




Los Métodos Matemáticos en las Tesis de Formación Doctoral Conducidas por la Universidad en la Industria Química

Erenio González Suárez^a , Diana N. Concepción Toledo^a , Juan Esteban Miño Valdés^{b,*} 

^a Dpto. de Ing. Química, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.

^b Dpto. de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Argentina.

e-mails: erenio@uclv.edu.cu, dianac@uclv.edu.cu, jemino53@gmail.com

Resumen

La génesis de muchas investigaciones científicas son las demandas de la práctica productiva en las empresas y su propio desarrollo prospectivo, lo que justifica la necesidad y posibilidad de realizar investigaciones dentro de la industria para su propio beneficio. La metodología de trabajo incluye el control de las operaciones unitarias del proceso para obtener datos experimentales y usarlos en los métodos matemáticos de las tesis doctorales, conducidas por la Universidad. El personal empresarial con funciones de dirección técnica de importancia son los aspirantes a cursar estos doctorados. El desafío es llevar a cabo un trabajo de investigación con los conocimientos adquiridos durante su formación, resolviendo problemas reales de la industria química. En adición, se hace referencia a los trabajos y experiencias actuales en la intensificación de los procesos de producción de refinerías de petróleo y elaboración de ron.

Palabras clave: Formación doctoral, Industria química, Métodos matemáticos, Universidad-empresa.

Abstract

The genesis of many scientific investigations are the demands of productive practice in companies and their own prospective development, which justifies the need and possibility of conducting research within the industry for its own benefit. The work methodology includes the control of the unitary operations of the process to obtain experimental data and use them in the mathematical methods of the doctoral theses, conducted by the University. Professional business personnel with important technical management functions are the applicants for these doctorates. The challenge is to carry out research work with the knowledge acquired during their training, solving real problems in the chemical industry. In addition, reference is made to the current work and experiences in the intensification of the production processes of oil refineries and rum production.

Keywords: Doctoral training, Chemical industry, Mathematical methods, University-company.

1. Introducción

En las condiciones actuales de la industria es importante la búsqueda de soluciones a sus problemas tecnológicos a través de la asimilación de tecnologías del exterior o mediante la generación de soluciones propias atendiendo a las condiciones locales. Para ello, se requieren nuevas alianzas institucionales variando las estrategias y tácticas del desarrollo y la diversificación. Nuevas relaciones entre el sector público, privado y la academia están teniendo importantes consecuencias en la manera en que pensamos y actuamos respecto al desarrollo al desarrollo económico.

El fenómeno que gira alrededor de la importancia del vínculo entre la universidad y la empresa es relativamente nuevo si se tiene en cuenta que es a partir de la década del 80 en que se presta una mayor atención en este sentido. No obstante, es un hecho que evoluciona de forma rápida y creciente y toca fondo al punto de que si existe interés por cosechar éxitos en la actividad investigativa y productiva pues resulta incuestionable la necesidad de lograr un vínculo estrecho entre ambos sectores [1].

Sin embargo, persisten aun varias limitaciones y barreras para la colaboración efectiva entre ambos sectores, por lo que se demandan acciones para reforzar la efectividad y dinámica de este vínculo.

Este reforzamiento se debe en gran medida a que en la actualidad confluyen y se interrelacionan, además, dos cambios mundiales de carácter estructural:

- Una revolución productiva basada en la ciencia, donde los productos alcanzan un valor agregado dado por los conocimientos incorporados a ellos, que supera el valor de la materia prima, energía o mano de obra.
- Una revolución en la estructura económica internacional, que se orienta hacia un ambiente de competitividad cada vez mayor, la disminución de la barrera al comercio exterior y una carrera febril en torno a la diferenciación de productos como base de las estrategias competitivas por lo que debemos hacer todos los esfuerzos para incrementar el uso de la Ciencia y la Técnica en el desarrollo.

Estos fenómenos hacen que el sector empresarial tenga la necesidad de poseer vías para el acceso a los conocimientos novedosos que se generan en los centros de generación de conocimientos, especialmente en la universidad y por otra parte, estos últimos se motivan retroalimentarse de la industria [2].

Entre estos conocimientos, sin dudas en el campo de la industria de procesos químicos está el apropiamiento de los métodos científicos de trabajo, en los cuales las herramientas matemáticas son sin duda algunos instrumentos especialmente poderosos.

Como todo fenómeno relativamente joven y además complejo, se enfrenta a un grupo de limitantes, barreras u obstáculos que en la medida que indagamos en las particularidades de cada uno de los sectores, estos pueden ser corroborados.

Un aspecto que consideramos clave para la introducción de las ciencias en las industrias de procesos químicos y fermentativos en la presencia de científicos en el sector empresarial y que no solo estén presentes después de su formación; sino también desde su formación por lo que este trabajo tiene el objetivo de presentar la experiencia adquirida en la formación desde la industria de científicos mediante sus tesis doctorales en el concepto de que en la industria hay necesidad y posibilidad de formar doctores cuya génesis de sus temas de investigaciones sean la solución de problemas directos del desarrollo de su empresa.

2. Desarrollo

El material que se gestiona en la comunidad científica, es el conocimiento y el método que se utiliza con mayor frecuencia para generar nuevos conocimientos, es: la investigación que lleva incorporada la tesis de doctorado.

La metodología de trabajo incluye el control de las operaciones unitarias del proceso industrial, para obtener datos experimentales y usarlos en los métodos matemáticos de las tesis doctorales, conducidas por doctores de la Universidad.

El Programa de Doctorado de Ingeniería Química de la Universidad Central de las Villas (UCLV) ha respaldado los procesos doctorales esencialmente con los métodos de investigación con énfasis en los métodos heurísticos y las herramientas matemáticas, así como la exigencia en el cumplimiento de los plazos y la calidad de la investigación.

Una impronta de la época es que la tecnología incide cada vez más en las posibilidades empresariales, por lo que se requiere pasar de la perspectiva tecnológica tradicional, que no permitió el desarrollo, a una prospectiva tecnológica que puede interpretarse en:

- Búsqueda de posibilidades
- Exploración de nuevos campos

- Localización de recursos

Tendrá que descansar necesariamente en un análisis multilateral y pormenorizado de los factores y cambios tecnológicos de la empresa, para lo cual debería cumplirse una previsión global, cualitativa y múltiple que cumpla el requisito de ser instrumento para la acción.

Según afirma [3] el conocimiento se está consolidando cada vez más como un elemento de importancia estratégica para las organizaciones, al entrar en una economía basada en recursos intangibles como la tecnología, la información y el aprendizaje.

En este sentido, la gestión del conocimiento es una de las responsabilidades organizacionales de mayor trascendencia en la actualidad y se relaciona con conceptos como la competencia basada en el conocimiento que es diferente a la información, pues involucra la cabal utilización de la información y datos disponibles, los cuales son potenciados por el talento humano, cimentado en habilidades, competencias ideas e instituciones.

Cuando de Gerencia de Conocimientos hablamos, entendemos por esta, el proceso de organización, planificación, control y producción, aplicado a la creación de nuevos conocimientos en las organizaciones. Es decir, la gestión integrada de la generación y asimilación de nuevos conocimientos y de las tecnologías de la información, aplicadas a las áreas estratégicas y a los factores críticos de competitividad y pertinencia de una organización.

La gestión del conocimiento se hace tema obligado en el sector empresarial por lo que tiene que ejecutarse de manera que las tecnologías sean usadas adecuadamente y en la medida que sea posible, mejoradas y adaptadas a nuestras condiciones pues es evidente que si los ingenieros utilizan tecnologías que no son apropiadas es que son negligentes, si no saben lo que es apropiado es que son ignorantes; y si no se preocupan de lo que es apropiado pierden todo el derecho a la consideración profesional.

Por su incidencia en la competitividad tecnológica, entendida como el grado en que produce sus bienes y servicios para ser insertados tanto en el mercado nacional como internacional llegando a considerarse un aspecto ineludible en el contexto global actual. Se hace imprescindible la ejecución de acciones que incentiven, obliguen y apoyen a la empresa a mantenerse actualizada en este sentido.

Para lograr los objetivos de la Gestión del Conocimiento, se requiere contar con promotores y gestores del conocimiento, definir sus roles en este asunto, garantizar un trabajo en equipo, establecer infraestructura tecnológica, lograr un ambiente cultural y humano propicio y garantizar los recursos financieros. En este sistema de relaciones se encuentran las que se establecen entre el sector empresarial y los centros de generación de conocimientos, específicamente las universidades, que propician una buena parte de la producción de conocimientos científicos que no siempre es aprovechado y en muchos casos poco asimilados por el sector empresarial.

Y en este sentido está llamada la actuación de los diferentes actores sociales, que se expresa en la labor de toda la Comunidad Científica que interviene en la gestión del conocimiento mediante una estrategia colaborativa, donde todos sus miembros se integren y cobren auténtica dimensión en aras de alcanzar un desarrollo sostenible y un incremento de empleo de calidad [4].

En el sector de la industria de procesos químicos y fermentativos entendemos por comunidad científica, al colectivo que congrega a hombres de pensamiento de todos los factores sociales tanto de los centros de generación de conocimientos de forma general, como los del propio sector (empresas, delegaciones, ministerio), que interactúan entre si y se encuentran bajo ciertas regulaciones e intereses. Dentro de su accionar se encuentra como principal función la búsqueda de soluciones a los problemas que en materia científica tecnológica enfrenta este sector. Actuando sobre

la base de que cada uno de sus miembros, partiendo de que tienen las mismas posibilidades en este sentido, haga su aporte de acuerdo a su capacidad.

Desde un estudio sobre gestión del conocimiento en la industria química y fermentativa se pudo constatar, entre otros aspectos, que:

Referido a la situación actual en materia tecnológica del sector industrial de la industria química y fermentativa se constata el criterio de que el estado actual de la tecnología con que cuenta esta industria se clasifica como de obsoleta o de riesgo, que existe mucho desconocimiento por parte de los empresarios acerca de cuál es la tecnología de punta que en estos momentos se utiliza a nivel internacional y que posibilidades de asimilación de estas pueden obtener.

Referido a estado actual del vínculo entre el sector industrial y los con sectores de Centros de Gestión del Conocimiento (CGC) se expresa que, aunque existen relaciones aún estas son insuficientes caracterizadas por una falta de comunicación entre ambos, aún no se logra un acercamiento efectivo entre estos sectores, manifestándose entre otras formas, dificultades para establecer y formalizar contratos para la labor en conjunto. Se desconocen las ofertas de conocimientos tecnológicos que los CGC poseen, así como la demanda de estos que tiene el sector industrial debido a estas no se encuentran trazada dentro de las líneas de investigación de la estrategia de trabajo de los CGC [3], [4].

En cuanto a las líneas de interés para establecer vínculos de trabajo entre ambos sectores se manifiesta mayor inclinación por la búsqueda de información sobre tecnologías líderes para la competitividad de su empresa, el mejoramiento de los indicadores económicos, energéticos, de calidad o ambientales, propuestas para la generación de ambientes creativos que fortalezcan trabajos en equipos, ejecución de proyectos, participación en eventos, desarrollar actividades de cooperación en cuanto a la superación y preparación de los recursos humanos mediante cursos, entrenamientos, especializaciones, diplomados, maestrías, etc. Posibilidades de comercializar el producto generado en los CGC a ciclo completo.

El objetivo de la vinculación de la universidad con la empresa debe partir de elevar la calidad de la investigación y la docencia universitaria, logrando integrar la universidad con las necesidades de la sociedad [1], [2].

No obstante, se resume que estas motivaciones unidad de la posibilidad de disponer de un financiamiento adecuado no bastan para llevar adelante el proceso de vinculación de la universidad y la empresa pues lograr transferir la tecnología desde la propia universidad hasta el sector empresarial depende además de otros factores que son extraordinariamente necesarios para el logro exitoso de este proceso, a saber, los siguientes elementos:

- Tener definida la misión en la universidad.
- Tener definidas las necesidades de la comunidad científica y las necesidades sociales.
- Disponibilidad de recursos.
- Tener un liderazgo emprendedor.
- Incentivar la actividad científica, investigativa y docente de profesores e investigadores.
- Existencia de buenas relaciones personales entre los miembros del sector empresarial y la universidad. Gestión para el logro del vínculo universidad- empresa [3].

Se ha hecho un análisis hasta aquí del estado actual de la gestión del conocimiento en el vínculo entre el sector de la agroindustria de la caña de azúcar y los centros de generación de conocimiento, específicamente de la universidad, así como del diagnóstico de las causas que originan que se

produzca esta situación. Se ha reflejado que existen limitantes o barreras que frenan este acercamiento pero que en la medida que se logre obtener una adecuada gestión para el establecimiento de vías y mecanismos que garanticen esta relación, se superará estas diferencias.

Para esto constituye una clave fundamental del éxito, el establecimiento de relaciones personales entre los actores que integran la comunidad científica que no solo descansarán sobre relaciones formales, burocráticas o contractuales, sino que estas descansen sobre la base del talento gerencial, requiriendo de personas bien entrenadas en la gestión tecnológica.

El éxito de esta vinculación pasa por un adecuado liderazgo de esta actividad, por ello es imprescindible en una acción prospectiva que los estudiantes universitarios vean en sus profesores a líderes científicos que con un importante papel en el vínculo universidad empresa ocupen un rol influyente en la Comunidad Científica [1], [2].

La transferencia de tecnología es un proceso negociado que implica el diálogo permanente, un ambiente de buena fe, excelentes relaciones interpersonales y una buena actitud del personal que dirige la actividad tanto en la empresa como en la universidad.

En aras de contribuir al incremento del vínculo universidad- empresa y que ayuden a revertir la situación actual de la industria de química y fermentativa, proponemos:

Fortalecer el desarrollo y formación de cuadros científicos desde la industria.

Clarificar el proceder para estos casos y el aporte específico de los tutores universitarios en este desempeño [4].

Por fortuna, como colectivo científico y de formación de doctores en Ingeniería Química, se ha acumulado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas una experiencia que nos permite extraer reglas generales, a continuación, vemos lo documentado:

1. En 1982 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de **“Modelación y optimización de un proceso tecnológico para la producción de cartón para ondular”**, [5] (González, 1982) realizada esencialmente desde la industria y tuvo como rasgo esencial el procesamiento matemático de datos del control de calidad y del control del proceso tecnológico, aportando a la ciencia en lo referente a los métodos y en lo cual el uso de los métodos estadísticos de planificación experimental [6] (Box-Wilson, 1951) [7] (Box y Hunter, 1961) [8] (Laflamme, 1969)., modelación matemática de procesos [9] (Himmelblau, 1970): y la optimización [10] (Foster; 1969) guiados por un procedimiento heurístico fueron esenciales en la intensificación [11] (Zscherpe y Hartmann, 1976) . Todo ello en un profundo conocimiento de la vivencia del proceso tecnológico del aspirante, aspecto que difícilmente se logra en un aspirante formado desde la universidad. Todo ello fiscalizado sistemáticamente al evaluar sus avances por el colectivo científico y con la inserción como colaboradores de estudiantes de pregrado.
2. En 1992 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de **“Alternativas tecnológicas y energéticas para la intensificación de la industria cerámica en Cuba”** [12] (Regalado, 1992), realizada esencialmente en la industria y que tuvo como rasgo esencial la intensificación de los sistemas energéticos con apoyo de diagramas heurísticos y de métodos matemáticos de optimización pues como se sabe, la función clave de la intensificación es la optimización, para lo cual los métodos estadísticos y la modelación matemática son esenciales [13] (Kafarov, 1976). Todo ello en un profundo conocimiento de la vivencia del proceso tecnológico del aspirante, aspecto que difícilmente se logra en un aspirante formado desde la universidad. Todo ello fiscalizado sistemáticamente al evaluar sus

avances por el colectivo científico y con la inserción como colaboradores de estudiantes de pregrado.

3. En 1994 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de **“Intensificación de los procesos tecnológicos de producción de Cerámica técnica”** [14] (Garcés, 1994), realizado totalmente en la industria y que tuvo como rasgo esencial la intensificación de los procesos tecnológicos con apoyo de diagramas heurísticos y de métodos matemáticos de estudio de mezclas de componentes [15] Gorman y Hinman, 1962) aplicados a estudios concretos [16] (Garcés, et al 1995a) y [17] (Garcés, et al 1995b) para materiales cerámicos pues la mezcla de materiales y las óptimas condiciones de tratamiento en los hornos cerámicos es la clave de la calidad de estos productos que ahorran cuantiosos recursos tanto para la industria eléctrica como para la propia industria química. Todo ello en un profundo conocimiento de la vivencia del proceso tecnológico del aspirante, aspecto que difícilmente se logra en un aspirante formado desde la universidad Todo ello fiscalizado sistemáticamente al evaluar sus avances por el colectivo científico y con la inserción como colaboradores de estudiantes de pregrado.
4. En 1996 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de **“Alternativas de utilización de las materias primas para la producción de vidrio en la Empresa de Vidrio de Las Tunas”** [18] (Borges, 1996), realizado totalmente en la industria y que tuvo como rasgo esencial la aplicación de un procedimiento heurístico que incluyo la selección de variables mediante el método de análisis de sistemas multivariados [19] (Isaccson, 1970) en específico el de [20] Plackett Bürman (1946) y estudio de optimización de las mezclas [21] (Scheffe 1958) de componentes de vidrio roto y arenas para lograr mínimos costos totales de producción con las calidades requeridas [22] (Borges et al, 1995) y considerando los aspectos de optimizar mezclas componentes no solo desde el punto de vista técnico, sino también económico debido al peso que en la solución del problema tuvo el conocido problema del transporte [23] (Dantzig, 1963) todo ello mediante métodos matemáticos de optimización del transporte en vínculo con los estudios de mezcla de materias primas para vidrios. Todo ello en un profundo conocimiento de la vivencia del proceso tecnológico del aspirante, aspecto que difícilmente se logra en un aspirante formado desde la universidad. Todo ello fiscalizado sistemáticamente al evaluar sus avances por el colectivo científico y con la inserción como colaboradores de estudiantes de pregrado.
5. En el 2008 se defendió el gradocientífico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de **“Estrategia de reconversión de una instalación de la industria química”** [24] (González, 2008), realizado totalmente en la industria y que apoyado en un procedimiento heurístico trabajo con la representación matemática no solo del proceso tecnológico global, sino también el impacto de las inversión, es de forma cuantitativa para incrementar la eficiencia del proceso tecnológico todo con apoyo de métodos matemáticos de modelación estadística de los procesos industriales [25] (Cardoso. 1993) y la esperanza matemática para la incertidumbre en las inversiones [26] (González, 2005). Todo ello en un profundo conocimiento de la vivencia del proceso tecnológico del aspirante, aspecto que difícilmente se logra en un aspirante formado desde la Universidad. Todo ello fiscalizado sistemáticamente al evaluar sus avances por el colectivo científico y con la inserción como colaboradores de estudiantes de pregrado.
6. En el 2019 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de: **“Gestión de la tecnología y la innovación y su integración con el análisis complejo de**

procesos en la ronera central” [27] (Guzmán, 2019) utilizando en los procesos los métodos matemáticos de consideración de la incertidumbre en los procesos industriales [28] (Rudd-Watson, 1968) y de intensificación de procesos industriales de simulación de procesos y optimización [26] (González et al, 1968). Todo ello en un profundo conocimiento integral de la vivencia del proceso tecnológico de la aspirante, aspecto que difícilmente se logra en un aspirante formado desde la universidad.

7. En el 2020 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de: **Modelación Cinética y Optimización del Añejamiento en la Industria Ronera Cubana aplicados al Ron Cubay**. [29] (Martí, 2020) aplicando sólidos procedimientos matemáticos de obtención de la cinética de las reacciones químicas mediante el procesamiento de datos del control operacional [30] (Martí et al., 2019) que se reflejan en la contribución de la ingeniería de las reacciones químicas al desarrollo de nuevos procesos industriales [31] (González et al., 2019); así como el uso de la Programación Lineal en los procesos industriales [32] (Fleites et al., 2020). Incluyendo en el estudio un profundo conocimiento de las características y requisitos de la producción del Ron propio de un Maestro Ronero.
8. En el 2023 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, en la temática de **“Procedimiento para el aumento de la Capacidad Tecnológica de la producción de líquido asfáltico en la refinería de petróleo “Sergio Soto”,** realizado totalmente en la industria y que apoyado en un procedimiento heurístico de trabajo [33] (Bonachea et al; 2021 a) y con la aplicación de métodos matemáticos de Programación Lineal para la optimización de la integración material y energética de procesos industriales [34] (Garrison, et al, 1996) aplicado directamente en la instalación. [35] (Bonachea et al; 2021b) con el respaldo de su profundo conocimiento de este sector industrial.
9. En el 2023 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, en la temática de **“Estrategia inversionista, considerando incertidumbre, para garantizar la producción de líquido asfáltico en la refinería de Cabaiguán”,** [36] (Hurtado, 2021) realizado totalmente en la industria y que apoyado en un procedimiento heurístico de trabajo y con la representación matemática de las probabilidad de trabajo sin fallos [37] (Morales y González, 2017) permitió con apoyo de la poderosa herramienta que es la Programación Lineal [32] (Fleites et al., 2020) y el uso de la Esperanza matemática [15] (González, 2005) para determinar el orden de ejecución de las alternativas inversionistas e incrementar la disponibilidad anual de la instalación.

De estos resultados alcanzados se desprenden los siguientes rasgos generales:

- La génesis de todas las investigaciones a que respaldaron las tesis doctorales fueron problemas del desarrollo y operación eficiente de la empresa y era obligación laboral de los aspirantes trabajar en su solución.
- Procedimiento heurístico del trabajo, aportado por la UCLV a través del tutor y de la escuela de formación de doctores del Departamento de Ingeniería Química;
- Aplicación de métodos matemáticos de planificación de experimentos, procesamiento de datos y optimización de procesos como herramientas para acelerar los resultados de la investigación y respaldar la propuesta de resultados mediante las posibilidades de las abstracciones matemáticas y garantiza con el procedimiento heurístico por un lado la novedad científica y por otro la propuesta de recomendaciones de beneficio al problema social.

- La inserción de estudiantes de pregrado como colaboradores científicos
- Un riguroso sistema de control con oponencia por parte del colectivo científico Departamento
- Un profundo conocimiento del mundo tecnológico en el cual se desarrolló la investigación aportado por el aspirante.
- A formación de doctores desde la industria puede ser un arma poderosa para la introducción de los resultados de la Ciencia y la Tecnología.

De acuerdo a esta experiencia y con la intención de lograr resultados equivalentes se trabaja en este momento en tesis doctorales desde la industria, intentado cumplir con estos requisitos, saber:

- La optimización de etapas claves de las tecnologías de producción
- Los cambios tecnológicos requeridos para diferentes producciones en la industria.
- La estrategia inversionista minimizando el riesgo en la industria de procesos.

En todos los casos se trabaja con directivos de las empresas dando respuesta a las necesidades de formar no solo doctores en la industria sino también favoreciendo su formación entre directivos como una vía de transmitir el método científico a la producción.

3. Conclusiones

Existieron condiciones comunes entre los doctores formados históricamente en Ingeniería Química desde las industrias químicas y fermentativas.

Los procedimientos heurísticos y la aplicación de los métodos matemáticos han sido base de la sostenibilidad científica de todos los trabajos realizados.

La génesis de todos los doctorados defendidos desde profesionales de las industrias han sido problemas reales de demandas del mundo empresarial y ha cumplido de los requisitos que se formulan para la investigación científica de los Problemas Sociales de las Ciencias.

En todos los casos los doctorandos que han defendido exitosamente han tenido un alto prestigio profesional, dominio de las tecnologías en estudio y responsabilidades en la conducción de las labores en las empresas.

Referencias

- [1] González Suárez Erenio, Miño Valdés Juan E., Concepción Toledo Diana N., (2018). **El valor intangible de las consultoras desde la universidad en el desarrollo de la industria química**. Rev Científica Universidad y Sociedad. Vol. 10, Nro 4, julio–sept, Cienfuegos (2018), pág.97-102, ISSN 2218-3620.
- [2] Concepción Toledo Diana N., (2015). **Estrategia para la preparación en gestión del conocimiento de la comunidad científica de la industria de la caña de azúcar mediante el vínculo universidad-empresa**. Tesis en opción al Grado Científico de Doctora en Ciencias de la Educación. Univ. Central de las Villas, Cuba.
- [3] Concepción Toledo, D. N., González Suárez, E., García Prado, R. A., Miño Valdés, J.E. (2019) **Metodología de la investigación: Origen y construcción de una tesis doctoral** . Revista Científica de la UCSA. Vol 6 Nro 1. Abril de 2019. 76-87Doi: 10.18004/ucsa/2409-8752/2016.003(02)058-067.
- [4] Concepción Toledo, Diana Niurka Erenio González Suarez, Víctor González Morales, Lázaro Guerrero Fernández. (2013). **La organización de la gestión del conocimiento desde el vínculo universidad empresa**. Centro Azúcar, 40, (4). 46-50. Octubre-diciembre, ISSN 2223-4861. Referenciada en: CITMA, DOAJ, Latindex, Cuba Ciencias, Fuente Académica, Informe Académico. Vol. 40 año 2013.
- [5] González Suárez, E. (1982). **Modelación y optimización de un proceso tecnológico para la producción de cartón para ondular**. (Tesis doctoral). Universidad Central de Las Villas.

- [6] Box, G. E. P. y Wilson, K.B., (1951). "On the Experimental Design Attainment of optimum Condition" Journal Rev.Stat.Soc.(13). Disponible en : [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwit8aG797_9AhWwLEQIHVYVDBYQQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.scrip.org%2F\(S\(i43dyn45teexjx455q1t3d2q\)\)%2Freference%2FReferencesPapers.aspx%3FReferenceID%3D2520762&usg=AOvVaw32-K0F5CzxQ64MAHCl35a3](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwit8aG797_9AhWwLEQIHVYVDBYQQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.scrip.org%2F(S(i43dyn45teexjx455q1t3d2q))%2Freference%2FReferencesPapers.aspx%3FReferenceID%3D2520762&usg=AOvVaw32-K0F5CzxQ64MAHCl35a3)
- [7] Box, G. E. P. y Hunter, T.S. (1961). "The 2 k -p "Factorial Designs". Technometric (8): pp. 311- 352. Disponible en: [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Box%2C+G.+E.+P.+y+Hunter+%2C+T.S.+\(1961\)](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Box%2C+G.+E.+P.+y+Hunter+%2C+T.S.+(1961)).
- [8] Laflamme, J. (1969). **Simplex Lattice Desing** : use in evaluation of a three component wood system Pulp and Paper of Canada, 7376. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjwPWJkMD9AhVUm2oFHTc9DZsQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fagris.fao.org%2Fagris-search%2Fsearch.do%3FrecordID%3DUS201301226343&usg=AOvVaw1DH2ygytYDZAa-jVQR7mA>.
- [9] Himmelblau, D.M. (1970): "**Process Analysis by Statistical Methods**". New York, John Wiley & Sons, 1970, pag.3 Disponible: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjBzqfeiMD9AhV yHEQIHUNcBdsQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fdokumen.tips%2Fdocuments%2Fprocess-analysis-by-statistical-methods-d-himmelblau.html&usg=AOvVaw0fyOhxQjL FnoVhjNmCF6AI>.
- [10] Foster, B. (1969). **Linear Programing: a method of determinig least cost blends or mixes papermaking**. TAPPI, 52 (9), 1558-1560. Disponible en: [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Foster,+B.+\(1969\).+Linear+Programing:+a+method+of+determinig+least+cost+](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Foster,+B.+(1969).+Linear+Programing:+a+method+of+determinig+least+cost+).
- [11] Zscherpe, J., & Hartmann, K. (1976). Anwendung systemverfahrens technischer methoden zur intensivierung chemischer anlagen dargestellt am beispiel einer synthesesanlage. Chemische Technik, 325-328.
- [12] Regalado Ciriano, N. (1992). **Alternativas tecnológicas y energéticas para la intensificación de la industria cerámica en Cuba**. (Tesis doctoral). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- [13] Kafarov, V. (1976). Cybernetic methods in Chemistry and Chemical Engineering. Moscow: MIR. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi8_OSGjcD9AhUViGoFHRc1DZ0QFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bucl.in%2Fcgi-bin%2Fkoha%2Fopac-tail.pl%3Fbiblionumber%3D24478&usg=AOvVaw2LGLSSWj4PhzyRI6vRMLKY.
- [14] Garcés, L. (1994). **Intensificación de los procesos tecnológicos de producción de Cerámica técnica**. (Tesis doctoral). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- [15] Gorman, J. W.; J. E. Hinman (1962): Simplex lattice desings for multicomponent system. Technometric, Vol 4 (4), Nov., En: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjf9teVhcD9AhXuPkQIHTXjB2YQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.jstor.org%2Fstable%2F1266284&usg=AOvVaw0hDvFeKaiyydUwclD0iyTn>
- [16] Garcés, E. González, N. Regalado. (1995a.). "**Determinación de la mejor composición de la mezcla para la producción de materiales en la producción de cerámica para aisladores**". Rev.Centro Azúcar. Año 22 (3), pag.65.
- [17] Garcés, L. E. González, N. Regalado.(1995b). **Determinación de la proporción óptima de la mezcla para la producción de cerámica antiácida**". Rev.Centro Azúcar. Año 22 (3), pag.84-89
- [18] Borges, A. (1996). **Alternativas de utilización de las materias primas para la producción de vidrio en la Empresa de Vidrio de Las Tunas**. (Tesis doctoral). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- [19] Isaccson, W. B.: (1970) "**Statistical Analyses for Multivariable Systems**". Chem Eng., (6): 69-75.
- [20] Plackett, R. L.– J. P. Burman. (1946.): The design of optimun multifactorial experiments. Biometrika, 33: pag. 305-325, Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjCqZnTmMD9AhVunWoFHTOSDdAQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.jstor.org%2Fstable%2Fpdf%2F2332195.pdf&usg=AOvVaw0XVgziKYX60ZreA1xVtWdn>
- [21] Scheffe, H. (1958)" Experiment with mixture". Journal of Royal Statistical Society". Vol. 20. 311 360.

- [22] Borges, A., E. González, N. Regalado (1995). **Determinación del porcentaje permisible de vidrio roto en la minimización de los consumos de combustible en un horno de vidrio**. Centro Azúcar. Año 22, (3) Septiembre-Diciembre, 1995.75 76. Disponible en: [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Borges,+A.,+E.+Gonz%C3%A1lez,+N.+Regalado+\(1995\).](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Borges,+A.,+E.+Gonz%C3%A1lez,+N.+Regalado+(1995).)
- [23] Dantzig G. B., (1963) *Linear Programming and Extensions*, Princeton University Press, Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiZ5JHg-9AhXyk2oFHeMJC1wQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.rand.org%2Fcontent%2Fdam%2Frand%2Fpubs%2Freports%2F2007%2FR366part1.pdf.&usg=AOvVaw2WDC2uJ2NwZn3EY8u9JAIL>
- [24] González Suárez, E. (2008). **Estrategia de reconversión de una instalación de lándustria química**. (Tesis doctoral). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- [25] Cardoso, G. (1993). **Contribución a la modelación estadística de procesos de la Industria Química**. **Disertación**. UCLV.
- [26] González E. (Editor). **Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria química, fermentativa y farmacéutica**. Edit.Cient.Téc., La Habana, 2005, pag 263. -ISBN 959 05-0377-2. Disponible en: <https://isbn.cloud/en/9789590503771/vias-para-el-diseno-de-nuevas-instalaciones-de-la-industria-de-procesos-quimicos-fermentativos-y/>
- [27] Guzmán Villavicencio, M. (2019). **Gestión de la tecnología y la innovación y su integración con el análisis complejo de procesos en la ronera central**. (Tesis doctoral). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- [28] Rudd D. y C. Watson (1968) **Strategy of Process Engineering**. McGraw Hill. NY Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiF243xmMD9AhV9l2oFHS0dDScQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.amazon.com%2FStrategy-Process-Engineering-Dale-Rudd%2Fdp%2F0471744557&usg=AOvVaw2sIA2Zoz6cf0H0E5F21C3Y>
- [29] Martí Marcelo; Cesar (2020). **Modelación Cinética y Optimización del Añejamiento en la Industria Ronera Cubana aplicados al Ron Cubay**, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- [30] Martí Marcelo, C.A., J.A Fabelo Falcón, E. González Suárez y Y. Rodríguez Padrón (2019). **Metodología para la obtención de los modelos cinéticos de reacciones complejas en añejamientos de bebidas espirituosas**. **AFINIDAD LXXVII, 587-590** Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjGsZHxkMD9AhUP12oFHbYXDjAQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Faco.cat%2Findex.php%2Fafinidad%2Farticle%2Fview%2F367902&usg=AOvVaw3bf5BS0ahQio9MIWyeXrcE>
- [31] González Suárez Erenio, Juan Esteban Miño Valdés, Omar Pérez Navarro. (2019). **“Contribución de la Ingeniería de las Reacciones Químicas al desarrollo de nuevos procesos industriales”**. EdUNaM. ISBN: 978-987-86-2098-5, Posadas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12219/3003>.
- [32] Fleites Ávila, Y., C A Martí Marcelo, Y. Albernas Carvajal, J. E. Miño Valdés E. González Suárez (2020). **Experiencias de las aplicaciones de la programación lineal en la industria de procesos químicos en Cuba**. *Revista Centro Azúcar*. Vol. 47 (4), octubre-diciembre del 2020 Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjNqZSO_b_9AhVVKkQIHSjoDN0QFnoECAsQAQ&url=http%3A%2F%2Fcentroazucar.uclv.edu.cu%2Findex.php%2Fcentro_azucar%2Farticle%2Fview%2F634&usg=AOvVaw04do125GW3Jnis0FeLvjMs
- [33] Bonachea Crespo, Mijail Omar Pérez Navarro y Julio Pedraza Gárciga (2021a) **Procedimiento de evaluación y adaptación de tecnología para el incremento de la producción de líquido asfáltico** Centro Azúcar 3/pp.98-107. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v48n3/2223-4861-caz-48-03-98.pdf>
- [34] Garrison, G.W.; H.D. Spriggs, M. M. El - Halwagi (1996) **"A Global Approach to Integrating Environmental, Energy, Economics, and Technological Objectives"**. The 5 th World Congress of Chemical Engineering" California, USA, July.
- [35] Bonachea Crespo, M., & Hernández Tousef, J. P., & Pérez Navarro (2021b) **Análisis y diseño de la red de intercambiadores de calor en una refinería de petróleo**. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(S3), 584 591. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2524>

- [36] Hurtado Alemán Lester (2021). **Estrategia inversionista, considerando incertidumbre, para garantizar la producción de líquido asfáltico en la Refinería de Cabaiguán**. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- [37] Morales-Zamora Marlén. Erenio González-Suárez. (2017) **Evaluación de la fiabilidad en una industria diversificada a partir de la reconversión de sus instalaciones**. Tecnología Química, ISSN2224- 6185, Vol XXXVII, Número 1, 5-15 Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjvubT5IMD9AhUXRjABHR-QD-QFnoECAoQAQ&url=http%3A%2F%2Fscielo.sld.cu%2Fscielo.php%3Fscript%3Dsci_arttext%26pid%3DS2224-61852017000100001&usg=AOvVaw3oGLvfFvDk5mQV16ORLF9I.