



## X Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica ALTEC 2003

“Conocimiento, Innovación y Competitividad: Los Desafíos  
de la Globalización”



### La Gerencia de Conocimientos Mediante la Aplicación del Análisis de Procesos

Erenio González Suárez  
Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.  
[erenio@uclv.edu.cu](mailto:erenio@uclv.edu.cu)

José Turrado Saucedo  
Universidad de Guadalajara, México

María Cristina Area  
Universidad Nacional de Misiones, Argentina

Luz Amparo Uribe  
Universidad Industrial de Santander, Colombia

#### Resumen

Objetivo: la aplicación del Análisis de Procesos considerando la incertidumbre en el desarrollo de una tecnología ambientalmente compatible para la producción de papel para ondular empleando bagazo de caña de azúcar, de manera que permita un desarrollo prospectivo integrado a la fábrica de azúcar. METODOLOGÍA: para la consecución del objetivo se determina la incertidumbre en los diferentes aspectos de cambio en el proceso tecnológico, se emplean estudios experimentales y con apoyo de modelos matemáticos para determinar los puntos de mayor incertidumbre tecnológica y financiera en el proceso, abordando mediante la combinación de procesos más limpios en las etapas críticas de la tecnología global y estudios de integración de los elementos componentes de la instalación papelera, así como de las instalaciones que tributan al complejo agroindustrial. RESULTADOS: una propuesta de estrategia de desarrollo prospectivo integrado considerando el proceso inversionista para garantizar la oportunidad de emplear tecnologías limpias en el proceso industrial.

**Palabras claves:** Medio ambiente, Gerencia de conocimientos, diversificación.

# **La Gerencia de Conocimientos Mediante la Aplicación del Análisis de Procesos**

## **I. Introducción**

En todas las civilizaciones, el ser humano ha sentido la necesidad de conocer y entender el mundo y la sociedad en que vive y ha organizado progresivamente la producción de nuevos conocimientos. Así fue como apareció la investigación científica, cuya finalidad es entender e interpretar los fenómenos naturales y sociales.

Como se ha dicho, el nuevo entorno está introduciendo un conjunto de innovaciones de carácter técnico y económico que implican cambios a nivel del trabajo de la organización y en las formas de gestionar los negocios (Hidalgo,2002). Las innovaciones de carácter técnico requieren de actividades de uso del conocimiento en la toma de decisiones lo que supone un uso conocimiento en procesos, productos y servicios ya sea por el acceso a conocimientos procedentes de fuentes externas o la generación de nuevos conocimientos.

El estudio del estado, actual y perspectiva, de la industria del papel, demuestra que en los últimos años las direcciones principales en la producción de papel estuvieron orientadas, entre otros aspectos, a elaborar productos valiosos con menos gastos de energía, calor, agua e inversiones y un favorable balance ecológico al disminuir apreciablemente la contaminación ambiental.

En el desarrollo de la industria de procesos químicos el crecimiento de la eficiencia empresarial está íntimamente vinculado al perfeccionamiento de la efectividad de cada proceso tecnológico, que tiene un amplio campo de incidencia favorable en las economías.

Indudablemente, para gestionar el conocimiento de la forma más eficiente es necesario identificar las diferentes formas en que pueden encontrarse en una organización: como capital humano, capital estructural o capital relacional (Edvison - Sullivan, 1995); en el capital humano especial importancia tiene la capacidad de aprendizaje tecnológico de la organización, lo que en buena medida está determinado por la asimilación creativa de los nuevos métodos de la investigación científica y tecnológica, por lo cual debe asegurarse la vinculación entre el progreso científico técnico y las direcciones principales del desarrollo económico y social, para lo que es premisa científica el estudio permanente y la asimilación activa de los avances de la ciencia y la técnica en el mundo.

En el plano científico internacional el Análisis Complejo de Procesos, es una alternativa metodológica que abre nuevos caminos en el desarrollo e intensificación de procesos, y en su propio desarrollo se ha convertido en un problema cardinal de la ciencia contemporánea, al cumplir el doble requisito de constituir un resultado desarrollo científico creciente y un requerimiento del necesario perfeccionamiento de la eficiencia técnico-económica de los procesos de la industria química, la industria del papel no escapa de esta necesidad.

## **II. Los métodos de Análisis de Procesos.**

### **2.1. Conceptos Generales.**

Como Análisis de Procesos conocemos, la aplicación de métodos científicos de reconocimiento y definición de problemas, así como el desarrollo de procedimientos para su solución. Lo que puede puntualizarse como:

1. Especificación matemática de un problema para una situación real dada.
2. Análisis pormenorizado para obtener modelos matemáticos.
3. Síntesis y presentación de resultados, para asegurar una total comprensión.

El Análisis de Procesos se puede realizar bajo un aspecto limitado, unilateral del proceso, o con un enfoque multilateral más complejo.

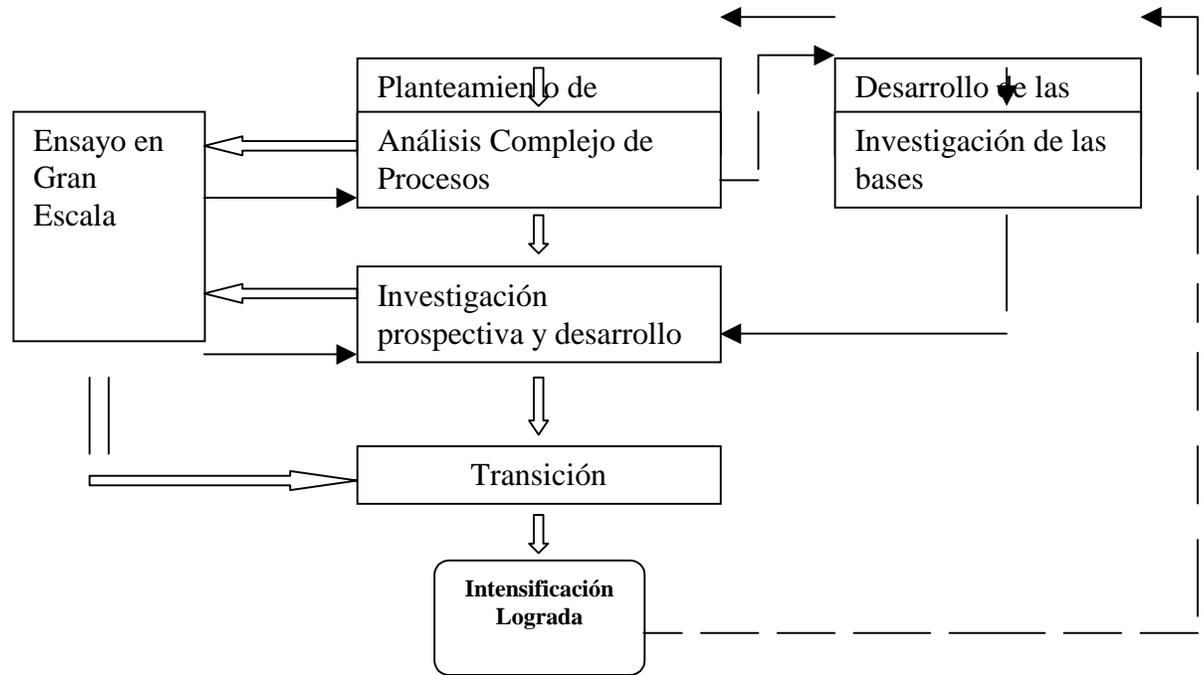
El Análisis Complejo de Procesos, como vía para lograr el nuevo desarrollo o la intensificación de los procesos tecnológicos de la industria química consiste en un amplio análisis científico-técnico y técnico-económico de un proceso existente o concebido, en lo referente a las posibilidades de realización óptima de los objetivos previstos, por ello constituye un elemento importante para tomar decisiones más científicas y responsables.

Los efectos sobre todo el proceso están en el aumento de su rendimiento mediante la optimización de los recursos disponibles, así como por el aprovechamiento de los potenciales totales, permitiendo hacer aprovechables tecnológicamente los conocimientos científico-técnico disponibles en instalaciones existentes o concebidas.

La variedad de relaciones dialécticas entre el Método de Análisis Complejo de Procesos y otros métodos para la intensificación y desarrollo de procesos, hacen necesaria una valoración y aplicación práctica diferenciada en cada caso, donde están vinculadas al

Análisis Complejo de Procesos, las tareas de investigación y desarrollo como premisas fundamentales para el tránsito hacia el logro propuesto (Figura 1).

**Figura. 1. Relaciones entre el Análisis Complejo de Procesos, la investigación, desarrollo y tránsito hacia la intensificación.**



## 2.2. La incertidumbre en el diseño de instalaciones de la industria de procesos.

Realmente, los procesos de la industria química están sujetos a muchas variaciones y no siempre está disponible toda la información para el diseño de una instalación o para una parte sustancial de esta. Los problemas de incertidumbre en la ingeniería de procesos, así como los principios metodológicos para su consideración en el diseño de nuevas instalaciones fueron ordenados en cuatro direcciones, a saber (Rudd-Watson,1980):

- La determinación del mejor ajuste del diseño un proceso a los cambios futuros;
- Los aspectos concernientes a la incertidumbre de los datos de diseño de los equipos;
- La consideración de las fallas operacionales de los equipos componentes del proceso;
- Las variaciones en el entorno en el diseño y operación de instalaciones de procesos.

En adición a estos aspectos debemos mencionar, considerando la experiencia de los últimos lustros, los estudios de incertidumbre financiera.

Posteriormente han aparecido otros trabajos dirigidos a la consideración de la incertidumbre en la estrategia de procesos químicos, entre los que resaltan entre otros el trabajo sobre el diseño y escalado de procesos en condiciones de incertidumbre (Douglas,1995) en el cual refleja que:

- La disminución de la incertidumbre puede generar ahorros considerables, por lo que altamente estimulante reducir la incertidumbre. Lo que justifica en muchos casos que antes de diseñar la instalación para un proceso industrial se invierta en estudios encaminados a minimizar los puntos neurálgicos en la incertidumbre de los nuevos procesos industriales.
- En casos estudiados existen diferencias significativas en los costos de los productos que se fabriquen utilizando tecnologías con esquemas integrados y no integrados de procesos para diseños en condiciones nominales.

Por otro lado como se ha dicho: la enorme expansión de la producción industrial ha tenido sobre todo motivaciones económicas, y si no se consideran en lo adelante otros factores, puede representar un peligro para la existencia humana, esta realidad se reconoce en el concepto de desarrollo sustentable, lo que hecho implica considerar en la solución de un problema práctico el efecto de las decisiones del diseño sobre los parámetros de respuesta en lo económica, cualitativo y ambiental, lo que como se sabe es complejo, pues como han demostrado las modernas ciencias naturales, no se puede plantear el problema de alcanzar, simultáneamente, el extremo para dos o más funciones de una o varias variables.

Precisamente, en la literatura internacional ha surgido como una necesidad de la práctica varios trabajos reflejando el interés por la optimización con criterios de múltiple comportamiento entre otros recientemente el trabajo sobre la aplicación de un algoritmo genético en la optimización de un reformador industrial (Rajes et al, 2000).

Considerando la importancia de los estudios de integración de procesos, en la literatura científica se han reflejado avances en la aplicación de diferentes métodos para lograr la mejor integración, así mismo, en la actualidad en los procesos inversionistas se reflejan con mayor exigencia, entre los requerimientos, la consideración de la variable

ambiental, surgiendo en el diseño óptimo de los procesos industriales, el concepto de diseño de procesos limpios (Hurme, 1996) y de la aproximación global de funciones objetivas integradas (Garrison,1996).

### **III. Gerencia de Conocimientos mediante el Análisis de Procesos en los trabajos investigativos para la introducción de una tecnología limpia en la reconstrucción de una fabrica de papel para ondular.**

#### **3.1. Objetivos y estrategia investigativa.**

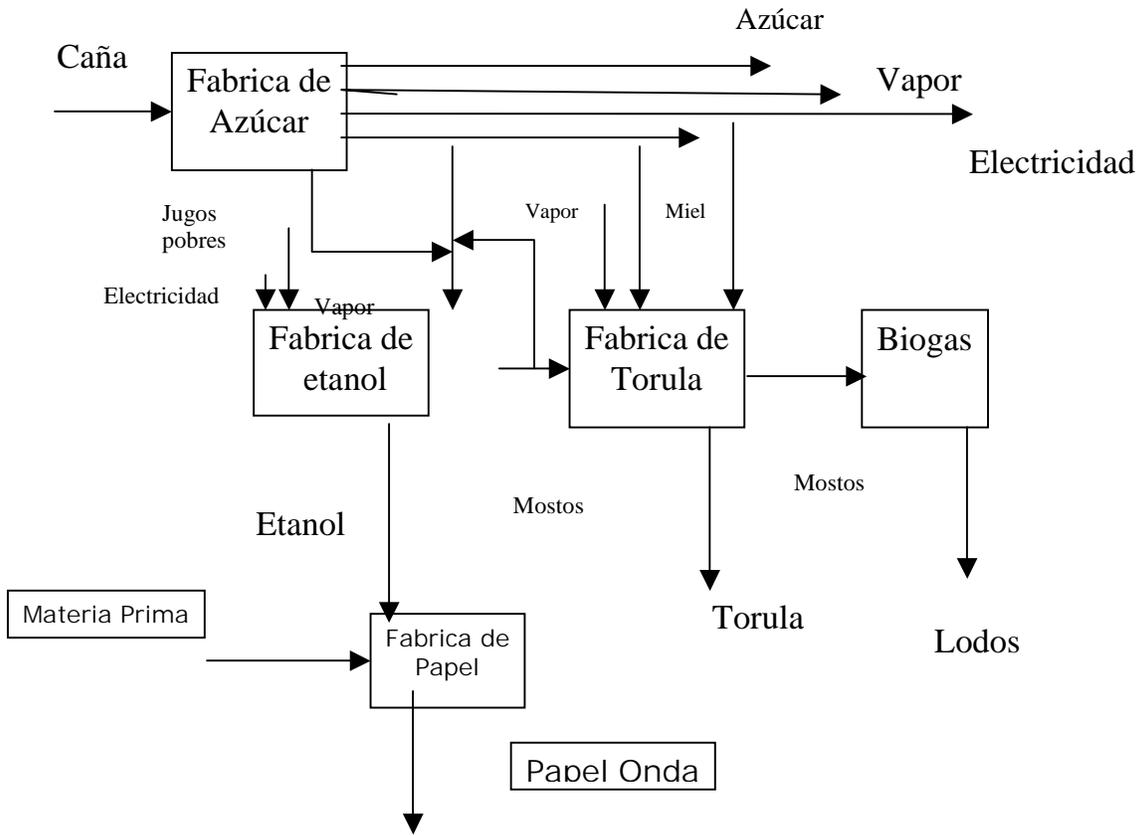
Las premisas antes planteadas permitieron establecer los siguientes objetivos :

1.- Propiciar un desarrollo competitivo de fábricas de papeles industriales vinculada a una fábrica de azúcar mediante tecnologías que propicien un desarrollo prospectivo integrado en lo material y energético de ambas industrias.

2.- Minimizar el impacto negativo ambiental de la producción de papeles industriales mediante el empleo de tecnologías limpias y el aprovechamiento de los residuales que se obtengan de las nuevas tecnologías empleadas.

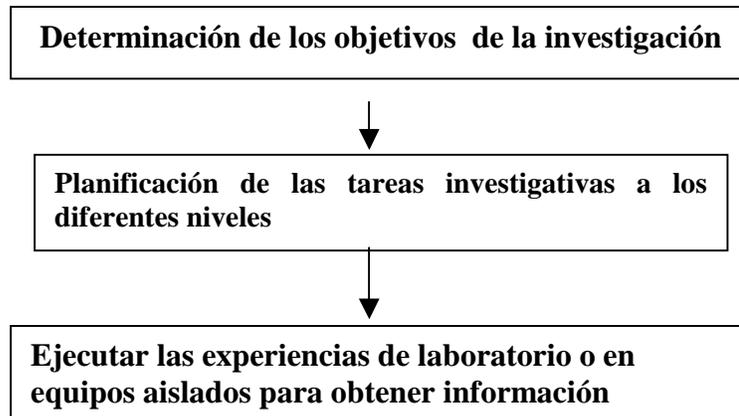
La idea de integración prevista en el estudio fue la siguiente:

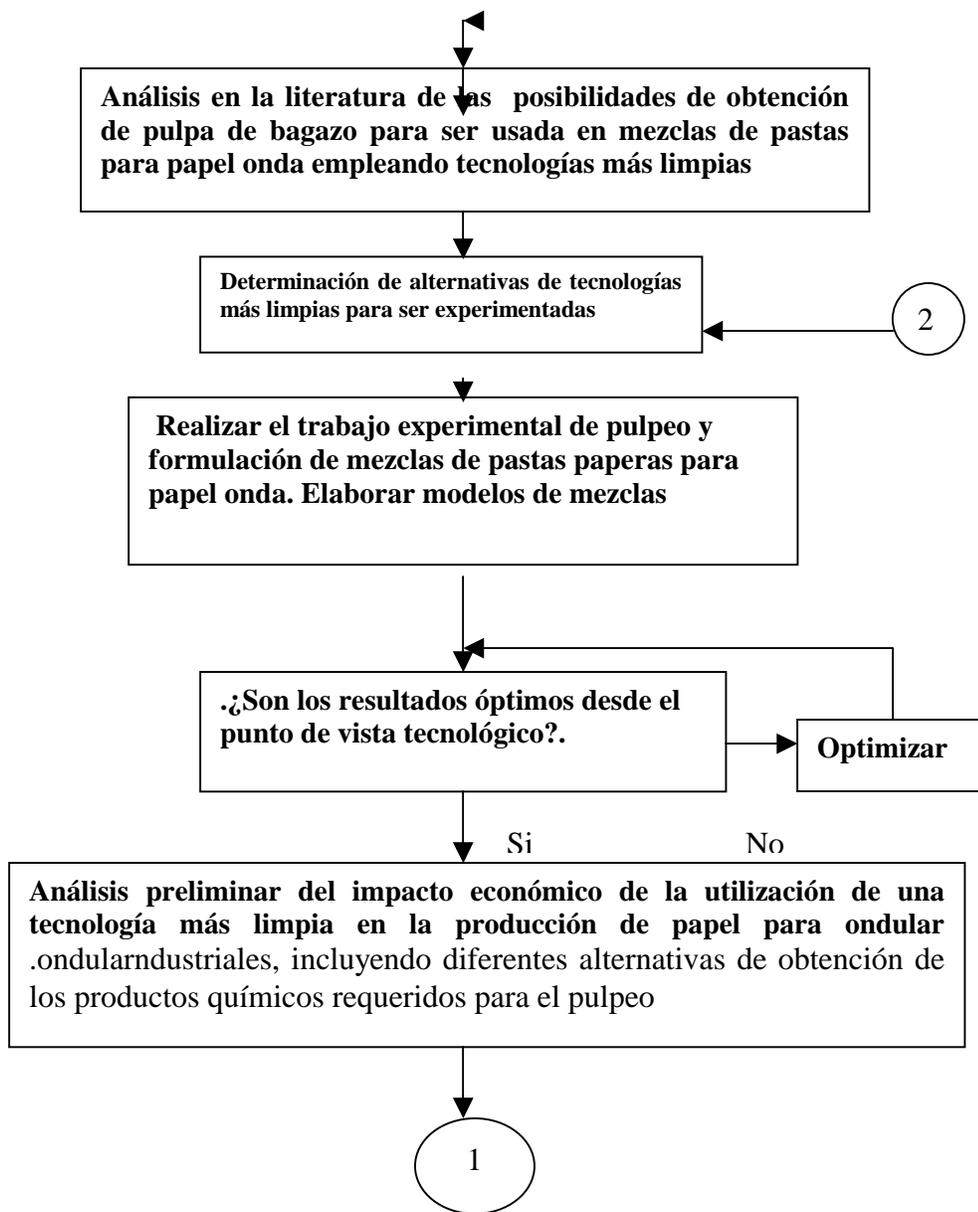
**Figura 2. Esquema de integración material y energética**

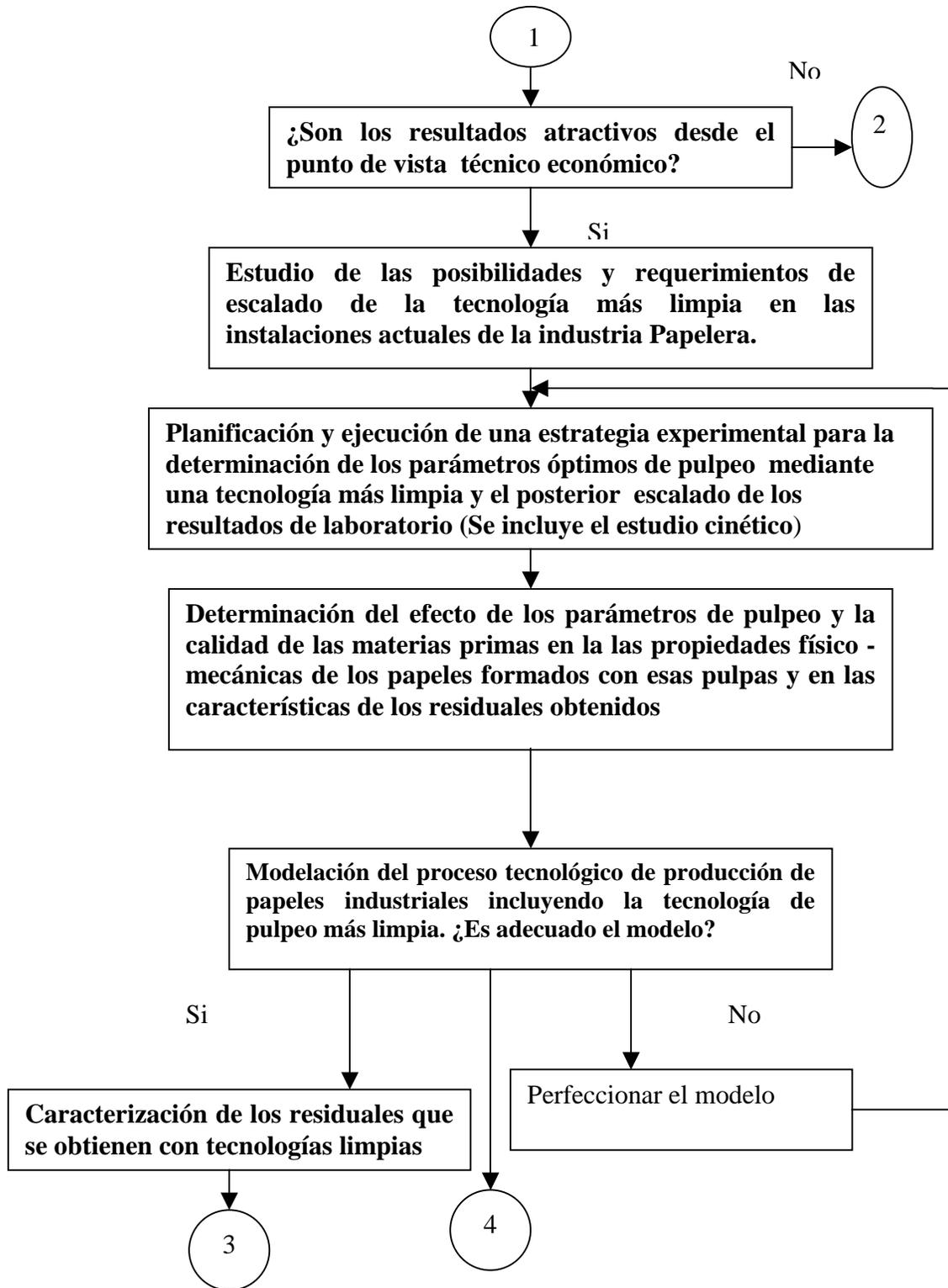


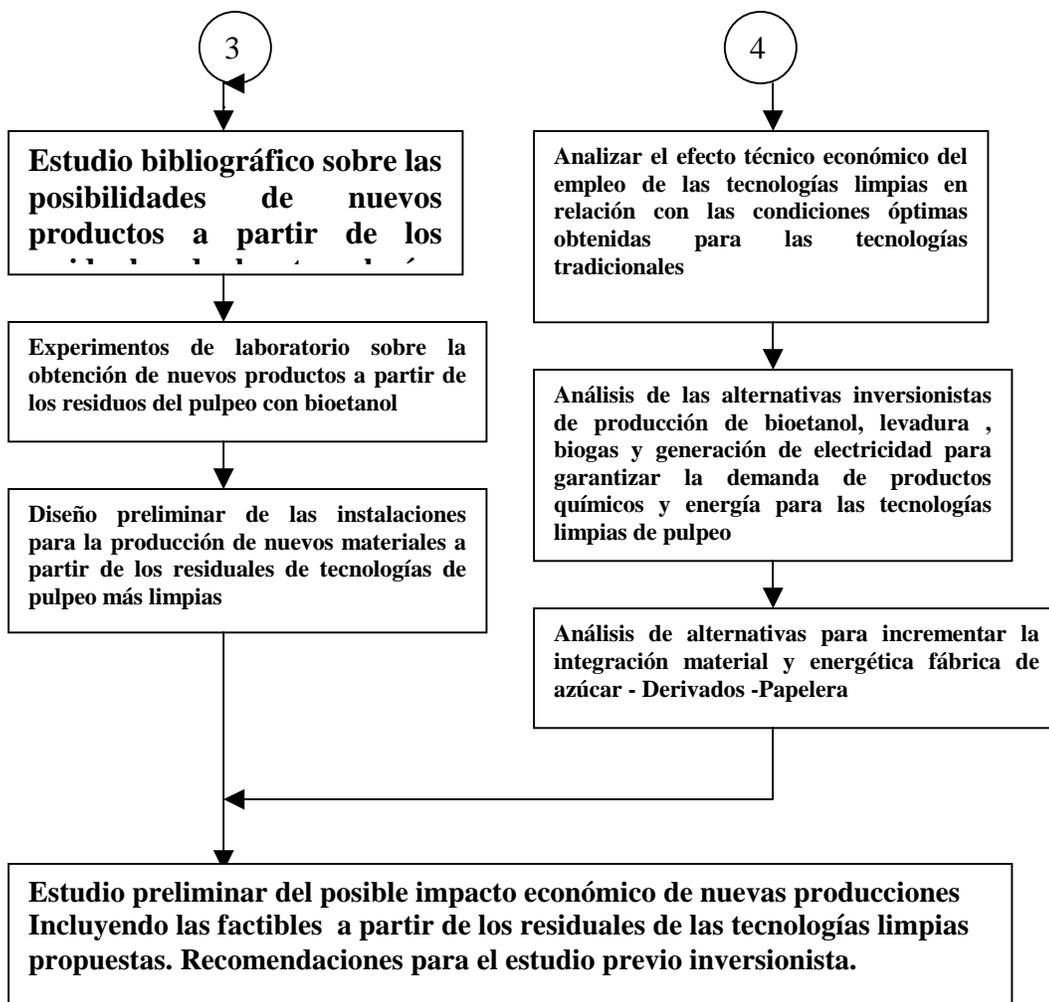
Para cumplimentar los objetivos anteriores se definieron un conjunto de tareas científicas, que para cumplimentarse se han organizado a través de un diagrama heurístico que ha ordenado el esfuerzo de seis grupos internacionales de trabajo de la siguiente manera:

**Figura 3. Diagrama heurístico para la ejecución de los trabajos investigativos en el Proyecto IV.15.**









### 3.2. Resultados preliminares y estrategia de continuación.

#### 3.2.1 Ensayos preliminares de obtención de pulpa semiquímica

Se realizó a escala semipiloto, un estudio que tuvo como objetivo fundamental determinar el impacto de los parámetros de pulpado de bagazo con una mezcla de etanol y sosa cáustica en el rendimiento y las propiedades físicas de las hojas formadas en el laboratorio.

El estudio se ejecutó en un digestor discontinuo tipo piloto. En los experimentos se consideraron las siguientes variables:

$x_1$  – Porcentaje de etanol;  $x_2$  – Porcentaje de soda;  $x_3$  – Grado de refinado.

En cada experimento se evaluaron diferentes propiedades de las pulpas. Los modelos obtenidos para la producción de papel onda aparecen a continuación:

**Resistencia Compresión de onda (CMT):**

$$\text{CMT} = 6.927 + 0.9023*x_1 + 0.2344 * x_3 - 0.077*x_1*x_2 - 0.00091*x_1*x_3 + 0.000269*x_2*x_3 - 0.00175*x_1*x_1 + 0.0572*x_2*x_2 + 0.000456*x_3*x_3 \quad (1)$$

**Rendimiento:**

$$\text{Rend} = 67.005 - 0.314*x_1 + 0.618*x_2 + 0.00957*x_1*x_2 + 0.000753*x_1*x_1 - 0.1187*x_2*x_2 \quad (2)$$

**%NaOH consumido:**

$$\% \text{NaOH} = 100.83 - 0.205*x_1 + 1.292*x_2 + 0.0229*x_3 + 0.00059*x_1*x_1 - 0.1811*x_2*x_2 \quad (3)$$

**Sólidos totales:**

$$\text{Sólidos totales} = 25.695 + 0.359*x_1 + 0.7458*x_2 - 0.0077*x_1*x_2 - 0.00182*x_1*x_1 + 0.0559*x_2*x_2 \quad (4)$$

**Lignina residual:**

$$\text{Lig. Res.} = 23.016 - 0.565*x_1 - 0.379*x_2 + 0.026*x_1*x_2 + 0.0028*x_1*x_1 - 0.0522*x_2*x_2 \quad (5)$$

Para establecer las condiciones óptimas de operación, se recurrió a una optimización jerárquica, en la cual se optimizarán paso a paso cada una de las variables de acuerdo a su grado de importancia. El grado de importancia de las variables, obtenido a través del Método de Expertos, fue el siguiente: (1)CMT, (2)Rendimiento,(3) NaOH, (4)Sólidos Totales y (5) Lignina Residual, para el rango experimental de las variables de las variables, como sigue: x1: porcentaje de etanol entre 11 y 45 %; x2: porcentaje de soda entre 3 y 15 %; x3: grado de refinado entre 200 y 500 CSF

Como resultado, se obtuvo que las condiciones óptimas de operación para llevar a cabo el pulpado empleando bioetanol son las siguientes:

X1 (etanol) = 45 %; X2 (sosa) = 3%; X3 (grado de refinado) = 200 CSF

Al evaluar estas condiciones en cada uno de los modelos que representan las propiedades dependientes tendremos los siguientes resultados:

CMT= 73.92 lbf; Rend= % 67.08; NaOH consumido = 92.62 %; Sólidos Totales = **29.25** mg/L; Lig. Res= 5.1642 mg/L

### **3.2.2 Modelos que caracterizan la etapa de mezclado de las pastas.**

La formulación de mezclas de tres o más componentes se convierte en un problema cuando se requiere conocer el efecto de la composición y el grado de refinación de cada componente sobre las propiedades de la misma.

El empaste se forma entre los tres tipos de pulpa en estudio:

Nacional (A): papel reciclado originario de México

Importado (B): papel reciclado importado por México, principalmente originario de Norteamérica.

Bagazo (C): pulpa con etanol de bagazo elaborada en la Universidad de Guadalajara.

El diseño experimental de mezclas para el experimento se realizó mediante un diseño de enrejado simple, con variable de respuestas CMT.

El modelo obtenido fue:

$$\text{CMT} = 46.111A + 49.3067B + 63.4524C - 0.624654AB - 5.9925AC + 10.1497BC + 35.6641 ABC$$

De acuerdo con estos modelos podemos pronosticar las propiedades que a nivel de laboratorio se obtendrán en la mezcla fibrosa y determinar condiciones óptimas de mezclado según las exigencias de CMT según las características de calidad requerida para el papel.

### **3.2.3. Determinación de la relación entre las propiedades de la pasta y el papel en la Máquina de Papel de la empresa interesada en los resultados del Proyecto.**

Para asegurar que los resultados obtenidos a escala laboratorio son extrapolables a la industria, se determinaron las relaciones entre los valores obtenidos en el punto anterior, y el papel formado en la máquina de papel de la fábrica.

Los experimentos se realizaron tomando muestras de pulpa en la Caja de Cabecera de la Máquina de Papel cada una hora en cada ensayo experimental, con las muestras de pulpa se formaron hojas de papel en el laboratorio y se evaluaron los valores de CMT obtenidos y de idéntico modo se evaluaron las propiedades de CMT del papel formado en la máquina de papel industrialmente los resultados procesados estadísticamente permitieron obtener el siguiente modelo:

$$\text{CMT Maq} = 0.0022 + 3.36\text{CMTL} - 0.0056\text{CMTL}^2 - 5 \cdot 10^{-5}\text{CMTL}^3 + 1.5 \cdot 10^{-7}\text{CMTL}^4$$

Donde:

CMT Maq: CMT en las hojas de papel formadas a escala industrial en una Máquina de Papel.

CMTL: CMT en las hojas de papel formadas, con la pasta de la Caja de Cabecera a escala laboratorio, en el Departamento de Madera, Celulosa y papel de la Universidad de Guadalajara.

De acuerdo con estos modelos a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio para las diferentes condiciones de pulpeo, es factible estimar los valores de las mismas propiedades que se obtendrán para diferentes pulpas como propiedades de la calidad del papel. Específicamente para el caso del CMT, de particular importancia en la producción de papeles para ondular, los resultados obtenidos en los modelos permiten concluir que los valores industriales siempre serán superiores a los obtenidos en las mezclas de pastas de la caja de cabecera de la Máquina de Papel estudiada y por ello condiciones aceptables a nivel de laboratorio también lo serán a escala industrial.

#### **3.2.4. Estudios de Integración interna del proceso de pulpa y papel.**

El contenido de fibras en las corrientes residuales constituye el elemento que provoca un efecto más negativo al medio ambiente, además es necesario también analizar la posibilidad de recuperar un material de valor para el proceso.

En este proceso, fueron seleccionados 3 flujos fuentes, para las oportunidades de recicló.

Después de esto podemos resumir:

- Cantidad de agua que se usaba anteriormente: 2519,2 m<sup>3</sup>/d
- Consumo de agua actual: 318 m<sup>3</sup>/d
- Para una reducción del 87,38 %
- Cantidad de residuales que se vertían anteriormente: 2580,14 m<sup>3</sup>/d
- Se vierten actualmente: 378,94 m<sup>3</sup>/d
- Para una reducción del 85,31 %

### **3.2.5. Integración fábrica de pulpa y papel con la fábrica de azúcar y derivados.**

El empleo de etanol en la cocción del bagazo para la obtención de pulpas para pastas destinadas a la fabricación de papel onda, plantean la necesidad de la obtención del etanol a bajo costo y de fácil acceso para la industria del papel, lo que obliga a estudiar la posibilidad de producción en las instalaciones aledañas a la fábrica de papel e incluir en el estudio las opciones de integración material y energética que entonces se ofrecen.

En muchos países la industria nacional de celulosa y papel está íntimamente relacionada con la industria azucarera. En esos casos más del 30% del volumen de la material prima proviene de los ingenios azucareros que venden el bagazo en base a su contenido energético.

Una posible solución sería la integración de ambos sistemas industriales (fábrica de azúcar-papelera) en un sistema, con las ventajas que eso representaría en el manejo, transporte, administración, mantenimiento y sus respectivos costos.

Por otro lado, es conocido que como fuente de carbono en la producción de alcohol y levadura torula se utilizan diferentes substratos, siendo el fundamental en el caso de Cuba, la miel final. No obstante, la utilización intensiva de las mieles en la producción de alcohol, levadura torula y otras sustancias, va a estar limitada por la demanda siempre creciente de este producto para la alimentación animal directa y la comercialización internacional con precios relativamente altos y estables.

Según los aspectos antes mencionados desde hace algún tiempo se evalúan las posibilidades de sustituirla parcial o totalmente como materia prima principal en las fermentaciones, habiéndose ensayado diferentes alternativas con jugo de caña (JC), jugo de los filtros (JF) y jugo diluido del último molino.

La extracción de corrientes intermedias representa para una fábrica de azúcar un incremento en su capacidad de molienda, disponibilidad de energía y del equipamiento de las áreas de purificación y evaporación al dejar de procesar corrientes que representan entre un 15 % de la caña molida (jugo de los filtros) y el 5% del jugo mezclado (jugo del último molino). Adicionalmente, se evita la incorporación al proceso un material con altos contenidos de no azúcares, coloides y microorganismos que en última instancia perjudican la calidad del azúcar.

También se ha estudiado las proporciones de recirculación de vinazas o mostos de las destilerías de alcohol como componentes de los substratos en las producciones de alcohol o levadura. En caso de no existir destilerías cercanas, el aporte de las vinazas habrá que buscarlo con el uso de una mayor proporción de JF en zafra y de MF en no-zafra.

En el manejo y los análisis alrededor de las destilerías y fábricas de levadura, se pueden hacer otras consideraciones:

La base del análisis económico está en obtener la ganancia extra que se obtiene al integrarse los procesos, es decir, se hará una comparación entre la ganancia obtenida antes y después de la integración.

#### **Antes de la integración:**

Se producía azúcar, miel final y electricidad en el central y papel en la papelera, todo lo cual con un valor de 18 554 772 USD. En la papelera se erogaron 3 157 483 USD por concepto de fuel oil, electricidad y bagazo.

#### **Después de integración:**

El sistema integrado produce azúcar, papel, biomasa y alcohol (que no se vende), obteniendo por concepto de sus ventas: 17 998 864 USD. Debe gastar 2 949 334 USD por la adquisición de fuel oil, residuos agrícolas cañeros (RAC) y electricidad para poder realizar la producción integrada.

**Saldo:** La ganancia del sistema se incrementa en 3 157 483 al obtenerse de la fábrica de azúcar estos materiales y servicios para la papelera, a lo cual hay que agregar el dinero correspondiente a las ventas de biomasa, es decir, 557 392 USD; siendo el total del dinero adicional disponible de 3 714 875 USD. Si a este total restamos los gastos adicionales de la fábrica de azúcar la ganancia adicional es de 765 541 USD.

Siendo la inversión necesaria para materializar la integración de los procesos la siguiente:

Turbo generador CEST: 1 875 000 USD.

Destilería: 486 400 USD.

Planta biomasa: 422 000 USD.

Implementación pulpeo con etanol: 288 266 USD

Total: 3 071 566 USD.

Por tanto, la ganancia extra permite recuperar lo invertido en 4.1 año.

#### **IV. Conclusiones.**

1. El Análisis de Procesos, con las potencialidades de modalidad más integral, el Análisis Complejo de Procesos, es una herramienta metodológica poderosa para la ejecución de estudios de desarrollo e intensificación de procesos de la industria de pulpa y papel en el cual pueden participar especialistas de diferentes grupos y contextos de investigación.
2. Los resultados que se alcanzan en la conducción de un proceso de investigación y desarrollo, a través de la aplicación del Análisis de Procesos, permiten la rápida elaboración de resultados de impacto global y la toma de decisiones en la estrategia de trabajo a partir de los propios resultados del proceso de generación de conocimientos y de su aplicación a las demandas de nuevos conocimientos.
3. Los resultados alcanzados hasta el momento en las investigaciones para incrementar la competitividad prospectiva de fábricas de papel integradas a fábricas de papel y otros derivados de la caña de azúcar brindar perspectivas alentadoras en los aspectos técnicos, económico y ambientales.
4. Es necesario condensar las experiencias científicas alcanzadas en el orden metodológico y extrapolarlas con las consecuentes adecuaciones a otros estudios del referido sector.

#### **Bibliografía**

- Douglas, P. L.: "Design & Scale - Up Under Uncertainty. III Taller Internacional de Escalado, Habana 95, La Habana 1995.
- Edvison, L.P. Sullivan : "Developing a model for managing intellectual capital". European Management Journal, 1995
- Garrison, G.W.; H. D. Springs, M. M. EL - Halwagi: "A Global Approach to Integrating Environmental, Energy, Economics, and Technological Objectives". The 5 th World Congress of Chemical Engineering" California, USA, July 1996.

Hidalgo, A., G. León Serrano, J. Pavón Morote: "La gestión de la innovación y la tecnología en las organizaciones". Edición Pirámide. 2002, 73-79.

Hurme, M.: " Conceptual Design of Clean Processes : Tools and Methods. The 5 th World Congress of Chemical Engineering" California, USA, July 1996.

Rudd, D. F.; C. C. Watson: "Strategy of Process Engineering". E.R., La Habana, 1980, 69-273.