad del beneficio anual a la incertidumbre relacionada con parámetros externos (como los precios o la calidad de la caña) o internos (como el desempeño del proceso). Los mayores riesgos/oportunidades para el proyecto de trabajo de mejoras en la molienda son la incertidumbre CAPEX (definida como  $\pm 30\%$ ), la extracción de molienda real alcanzada y la rata de imbibición necesaria, el precio del azúcar, la vida económica del proyecto y el precio del combustible. Esto resalta los puntos en los que deben enfocarse los esfuerzos antes de proceder con el proyecto, tales como una definición más detallada de los CAPEX, pruebas de desempeño de los molinos, o acuerdos de fijación de precios para el combustible y azúcar.

En conclusión: la implementación de las mejoras en los molinos no es una opción de inversión atractiva por sí sola. El beneficio promedio anual predicho es bajo (\$30K) y hay una probabilidad considerable (>40%) de un retorno financiero negativo. Esto se debe principalmente a las importaciones de combustible adicionales necesarias por el consumo de vapor del proceso en fábrica.

#### Mejoras del Proceso en Fábrica

La gráfica 5 (abajo) muestra la distribución de probabilidad del beneficio anual predicho de emprender los trabajos de mejora en las operaciones de molienda y en el proceso en fábrica. El beneficio promedio anual aumenta a \$340K, y la probabilidad de que los trabajos no sean beneficiosos se reduce a 9%.

El análisis de la tabla A1 muestra que lo que más contribuye al aumento en el beneficio predicho es la eliminación de importaciones de combustible. Esto se debe a la fuerte reducción en el vapor de proceso sobre caña (ver gráfica 2) alcanzada por las mejoras en la eficiencia térmica. En realidad, ahora se

observa un exceso de vapor de alta presión disponible a partir del bagazo y por lo tanto, bien pueden relajarse las mejoras en eficiencia térmica o el bagazo puede venderse para otros usos. También hay un aumento en la producción (resultante de la reducción en la pérdida de sacarosa en melaza, y en menor grado, en pérdidas de sacarosa de diverso tipo).

En conclusión: emprender las mejoras en el proceso en fábrica junto con las mejoras en la molienda es una opción razonable de inversión, con ganancias moderadas, aunque sigue habiendo una probabilidad del 9% de un retorno negativo. Si se elige esta opción (esto es, si los CAPEX son limitados) antes de comprometer los fondos, los esfuerzos deberían dirigirse a lograr una definición más detallada de los CAPEX, de la extracción de molienda alcanzable, y a reducir la exposición al precio del azúcar crudo.

#### Aumento en la capacidad de molienda

La gráfica 1 muestra un fuerte aumento en el beneficio anual predicho tras llevar a cabo los trabajos de mejoras para incrementar la rata de molienda de 100 a 250 toneladas métricas por hora. El beneficio promedio es de \$4.5m, con un 90% de confianza de que estará entre \$2.6m y \$6.4m. La gráfica 6 (abajo) muestra el análisis de sensibilidad del proyecto hasta esta etapa. El mayor riesgo/oportunidad pasa a ser entonces el precio del azúcar crudo. Riesgos que antes no eran significativos (en la etapa de mejoras en los molinos) incluyen la rata de molienda real alcanzada, el número de días de operación al año (después de restar el tiempo perdido), el precio de la melaza y la calidad de la caña. Nuevamente, esto resalta los puntos en los que deben concentrarse los esfuerzos antes de proceder con el proyecto, tales como minimizar las interrupciones, garantizar el suministro de caña o mejorar la calidad de la caña (ver etapa 6).

En conclusión: emprender las mejoras en las operaciones de molienda y en el proceso en fábrica junto con la expansión a 250 tpd es una buena opción de inversión, con un beneficio esperado de \$4.5m/y (90% de confianza entre \$2.7m y \$6.4m/y). De forma paralela al proyecto, deberían destinarse esfuerzos a reducir las pérdidas de tiempo y maximizar la disponibilidad de caña, además de lograr una definición más detallada de los CAPEX, extracción del molino y precio del azúcar crudo.

#### Nueva caldera y exportación de electricidad

La gráfica 1 muestra un pequeño aumento en el beneficio anual predicho tras la instalación de un nuevo sistema de cogeneración y del inicio de la exportación de electricidad. La tabla A1 muestra que el beneficio se debe a la venta de electricidad versus el costo de la inversión. El beneficio promedio pasa a ser entonces de \$4.9m, con un 90% de confianza de que se encontrará entre \$2.6m y \$7.2m. El intervalo de confianza de 90% es más amplio, es decir, hay más incertidumbre, y de hecho, el valor de percentil de 5% es más bajo (\$2.6m/y c/w \$2.7m/y). Se espera que sean exportados cerca de 10.1 MW de electricidad., con un 90% de confianza de que estará entre 9.3 y 11.0 MW. La turbina de condensación

procesa cerca del 20% del vapor del ata presión disponible, eliminando el vapor excedente disponible en las etapas 3 y 4.

La gráfica 7 (abajo) muestra el análisis de sensibilidad para el proyecto hasta esta etapa. El precio de la electricidad pasa a ser ahora un gran riesgo/oportunidad, y los esfuerzos deben concentrarse en la reducción de la posible variabilidad futura del precio antes de comprometerse con el proyecto. También es importante observar que la tasa de cambio entre Estados Unidos y "Country X" (UDD/"XXD") aparece como un riesgo; esto se debe a que el precio de la electricidad se fija en dólares "Country X"anos ("XXD"), mientras que la mayoría de los otros costos/ingresos son importados/exportados y por consiguiente sus precios se fijan en moneda extranjera.

En conclusión: La instalación de una nueva caldera de alta presión y la exportación de electricidad exhiben un beneficio anual moderado predicho (\$390K/y). Sin embargo, la incertidumbre involucrada en estos trabajos es mayor que antes, y existe la posibilidad de que no sean beneficiosos. Antes de comprometerse con estos trabajos de mejoras, debe realizarse un análisis más detallado (ver abajo).

#### Mejoramiento de la calidad de la caña

Las mejoras en la calidad de la caña se identificaron solo después del examen de las gráficas de análisis de sensibilidad (Gráficas No 4,6 y 7 ). La calidad de la caña (expresada como contenido de agua de la caña) apareció con frecuencia como un riesgo/oportunidad. Como este es un factor sobre el cual "XSC" tiene cierta posibilidad de control, se consideró que valía la pena investigar los posibles beneficios de invertir en mejoras. La gráfica 1 muestra un incremento significativo en el beneficio anual predicho. El beneficio promedio pasa a ser entonces de \$6.2m, con un 90% de confianza de que se encontrará entre \$3.0m y \$9,2m. El rango de incertidumbre se ha ampliado considerablemente; esto se debe a la incertidumbre respecto al tipo exacto de mejoras que pueden alcanzarse en la calidad de la caña.

#### Conclusiones generales y análisis final

A partir del análisis hecho hasta aquí, el beneficio más grande se obtiene al poner en práctica todos los trabajos de mejora. Sin embargo, las mejoras a la calidad de la caña son a un plazo más largo y su implementación es más compleja, involucrando a más interesados. Después de haber resaltado los significativos beneficios potenciales, probablemente sea sensato tratar este tema como un proyecto aparte. Por lo demás, resulta claro que puede obtenerse un beneficio con las mejoras en las operaciones de molienda, en el proceso en fábrica y con la expansión de la fábrica para conseguir una rata de molienda más alta. La recomendación consiste en perseguir esta opción al mismo tiempo que se trata de mitigar los riesgos identificados en el análisis de sensibilidad. Queda un interrogante con respecto a la inclusión del nuevo sistema de cogeneración, pues el análisis mostró que hay un beneficio promedio positivo pero con la posibilidad de un retorno negativo. Se consideró que valía la pena investigar más a fondo esta opción corriendo una simulación extra de dos modelos de forma paralela. El primer modelo

representa los trabajos excluyendo la caldera, mientras que la segunda opción incluye la caldera. Al comparar los dos podemos ver con mayor claridad las probabilidades de éxito y los riesgos/oportunidades. La gráfica 8 muestra la distribución de probabilidad del beneficio predicho de extender las mejoras de manera que incluyan el nuevo sistema de cogeneración.

Esto muestra que aunque hay un beneficio promedio predicho de \$320K/y, también hay una probabilidad de uno a tres de un retorno negativo. Esta probabilidad es demasiado alta como para ser recomendada en esta etapa. En lugar de ello, los esfuerzos deberían concentrarse en mitigar los nuevos riesgos identificados en la gráfica 7, es decir, el precio de la electricidad y la tasa de cambio "XXD"/USD. Si estos riesgos pueden manejarse (por ejemplo a través de acuerdos de largo plazo sobre el precio o a través de una cobertura cambiaria), el análisis podría volver a realizarse usando nuevos rangos de entrada.

Sin embargo, hay dos puntos importantes a observar:

1. De ser llevados a cabo los trabajos de mejoramiento de la calidad de la caña, el análisis mencionado arriba muestra que el beneficio promedio del sistema de cogeneración es mucho mayor, con una probabilidad 0% de retorno negativo, es decir que debe recomendarse el proyecto de la caldera. Esto se debe principalmente al aumento en el contenido de fibra de la caña.
2. Si no se realiza el proyecto de la nueva caldera (esto es, si no hay turbina de condensación ni exportación de electricidad) se presenta un exceso de vapor de alta presión (o bagazo). Las mejoras en eficiencia térmica pueden relajarse, o el bagazo excedente puede venderse para otros usos.

#### Comparación con el tiempo de retorno de la inversión

Reviste interés comparar los resultados descritos arriba con el tiempo predicho de recuperación (basado en el incremento promedio predicho en flujos de caja). La gráfica 9 (abajo) muestra el tiempo de recuperación de la implementación acumulativa de las distintas etapas de mejoras. Señala que la implementación de cualquier trabajo (esto es, nueva caldera y calidad mejorada de la caña) más allá del incremento de la rata de molienda daría como resultado un período más largo de recuperación. Esto resalta las limitaciones de depender de la recuperación como una herramienta para evaluar una posible inversión. No tiene en cuenta el costo del dinero (tasa de interés) o la vida económica del proyecto, y de esta forma se pierden los beneficios potenciales de los proyectos a largo plazo de la nueva caldera y el mejoramiento en la calidad de la caña.

### **.Conclusiones**

La formulación rigurosa de modelos que recurre a la simulación de Monte Carlo para tomar en consideración la incertidumbre puede brindar un análisis valioso para ayudar en los procesos de toma de decisiones en la industria del azúcar de caña. En este ejemplo:

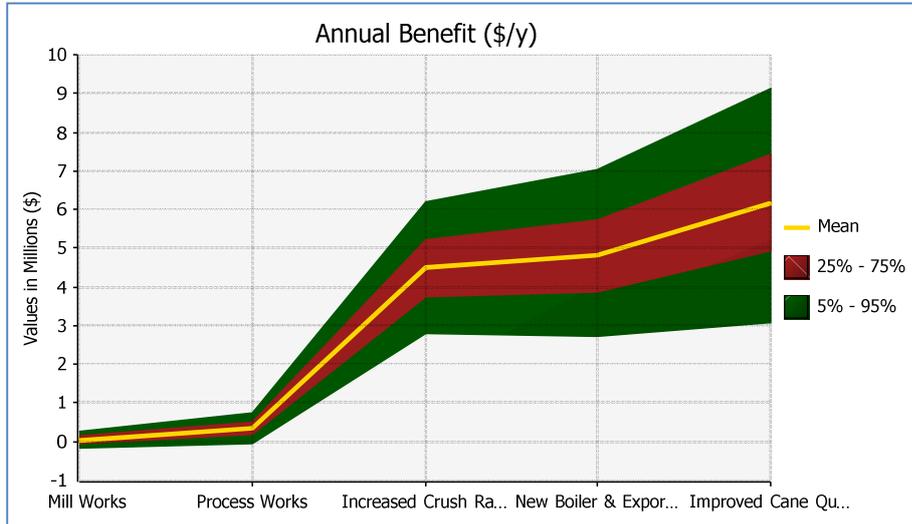
1. Cada etapa de trabajos de mejora fue evaluada mediante una sola medida de beneficio financiero tomando en cuenta el costo de inversión, suministrando una base clara para la comparación. Esto resaltó que la expansión de la operación de los molinos para alcanzar un aumento en la tasa de molienda proveía un beneficio mucho mayor que las mejoras de los molinos y el proceso en fábrica por sí solas.
2. La definición cuidadosa y rigurosa de la incertidumbre en los parámetros de entrada dio visibilidad al rango probable de resultados, identificando el riesgo de y la probabilidad de retornos financieros negativos.
3. El análisis de sensibilidad identificó los riesgos/oportunidades clave en cada etapa de los trabajos de mejoras, ofreciendo una orientación acerca de los puntos en los que deben enfocarse los trabajos futuros. A la vez, resaltó las ganancias potenciales de invertir en el mejoramiento de la calidad de la caña.
4. El análisis de las operaciones de molienda, en la fábrica, los consumibles y las condiciones económicas como un sistema completo subrayó las limitaciones del beneficio de llevar a cabo únicamente las mejoras en las operaciones de molienda sin implementar los trabajos de mejoras correspondientes en la eficiencia de la energía del proceso, y el exceso potencial de bagazo o vapor si no se incluye la cogeneración.

### Tablas y Graficas

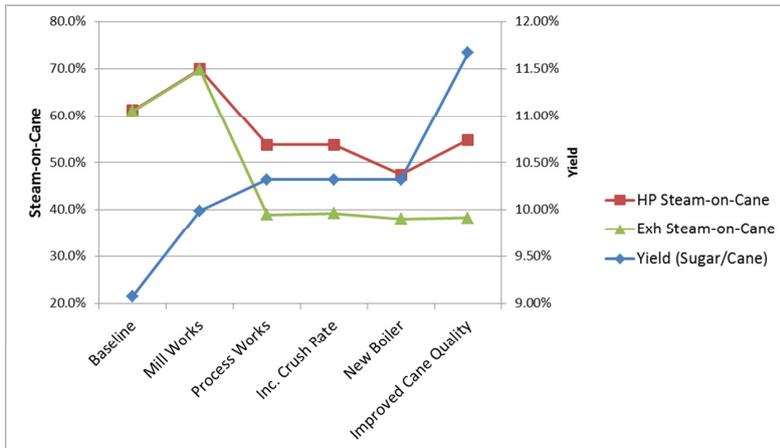
	Trabajos Molienda	Trabajos Proceso	Aum.Rata Molienda	Nueva Caldera	Calidad Caña
<u>Costos</u>					
Caña	\$0	\$0	\$10,694,283	\$10,843,954	\$10,843,954
Agua	\$1,761	-\$1,630	\$6,958	\$3,045	\$8,586
Combustible	\$319,859	-\$450,156	-\$450,156	-\$450,156	-\$450,156
Químicos	\$18,189	-\$28,122	\$194,564	\$279,662	\$417,530
Costo de capital	\$651,601	\$1,303,202	\$2,246,912	\$4,407,991	\$5,935,787
Seguro	\$60,000	\$120,000	\$206,894	\$405,885	\$546,573
Efluentes/ dispos. residuos	\$338	\$559	\$110,820	\$110,820	\$132,108
Electricidad	-\$124,384	-\$123,663	-\$121,914	-\$124,384	-\$124,384
Materiales de empaque	\$38,787	\$52,951	\$704,318	\$704,318	\$857,728
Aumento total en costos:	<b>\$966,600</b>	<b>\$873,676</b>	<b>\$13,598,447</b>	<b>\$16,029,166</b>	<b>\$18,165,649</b>
<u>Ingresos</u>					
Azúcar crudo	\$886,852	\$1,211,256	\$16,111,607	\$16,111,607	\$19,619,149
Electricidad	\$0	\$0	\$0	\$2,759,387	\$3,197,357
Melaza	\$115,065	-\$1,369	\$1,980,744	\$1,980,744	\$1,525,836
Aumento total en ingresos:	<b>\$1,001,917</b>	<b>\$1,209,887</b>	<b>\$18,092,352</b>	<b>\$20,851,739</b>	<b>\$24,342,343</b>

<b>Beneficio anual neto:</b>	<b>\$35,317</b>	<b>\$336,211</b>	<b>\$4,493,905</b>	<b>\$4,822,574</b>	<b>\$6,176,694</b>
------------------------------	-----------------	------------------	--------------------	--------------------	--------------------

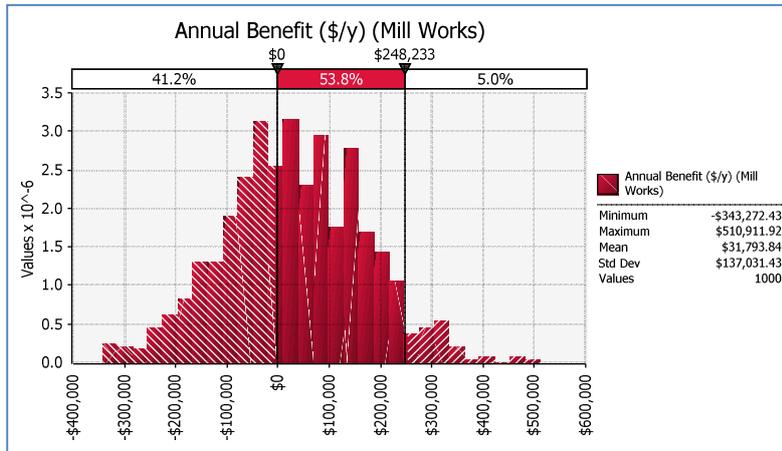
Tabla 1: Cambio acumulativo predicho en costos e ingresos a través de las etapas de mejoras. Todos los valores están referidos al modelo base y son valores promedio de 1000 simulaciones.



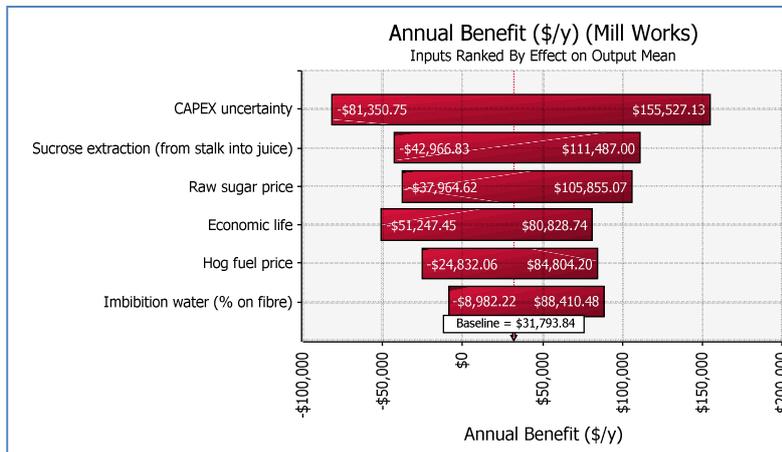
Gráfica 1: Beneficio anual predicho a través de las etapas



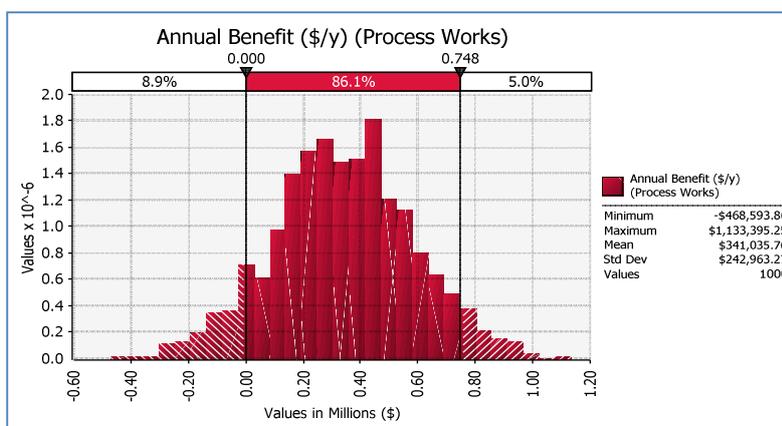
Gráfica 2: Vapor sobre caña y producción de azúcar a través de las etapas



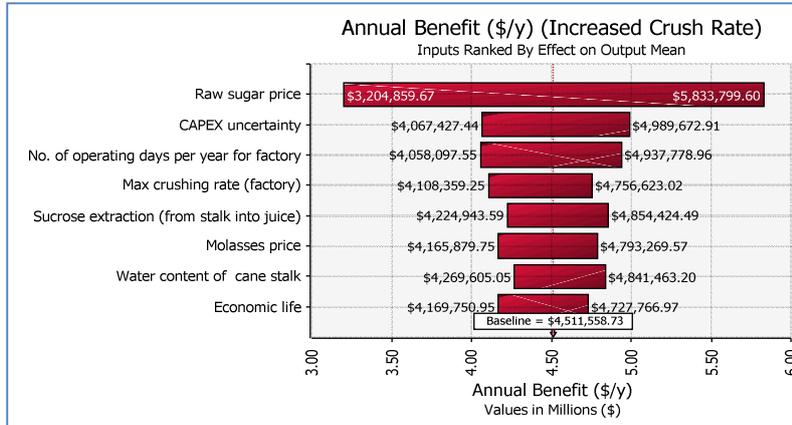
Gráfica 3: Distribución de probabilidad de beneficio anual de realizar los trabajos de mejora en la molienda.



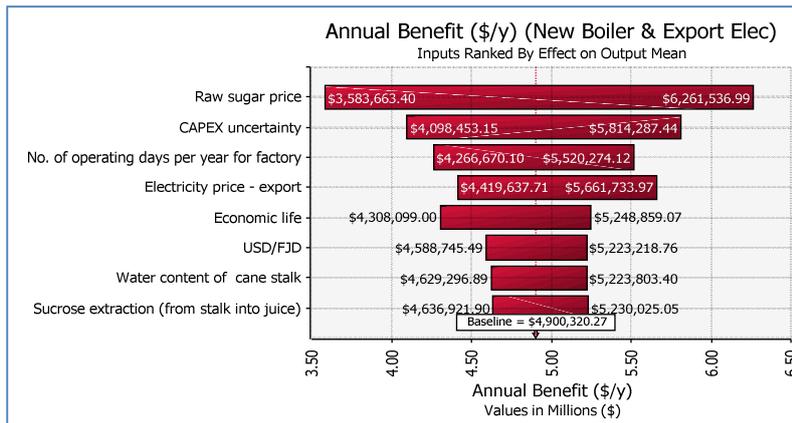
Gráfica 4: Análisis de sensibilidad del beneficio anual de realizar los trabajos de mejora en las operaciones de molienda.



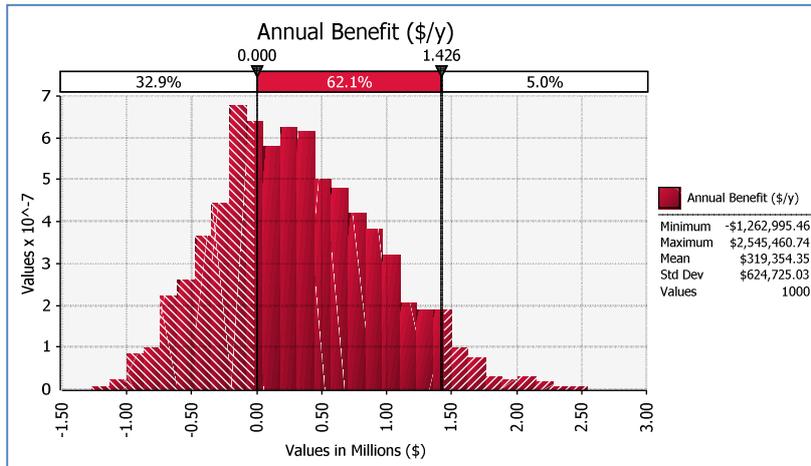
Gráfica 5: Distribución de probabilidad de beneficio anual de emprender los trabajos de mejora en las operaciones de molienda y en el proceso en fábrica.



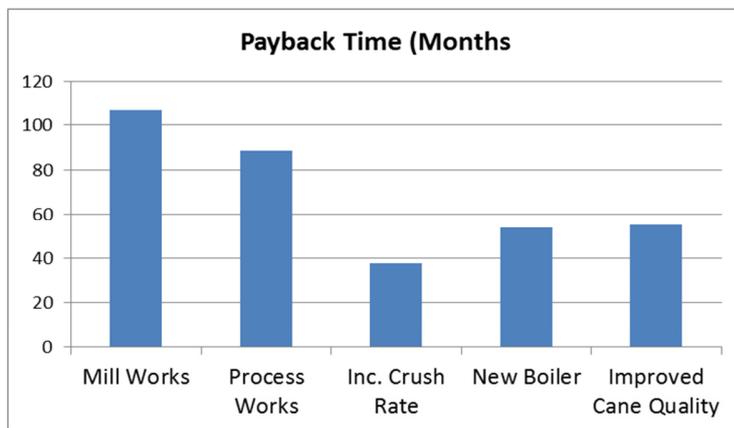
Gráfica 6: Análisis de sensibilidad del beneficio anual de realizar los trabajos de mejoras en las operaciones de molienda, en los proceso en fábrica y aumentar la rata de molienda.



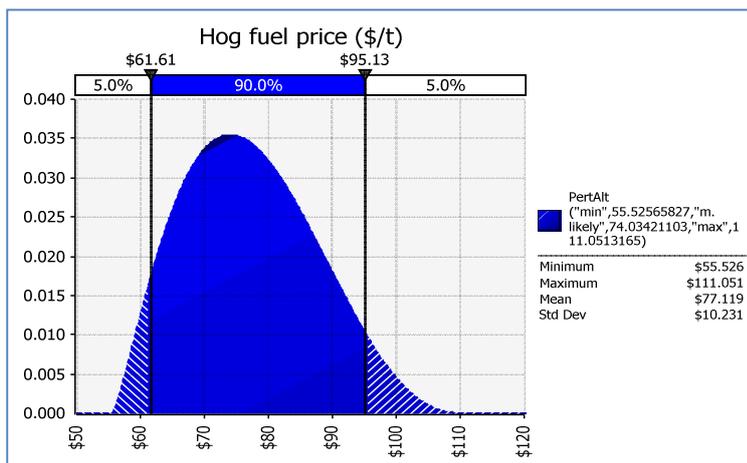
Gráfica 7: Análisis de sensibilidad del beneficio anual de llevar a cabo los trabajos de mejora en las operaciones de molienda, del proceso en fábrica, así como de incrementar la rata de molienda e instalar el nuevo sistema de cogeneración.



Gráfica 8: Distribución de probabilidad de beneficio anual de instalar un nuevo sistema de cogeneración.



Gráfica 9: Tiempo de recuperación predicho para la implementación acumulativa de las diferentes



Gráfica 10: Ejemplo de distribución de probabilidad que describe las potenciales variaciones futuras en el precio de combustible. La distribución se generó a través de un estimado de tres puntos: una estimación de los valores mínimos, más probables y máximos.