



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN SISTEMA DE COSTEO BASADO EN TIEMPO DE  
ACTIVIDAD (TDABC) APLICADO A UN LABORATORIO QUÍMICO DE UN CENTRO DE  
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (CI+D) EN LA INDUSTRIA DE CEMENTO**

**Juan Francisco Chajón Villatoro**

Asesorado por el M. A. Ing. Byron Alfredo Quiñónez Figueroa

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN SISTEMA DE COSTEO BASADO EN TIEMPO DE  
ACTIVIDAD (TDABC) APLICADO A UN LABORATORIO QUÍMICO DE UN CENTRO DE  
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (CI+D) EN LA INDUSTRIA DE CEMENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JUAN FRANCISCO CHAJÓN VILLATORO**

ASESORADO POR EL M. A. ING. BYRON ALFREDO QUIÑÓNEZ FIGUEROA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN SISTEMA DE COSTEO BASADO EN TIEMPO DE ACTIVIDAD (TDABC) APLICADO A UN LABORATORIO QUÍMICO DE UN CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (CI+D) EN LA INDUSTRIA DE CEMENTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 7 de noviembre de 2016.



**Juan Francisco Chajón Villatoro**

Guatemala, 26 de febrero de 2019.

Director:  
Carlos Salvador Wong Davi  
Escuela de Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Director:

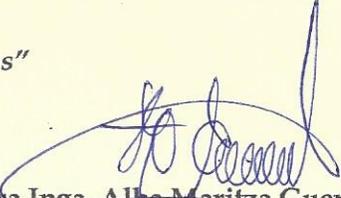
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Juan Francisco Chajón Villatoro** carné número **201114627**, quien optó la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Artes en Gestión Industrial**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestro Ing. Byron Alfredo Quiñonez F.  
Asesor(a)

  
Doctora Inga. Alba Maritza Guerrero S.  
Coordinadora de Área  
Gestión de Servicios



M.A. Byron Alfredo Quiñonez Figueroa  
Ingeniero Químico  
Colegiado No.1,132

  
Maestro Ing. Edgar Darío Álvarez Cortés  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería



Cc archivo/LZ.L.A.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



Ref.EIQ.TG.033.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería del estudiante, **JUAN FRANCISCO CHAJÓN VILLATORO**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en GESTIÓN INDUSTRIAL** titulado **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN SISTEMA DE COSTEO BASADO EN TIEMPO DE ACTIVIDAD (TDABC) APLICADO A UN LABORATORIO QUÍMICO DE UN CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (CI+D) EN LA INDUSTRIA DE CEMENTO"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, mayo de 2019

**FACULTAD DE INGENIERIA USAC**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**  
**DIRECTOR**

Cc: Archivo  
CSWD/ale



Universidad de San Carlos  
de Guatemala

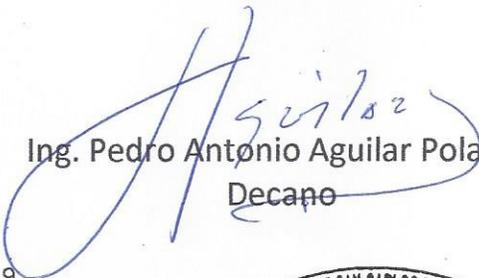


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 225.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UN SISTEMA DE COSTEO BASADO EN TIEMPO DE ACTIVIDAD (TDABC) APLICADO A UN LABORATORIO QUÍMICO DE UN CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (CI+D) EN LA INDUSTRIA DE CEMENTO**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Francisco Chajón Villatoro**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, mayo de 2019

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la capacidad de razonar y cuestionar mi entorno.
<b>Mis padres</b>	Ana Carolina Villatoro Castillo y Gustavo Alberto Chajón Girón, por criarme con amor y pensamiento crítico.
<b>Mis hermanas</b>	Carmen María Chajón Villatoro y Natalia María Chajón Villatoro, por ser mi inspiración para ser mejor cada día.
<b>Mis abuelos</b>	Carmen Estela Castillo Santos, Alvaro Arturo Villatoro Herrera, por ser un ejemplo de amor.
<b>Mi familia</b>	En especial a Julito y a Álvaro, por darme su amor y apoyo en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Mi *alma mater*, por darme el privilegio de recibir educación superior gratuita y pública en Guatemala.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser un foco de desarrollo de ciencia y tecnología.

**Escuela de Ingeniería  
Química**

Por cada prueba que puso en mi camino.

**Madre**

Ana Carolina Villatoro Castillo, por ser ejemplo de trabajo, de perseverancia y de fe para cada prueba.

**Abuelo**

Alvaro Arturo Villatoro Herrera, por enseñarme el valor del trabajo, de la familia y de la vida a través del tiempo.

**Mi novia**

Mariela Fernanda Juárez López, porque la vida me permitió encontrarte aquí, con un amor hecho a la medida para mí, hiciste de cada momento de lucha uno agradable, te amo.

**Mis amigos**

Emilia, Mario, Melissa, Jose Jorge, Daniel, Pablo, Obed, Carlos y a todos los demás, por ser más que compañeros de estudio, con Uds. aprendí que mientras más diverso es el grupo más rico en experiencias se vuelve.

**Departamento de  
Matemática**

Por darme mi primer trabajo, mi primera oportunidad de ser parte activa del desarrollo de la educación en Guatemala.

**Cementos Progreso**

Por darme los medios y recursos para desarrollar mis competencias como ingeniero en investigación, control de calidad y asesoría técnica.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
3.1. Descripción del problema .....	11
3.2. Formulación del problema .....	12
3.3. Preguntas auxiliares de investigación .....	12
3.4. Delimitación del problema.....	13
3.5. Viabilidad.....	13
4. JUSTIFICACIÓN .....	15
5. OBJETIVOS .....	17
5.1. General .....	17
5.2. Específicos.....	17
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	19
7. MARCO TEÓRICO .....	21
7.1. Cemento.....	21

7.1.1.	Cemento Portland.....	21
7.1.2.	Cemento adicionado ( <i>blended</i> ) .....	22
7.1.3.	Clinker.....	22
7.2.	Cemento en la economía.....	23
7.2.1.	Indicadores globales referentes al cemento.....	23
7.2.2.	Indicadores latinoamericanos referentes a cemento .....	25
7.2.3.	Indicadores económicos latinoamericanos .....	27
7.2.4.	El mercado del cemento en Guatemala .....	29
7.3.	Investigación y desarrollo .....	32
7.3.1.	Panorama mundial de la investigación.....	32
7.3.2.	Situación crítica en avances científicos y tecnológicos en Guatemala .....	35
7.3.2.1.	Plan K'atún .....	35
7.3.2.2.	Cienciometría .....	36
7.3.2.3.	Patentes .....	38
7.4.	Servicios del Centro de Investigación CI+D .....	42
7.4.1.	Azul de metileno .....	43
7.4.2.	Cal disponible .....	43
7.4.3.	Calor de hidratación de cemento.....	44
7.4.4.	Determinación de CaCO <sub>3</sub> equivalente .....	44
7.4.5.	Determinación de tamaño y forma de partícula (PSD) .....	44
7.4.6.	Determinación de CO <sub>2</sub> .....	45
7.4.7.	Determinación de color.....	45
7.4.8.	Fases de minerales por difracción de rayos X (XRD).....	46
7.4.9.	Óxidos generales por fluorescencia de rayos X (XRF) .....	46

7.4.10.	Determinación de humedad relativa.....	47
7.4.11.	Índice de apagado de cal viva .....	47
7.4.12.	Pérdida al fuego (LOI) .....	47
7.4.13.	Determinación de pH.....	48
7.4.14.	Reactividad Álcali-Carbonato (RAC) .....	48
7.4.15.	Reactividad Álcali-Sílice para agregados de concreto (RAS) .....	49
7.4.16.	Residuo Insoluble (RI) .....	49
7.4.17.	Sulfatos solubles en agua.....	49
7.4.18.	Análisis termogravimétrico.....	50
7.5.	Costos .....	50
7.5.1.	Costos de producción .....	50
7.5.1.1.	Costos directos.....	51
7.5.1.2.	Costos indirectos .....	51
7.5.2.	Sistemas tradicionales de costeo .....	51
7.5.3.	Costeo basado en actividades (ABC).....	53
7.5.3.1.	Conceptos básicos del ABC.....	53
7.5.3.2.	Cuatro fases para el diseño de un sistema de costeo ABC .....	54
7.5.3.3.	Deficiencias del ABC.....	55
7.5.4.	Sistema de costeo basado en tiempo de actividades (TDABC) .....	56
7.5.4.1.	Costos de capacidad suministrada .....	58
7.5.4.2.	Capacidad práctica de los recursos .....	58
7.5.4.3.	Coeficiente de costo por actividad .....	59
7.5.4.4.	Tiempo (como inductor de costo).....	59
7.5.4.5.	Ecuaciones temporales .....	59
7.5.4.6.	Importe de actividades en los costos ...	60

7.5.4.7.	Etapas para el diseño de un sistema de costeo TDABC.....	60
7.5.4.8.	Deficiencias del costeo tradicional en comparación con el sistema de costos basado en tiempo de actividades TDABC .....	61
8.	ÍNDICE PROPUESTO .....	63
9.	METODOLOGÍA .....	67
9.1.	Variables a utilizar en la investigación.....	68
9.2.	Fases de investigación .....	69
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	75
11.	CRONOGRAMA .....	77
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	79
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	81
	APÉNDICES .....	85

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Demanda de cemento global (2002-2013E).....	24
2.	Evolución de la demanda global de cemento (2002-2013E) .....	24
3.	Consumo mundial de cemento <i>per cápita</i> (2012) .....	25
4.	Consumo latinoamericano de cemento <i>per cápita</i> (2012).....	26
5.	PIB Total 2012 (US \$ Miles de millones).....	27
6.	Aporte de la construcción al PIB en Guatemala (porcentaje anual) .....	28
7.	Evolución del volumen de las importaciones y exportaciones guatemaltecas de cemento (toneladas) .....	29
8.	Proyección de urbanización en Guatemala.....	31
9.	Relación entre la gobernanza y la producción científica mundial .....	32
10.	Puntaje de Guatemala en cada uno de los pilares de la innovación (0–100) utilizados para calcular el índice mundial de innovación .....	33
11.	Gasto en I+D como porcentaje del PIB para un conjunto de países centroamericanos y de otras regiones. 1996–2014 .....	34
12.	Número de artículos científicos publicados por autores de Guatemala en revistas especializadas registradas en el SCI, SSCI y A&HCI por millón de habitantes. 1970–2015 .....	37
13.	Número de patentes en países comparables a Guatemala (15 a 17 millones de habitantes). 1960–2014.....	38
14.	Cronograma de actividades.....	77

## TABLAS

I.	Países clientes de cemento de Guatemala en 2011.....	30
II.	Objetivos para los ejes principales de la Política Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico 2015–2032.....	40
III.	Componentes del análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) del sistema de investigación e innovación en Guatemala.....	41
IV.	Operativización de variables .....	69
V.	Cálculo de la muestra .....	73
VI.	Presupuesto.....	80

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\sigma$	Desviación estándar
$m^2$	Metro cuadrado
<i>e</i>	Ordenados alfabéticamente; siglas en glosario
%	Porcentaje
Q	Quetzales
Q/min	Quetzales por minuto
<i>n</i>	Tamaño de la muestra
Z	Tipificación del nivel de confianza en una distribución normal



## GLOSARIO

<b><i>Benchmark</i></b>	Herramienta que compara el desempeño de las empresas, a través de la métrica por variables, indicadores y coeficientes.
<b>Cemento</b>	Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que, mezclada con agua u otra sustancia, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire.
<b>Cemento Portland</b>	Cemento compuesto a base de <i>clinker</i> y yeso.
<b>CI+D</b>	Centro de Investigación y Desarrollo.
<b><i>Clinker</i></b>	Producto a base de caliza y arcilla producido en horno a 1 350 °C que se muele para fabricar el cemento Portland.
<b>Costeo ABC</b>	Costeo basado por actividades (por sus siglas en inglés).
<b>Costeo TDABC</b>	Costeo basado en tiempo de actividad (por sus siglas en inglés).
<b>Costos</b>	Gasto económico que representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio.

<b>LATAM</b>	Latinoamérica.
<b>LOI</b>	Pérdida al fuego (por sus siglas en inglés).
<b>Patentes</b>	Conjunto de derechos exclusivos concedidos por un Estado al inventor de un nuevo producto o tecnología, susceptibles de ser explotados comercialmente por un período limitado de tiempo, a cambio de la divulgación de la invención.
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto.
<b>PSD</b>	Distribución de tamaño de partículas (por sus siglas en inglés).
<b>Sistemas de costeo</b>	Sistemas que generan información del costo de bienes o servicios para establecer los precios del producto, controlar las operaciones y desarrollar estados financieros.
<b>TGA</b>	Análisis termo-gravimétrico (por sus siglas en inglés).
<b>UNESCO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (por sus siglas en inglés).
<b>XRD</b>	Difracción de rayos X (por sus siglas en inglés).
<b>XRF</b>	Fluorescencia de Rayos X (por sus siglas en inglés).

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación propone un método innovador para determinar los costos de un laboratorio de investigación y desarrollo. Los métodos de costeo en sus inicios se asociaban con la cantidad de recursos físicos invertidos para producir un bien o un servicio. Las tendencias actuales de todos los sectores empresariales del mundo señalan que se debe cumplir con cierto estándar de calidad, servicio y precio para que un producto o servicio sea adquirido. Por ello se debe contar con información para monitorear los costos y así conocer si son rentables o no de acuerdo a las exigencias del mercado o industria.

En el laboratorio químico no existe un sistema de costeo formal donde se estipulen los costos fijos y variables de cada análisis y en menor medida en los proyectos de investigación. Desde su fundación, los costos del CI+D han sido subsidiados por la producción de cemento donde el enfoque inicial fue el monitoreo de la calidad y encontrar soluciones a problemas puntuales. A partir del 2012, el laboratorio tiene también la función de impulsar la investigación a través de nuevas tecnologías.

La importancia de la solución que propone este trabajo radica no solo en función del costo, se debe evaluar la oportunidad de liderar el mercado para ser líderes tecnológicos y promover una imagen de innovación a los clientes, a través de la determinación de la rentabilidad de las operaciones del laboratorio, ya que de esta manera se podrá proyectar el tiempo que tardará el CI+D en recuperar las inversiones propuestas y modelar el esquema de operación.

Los resultados esperados para esta investigación buscan explicar el valor agregado de un laboratorio químico dentro de un centro de investigación y desarrollo en la industria del cemento, así como la distribución de recursos físicos, humanos y económicos. Esto permitirá al laboratorio encontrar la asignación del costo a las actividades y al producto final, a través de la concreta asignación de costos fijos y variables para determinar la valoración de los servicios que puedan ofrecerse a los clientes externos.

El esquema de la solución que se ensayará en esta investigación propone realizar una fase indagadora donde se hará una revisión bibliográfica para fundamentar la investigación de administración de costos, para continuar en una fase demostrativa donde se procesará y analizará la información recopilada mediante encuestas y verificar la asignación de recursos a los distintos procesos, y así culminar en una fase expositiva donde se reportarán los resultados finales de la investigación.

En el primer capítulo del informe final se presentará el marco teórico de la investigación, en el que se ofrece una perspectiva teórica de la producción de cemento; así mismo se abordará información referente a un sistema de investigación y desarrollo de la región, junto con la importancia de establecer las operaciones de un laboratorio químico en esta industria. También se pondrá en contexto el proceso de generación de sistemas de costeo.

El segundo capítulo corresponde a la presentación de resultados, que comprende el diagnóstico inicial del laboratorio químico del CI+D, su misión, visión y tareas principales a cumplir, así como la propuesta del diseño de un sistema de costeo TDABC, los cuales serán desarrollados siguiendo las fases descritas en la metodología de enfoque mixto con un alcance descriptivo de corte transversal y diseño no experimental, aspectos enfocados al cumplimiento

de los objetivos específicos de este trabajo de graduación y el ensayo de la solución planteada.

En el tercer capítulo se discutirán los resultados obtenidos de la presente investigación.



## 2. ANTECEDENTES

Dentro de la industria cementera en Guatemala se fundó en 1996 el primer centro de investigación y desarrollo, con el objetivo primordial de evaluar los productos de la industria, desarrollar nueva tecnología y asegurar la calidad de productos y servicios relacionados con cemento y materiales de la construcción. Se invirtió en tecnología de punta y se definieron tarifas para los clientes internos, ahora el laboratorio se ha expandido de tal manera que está promoviendo sus servicios a clientes externos y para esto necesita desarrollar un sistema de costos que le permita ser competitivo en el mercado, así como una estrategia para una futura independencia financiera de la corporación en la que se desempeña.

Dentro de la industria de cemento, en este tipo de laboratorios los ensayos más representativos han sido físicas indirectas relacionadas a la medición de tamaño de partícula por tamices, área superficial por permeabilidad de aire y resistencia a la compresión de morteros o cilindros de concreto (Kosmatka, 2004, p.18).

Derivado de mejoras tecnológicas se incorpora el análisis químico, con ensayos como calorimetría, fluorescencia y difracción de rayos X, termogravimetría, análisis fotográfico de tamaño de partícula, entre otros. Debido a la expansión del enfoque operativo hacia la investigación y venta de servicios a clientes externos, se hace necesario realizar un estudio financiero de la estructura del laboratorio y del CI+D, para lo cual se diseñará un sistema de costeo basado en tiempo de actividades para encontrar el costo de insumos,

recursos, áreas relacionadas y actividades para crear una herramienta que aporte valor a la planeación estratégica del CI+D.

Existen diversos casos de aplicación de sistema de costeo aplicados en la industria, en los cuales se evidencia la ineficacia del sistema de costeo tradicional, la dificultad de implementación del sistema ABC y el éxito en la implementación del sistema TDABC.

Como ejemplo, una empresa vitivinícola chilena implementó un costeo ABC dando como resultados la imputación de costos fijos con base en el volumen de venta como única variable, y se definió que el sistema de costeo tradicional aumentó el costo de los vinos Cabernet en 200 %, demostrando su invalidez y la disminución del 50 % de rentabilidad en la línea cabernet al no ser subsidiada por vinos de menor calidad y mayor volumen de venta (Contreras & MacCawley, 2006, p.12).

El costeo utilizado por el CI+D se diseñó bajo la línea de costeo tradicional, por lo que se presume que, al igual que en el estudio mencionado, los costos de los ensayos del laboratorio podrían estar sobredimensionados, por lo que se empleará el análisis inicial de dicho estudio para determinar las variables a utilizar en esta investigación.

En cuanto a la industria guatemalteca, se desarrolló un estudio en una industria heladera llamada El Helado Frío, fundada en 1965, con una expansión de 30 heladerías a nivel nacional. Aplicando el costeo ABC se logró redistribuir los gastos indirectos en los costos totales donde solo se monitoreaba el costo de producción y se sugiere amarrar el costeo ABC al cuadro de mando integral (Méndez, 2006, p.21).

Este estudio abarca el marco legal en materia de asignación de costos según las leyes guatemaltecas del Ministerio de Trabajo, que se deben aplicar a los ensayos del laboratorio, por lo que se utilizará este marco legal para determinar las leyes patronales para el costo de las horas laboradas.

“Se realizó un estudio para la mediana empresa industrial mexicana que implementó el sistema de costos ABC, se analiza por qué las empresas adoptan este sistema” (López, Gómez y Marín, 2011, p.15), los problemas para su implementación y los beneficios conseguidos. Los resultados demuestran que la calidad de información financiera obtenida fue mejor y elevó la productividad de la empresa, en la implementación se detectó el alto costo de los servicios de asesoría y los beneficios repercuten en la reducción y precisión del costeo. De este estudio se extraerán buenas prácticas de implementación del sistema de costeo, como introducir a los empleados en el uso responsable del tiempo, como técnicas de monitoreo de costos, para su aplicación en el diseño del sistema de costeo para el laboratorio químico del CI+D.

En cuanto a la validez del sistema de costos basado en actividades radica en encontrar el costo de los servicios y su rentabilidad, para esto se determina cuántos recursos consume en insumos, recursos de maquinaria y fuerza humana y áreas relacionadas, con esto se determinarán los costos directos e indirectos de los ensayos previstos y el monitoreo de la rentabilidad de los mismos. En México se aplicó este sistema de costos a una clínica médica que ofrece servicios de hospitalización, cirugía, unidad de cuidados intensivos, laboratorio clínico, etc. No se contaba con información precisa acerca de los servicios ofrecidos y, al momento de la implementación, se desarrolló una hoja de costos definida para cada producto, un catálogo de los mismos, un coste directo e indirecto. Y con esto se definieron las fuentes de información financiera con informes de

análisis de rentabilidad de negocio y oportunidades de mejora. (Villegas, 2004, p.7).

En el CI+D existen diversos ensayos, por lo que la metodología implementada por Villegas se extraerá para priorizar los mismos en función de su recurrencia y rentabilidad.

Aunque el costeo tradicional haya sido diseñado para empresas manufactureras, ya se ha adaptado a empresas de servicios pese a algunos contadores creyentes del coste directo, que desmienten los beneficios del ABC e implican la búsqueda de un nuevo sistema de costeo para abordar la complejidad del sistema y el tiempo que se necesita para implementarlo (Vásquez, 1972, p.14).

Por eso se utilizará este estudio para exponer las razones por las que se vuelve impráctico y engorroso el costeo ABC, y por ende se procederá a utilizar otra metodología.

“Para abordar las falencias del sistema de costeo ABC, su mismo creador Robert Kaplan, así como Steve Anderson” (Kaplan, et al, 2008, p.15), rediseñaron el sistema para crear el sistema de costeo basado en tiempos de actividades TDABC, el cual aborda las falencias del ABC, por lo que será esta la metodología a utilizar para el desarrollo del sistema de costeo del laboratorio químico del CI+D en la presente investigación.

“Como caso de éxito se tiene en la industria guatemalteca la de especialidades químicas” (Calderón, 2014, p.22), donde se evaluaron los tiempos de producción de las actividades para su optimización, se determinaron los coeficientes de costo por actividad y se determinó la capacidad no usada y

rentabilidad real de los departamentos analizados, cuyo caso es similar al laboratorio en estudio. Se utilizará el estudio de Calderón para implementar la metodología de Kaplan y otros autores (2008), y así establecer los pasos a realizar para la toma de tiempos y mapeo de actividades dentro de los ensayos del laboratorio químico del CI+D.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Se desconoce la rentabilidad de los servicios que ofrece el laboratorio químico en el centro de investigación y desarrollo (CI+D) en la industria de cemento guatemalteca, tanto para clientes internos como para clientes externos.

#### **3.1. Descripción del problema**

En los últimos tres años el laboratorio del CI+D en la industria del cemento ha cambiado de medidas volumétricas a medidas digitales, por medio de equipos sofisticados más rápidos, precisos, exactos y trazables. Desde su fundación con la función de control de calidad e investigación y desarrollo, el laboratorio ha sido sustentado por la situación favorable del mercado. Con la entrada de nuevos competidores al mercado de cemento, todas las unidades de negocio, incluido el laboratorio, se ven en la obligación de cuidar y administrar mejor sus recursos sin descuidar la calidad de los mismos y buscar oportunidades de captación de recursos de forma independiente para ser sostenible.

En estos 3 años se ha invertido 3,0M\$ en equipo de análisis instrumental químico, que incluye equipo para realizar difracción y fluorescencia de rayos X, calorimetría, termogravimetría, entre otros.

Tradicionalmente esta área no ha tenido controles financieros estrictos como las áreas como producción o ventas. Hasta el momento en el laboratorio la logística para obtener las muestras, el tiempo de preparación de ellas, las

horas-hombre invertidas, horas-máquina, insumos utilizados, el tiempo de realización del informe final, son costeos que no se toman en cuenta para generar el coste del ensayo proporcionado y por ende no se conoce la rentabilidad de los análisis para los clientes internos ni para los clientes externos. Si no se conoce el costo real se corre el riesgo de subsidiar los servicios externos, no realizar un cobro efectivo y de esta manera sobrecargar los costos a la operación productiva.

### **3.2. Formulación del problema**

¿Qué sistema de costos se debe diseñar para determinar la rentabilidad total de la operación, servicios externos prestados y la labor de investigación y desarrollo en el laboratorio químico del centro de investigación y desarrollo (CI+D) en la industria del cemento?

### **3.3. Preguntas auxiliares de investigación**

- ¿Cómo están distribuidos los recursos físicos, humanos y económicos para los ensayos y actividades del laboratorio químico del CI+D y quiénes representan el mayor porcentaje de los costos de operación del mismo?
- ¿Qué factores se consideraron estratégicos para la migración de un laboratorio químico a convertirse en un CI+D en la industria del cemento guatemalteca?
- ¿Qué beneficios tendrá el diseño de un sistema de costos que determinará de mejor manera la rentabilidad y sustentabilidad de un laboratorio químico en un CI+D?

### **3.4. Delimitación del problema**

La investigación propuesta se llevará a cabo tomando todos los equipos, ensayos y personal del área química del laboratorio de control de calidad, investigación y desarrollo de la industria del cemento en la ciudad de Guatemala, en un período de tiempo de julio de 2018 a julio de 2019.

### **3.5. Viabilidad**

El laboratorio donde se llevará a cabo la investigación propuesta se encuentra en completa disposición de realizar el estudio, ya que la empresa poseedora del laboratorio de investigación y desarrollo buscará una propuesta de un sistema de costos que será aprovechable desde el punto de vista financiero.

La empresa se compromete a proporcionar la información observada o documentada y el acceso al laboratorio. Por confidencialidad se ha solicitado manejar la información bajo un nombre genérico: laboratorio de control de calidad/investigación y desarrollo.

De no realizarse este diseño de un sistema de costos se seguiría ignorando si existe rentabilidad en el laboratorio químico, no se podrá proyectar su control y por ende no podrá establecerse un plan estratégico de desarrollo económico sustentable para la operación del laboratorio, y a su vez se corre el riesgo de subsidiar los análisis del mismo a clientes externos.



## 4. JUSTIFICACIÓN

El trabajo de investigación propuesto para obtener el título de Maestro en Gestión Industrial por la Universidad de San Carlos de Guatemala se plantea en la línea de investigación de Evaluación Financiera de Problemas y la línea de investigación de Economía de la Investigación y Desarrollo Experimental, por parte de la Escuela de Ingeniería Química. En esta investigación se plantea una metodología para la valoración económica en el área de costos aplicada al aporte a la cadena de valor de la función de Investigación y Desarrollo para cuantificar su impacto financiero.

La importancia de la solución que propone esta investigación radica no solo en función del costo, se debe evaluar la oportunidad de liderar el mercado para ser líderes tecnológicos y promover una imagen de innovación a los clientes, a través de la determinación de la rentabilidad de las operaciones del laboratorio, ya que de esta manera se podrá proyectar el tiempo que tardará el CI+D en recuperar las inversiones propuestas y modelar el esquema de operación de los ensayos del laboratorio químico del CI+D.

La necesidad de realizar la presente investigación se fundamenta en generar una herramienta de costeo para garantizar la sostenibilidad y rentabilidad del laboratorio a través de un centro de investigación y desarrollo que se mantenga a la vanguardia en innovación tecnológica, desarrollo de productos y asesoría técnica para clientes externos e internos.

La motivación y el interés generado por este trabajo de investigación es la oportunidad que el investigador tiene de aplicar conocimientos de gestión industrial para desarrollar una solución sostenible y rentable, con mejoras que garanticen un precedente del manejo financiero de los costos de los servicios provistos por el laboratorio químico del CI+D.

Los aportes que generará esta investigación se fundamentan en generar un sistema para el control de costos del laboratorio del CI+D, una perspectiva de la productividad manejada en cada ensayo y su capacidad instalada.

El beneficio principal de la investigación propuesta se segmenta en la parte operativa y la parte administrativa. En la parte operativa, los analistas de laboratorio tendrán una perspectiva del manejo efectivo de su tiempo. En la parte administrativa la gerencia del laboratorio podrá identificar el costo de las operaciones, asignar de manera eficiente los recursos físicos, humanos y financieros del mismo, para posteriormente evaluar el futuro de las operaciones del CI+D.

La relevancia social de la investigación se encuentra en aplicar una metodología para diseñar un sistema de costos para cualquier área de una empresa de servicios, de esta manera se podrá hacer un análisis introspectivo de las operaciones para evaluar su sostenibilidad y rentabilidad a futuro.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Diseñar un sistema de costos para determinar la rentabilidad total de la operación, servicios externos prestados y de la labor de investigación y desarrollo en el laboratorio químico de un centro de investigación y desarrollo (CI+D) en la industria del cemento.

### **5.2. Específicos**

- Identificar cómo están distribuidos los recursos físicos, humanos y económicos para los ensayos y actividades del laboratorio químico del CI+D, y a su vez qué porcentaje de los costos de operación ocupan del mismo.
- Comprobar la importancia estratégica de los factores para la migración de un laboratorio químico a convertirse en un CI+D en la industria del cemento guatemalteca.
- Determinar los beneficios del diseño de un sistema de costos basado en tiempo de actividades (TDABC) para estipular la rentabilidad y sustentabilidad del laboratorio químico del CI+D.



## 6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La principal necesidad que se busca cubrir con la investigación propuesta es la falta de un sistema de costos para tener la perspectiva económica y utilizarla como herramienta en la planeación estratégica gerencial en un laboratorio de control de calidad, investigación y desarrollo en la industria de cemento. La función de CI+D debe aportar soluciones de ahorro o innovación y en el momento en que se desarrolla y se invierte en equipo de última generación se debe trazar un sistema de costos para asignar los costos reales de cada actividad realizada, y estos deben ser necesarios para sufragarse a sí mismos en el tiempo.

La solución propuesta goza de validez técnica, ya que nacional e internacionalmente se han implementado sistemas de costeo basados en tiempo de actividad, en que se analiza la perspectiva financiera junto con el mapeo de procesos que conlleva el estudio.

El esquema de solución que se utilizará para solucionar la problemática será el siguiente:

- Diagnóstico inicial: describir a través de entrevistas cerradas la importancia estratégica de los factores para la migración de un laboratorio químico a convertirse en un CI+D en la industria del cemento guatemalteca.

- Análisis de distribución de recursos: identificar cómo están distribuidos los recursos físicos, humanos y económicos para los ensayos y actividades del laboratorio químico del CI+D, y a su vez qué porcentaje de los costos de operación ocupan del mismo. Se identificarán y diagramarán los pasos de las actividades realizadas en los ensayos efectuados por el laboratorio.
- Determinación de la rentabilidad y sustentabilidad: con la información recopilada en el paso anterior se diseñará un sistema de costeo basado en tiempo de actividad a través del costeo de cada ensayo realizado en el laboratorio, en función del costo directo y del costo de las actividades para generar una herramienta de gestión para la alta gerencia, para justificar la inversión en el laboratorio de control de calidad/investigación y desarrollo.

## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Cemento

El cemento se puede definir como un material, natural o artificial, aglomerante con propiedades de adherencia y cohesión, con el que se pueden formar masas plásticas capaces de unir entre sí materiales sólidos para formar un material resistente y durable.

La definición es muy general y abarca una gran gama de materiales que lo único que tienen en común es su adhesividad, como lo son la cal, asfalto o el alquitrán. Por lo general la palabra cemento hace referencia a cementos calcáreos.

#### 7.1.1. Cemento Portland

El cemento Portland es un adhesivo hidráulico inorgánico, polifásico y artificial, compuesto principalmente de caliza, alúmina y sílice. Se obtiene a partir de la mezcla de *clinker* (propiedades hidráulicas) y yeso (retardante de fraguado). Esta mezcla debe cumplir la norma ASTM C-150 Standard Specification for Portland Cement (Especificación estándar para cemento Portland). Se clasifica en función de su aplicación en las siguientes categorías:

- Tipo I: destinado a obras en general, que le exigen propiedades especiales.
- Tipo II: destinado a obras expuestas a la acción moderada de los sulfatos y a obras en donde se requiere moderado calor de hidratación.

- Tipo III: desarrolla altas resistencias iniciales.
- Tipos IV: desarrolla bajo calor de hidratación.
- Tipo V: ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos.

### **7.1.2. Cemento adicionado (*blended*)**

Es un cemento consistente en dos o más ingredientes inorgánicos (al menos uno de los cuales no es cemento Portland o *clinker* Portland), que separadamente o combinados contribuyen a las propiedades de desarrollo o ganancia de resistencia del cemento, con o sin otros ingredientes, aditivos de proceso o aditivos funcionales. Los cementos hidráulicos adicionados pueden ser producidos por molienda conjunta o por otros procesos de mezclado (COGUANOR, 1977, p.125).

### **7.1.3. Clinker**

Principal componente del cemento Portland. Se produce a partir de la cocción en hornos rotatorios que alcanzan aproximadamente 1500°C, alimentados de una mezcla de caliza y arcillas ajustados con materiales correctivos para llegar a proporciones establecidas para una molienda y homogenización previa a la clinkerización en el horno, la cual luego de llevarse a cabo está compuesta principalmente de:

- Silicato tricálcico,  $C_3S$  (alita)
- Silicato di cálcico,  $C_2S$  (belita)
- Aluminato tricálcico,  $C_3A$
- Ferrita aluminato tetra cálcico,  $C_4AF$  (ferrita)

Minoritariamente compuestos de los siguientes materiales:

- Óxido de calcio, CaO
- Óxido de magnesio MgO
- Álcalis, K<sub>2</sub>O y Na<sub>2</sub>O
- Azufre
- Cloruros
- Fluoruros
- Fósforo
- Metales pesados

## **7.2. Cemento en la economía**

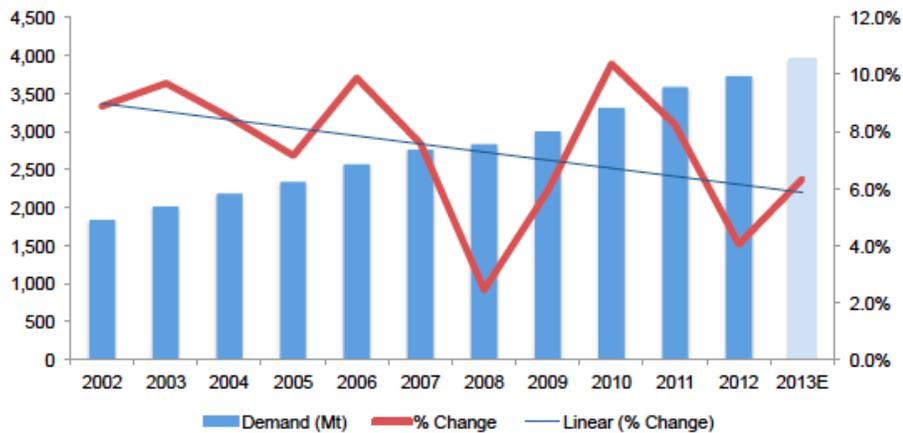
### **7.2.**

**7.2.** El cemento es un indicador mundial de desarrollo y su movimiento en el mercado no puede ser obviado por la economía mundial. El cemento es el insumo por excelencia de la industria de la construcción y para ello se deben observar variables como la oferta, la demanda y su influencia en el PIB de cada país.

### **7.2.1. Indicadores globales referentes al cemento**

A continuación se presenta la gráfica donde se describen los indicadores globales referentes al cemento.

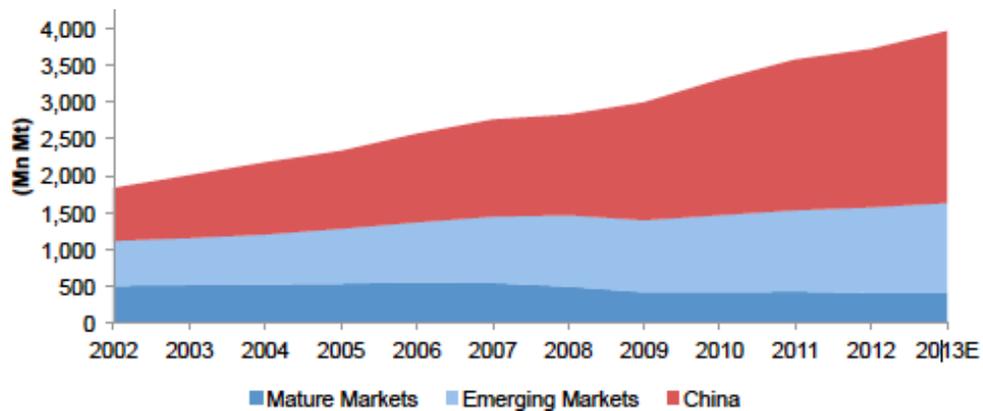
Figura 1. **Demanda de cemento global (2002-2013E)**



Fuente: Armstrong, T. (2013). *Global Cement Report*.

En el período 2002-2012, el cemento tuvo un crecimiento interanual de 4,0 %, donde el volumen total de la demanda de cemento se ha duplicado en la última década, de 1,8 billones de toneladas a 3,7 billones de toneladas.

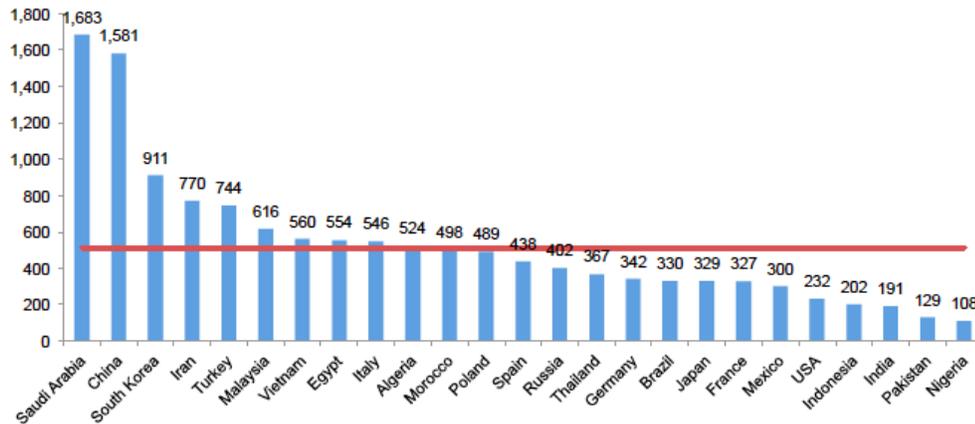
Figura 2. **Evolución de la demanda global de cemento (2002-2013E)**



Fuente: Armstrong, T. (2013). *Global Cement Report*.

En la figura 2 se aprecia la demanda a nivel global de la industria de cemento, dominada por China (58 %, 2012), país donde está en constante crecimiento, también muestra un crecimiento constante en los mercados emergentes (países en desarrollo) y una desaceleración en los mercados maduros (países desarrollados).

Figura 3. **Consumo mundial de cemento *per cápita* (2012)**



Fuente: Armstrong, T. (2013). *Global Cement Report*.

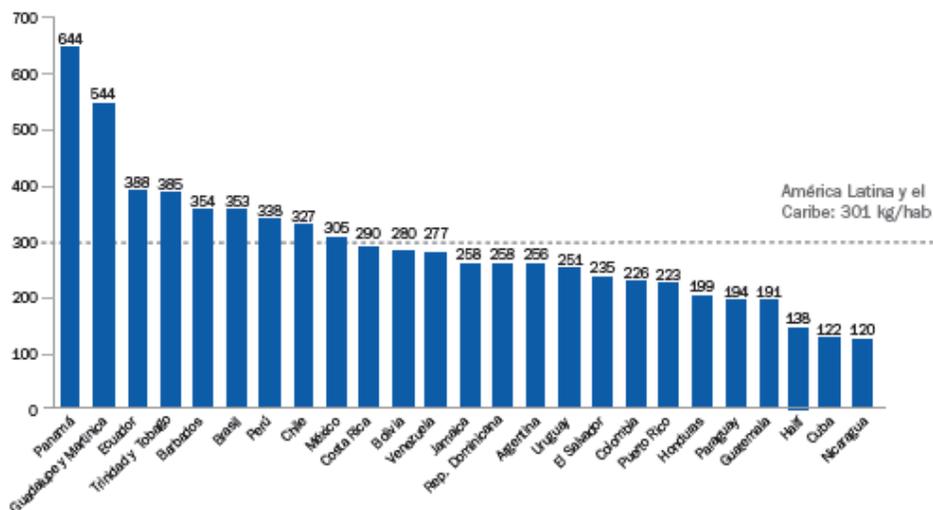
El indicador de consumo de cemento *per cápita* expresa en realidad la métrica de desarrollo de un país, como se muestra en la figura 6. Se puede observar una mezcla de países desarrollados como de países en vías de desarrollo. Puntuando la tabla al 2012 se encuentra Arabia Saudita, seguida por China con una línea roja que muestra la media global de este indicador.

### 7.2.2. Indicadores latinoamericanos referentes a cemento

Para el 2012 Latinoamérica ocurre de forma análoga al mundo donde existen países con una alta disponibilidad de canteras y regulaciones

gubernamentales más flexibles que impulsan la producción de cemento. En cuanto al consumo de cemento, está ligado al desarrollo del país y su inversión en el sector de construcción. “En Latinoamérica los países que más producen cemento son Brasil, México y Colombia” (FICEM, 2013, p.16), lo cual va ligado directamente a la extensión territorial y cantidad de habitantes. “En cuanto al consumo, son los mismos 3 países los que mayor cantidad de cemento consumen” (FICEM, 2013, p.16).

Figura 4. **Consumo latinoamericano de cemento *per cápita* (2012)**



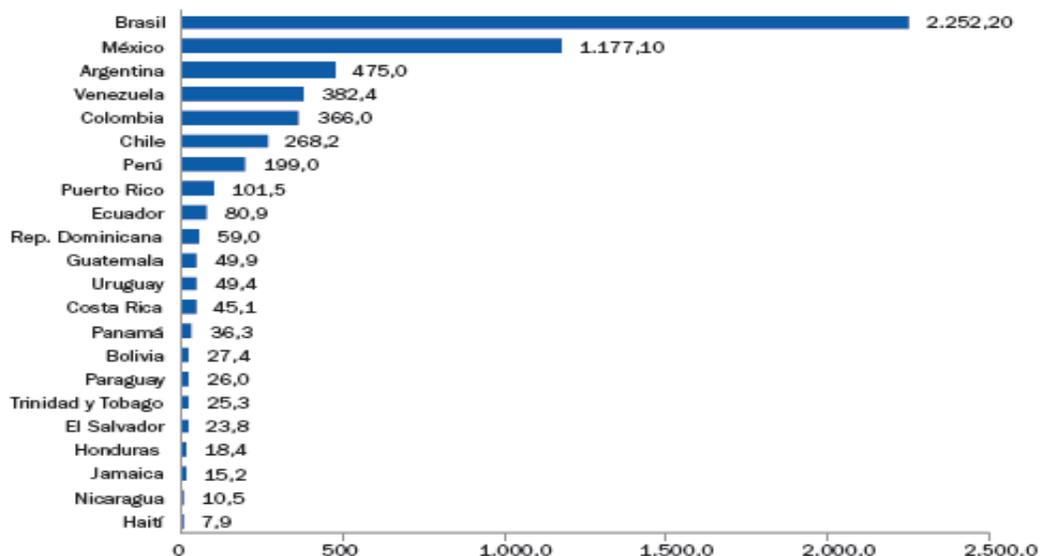
Fuente: Informe Estadístico FICEM, (2013).

El consumo de cemento *per cápita* muestra el desarrollo del sector constructivo de cada país en relación con su población. Para el 2012, el país con mayor consumo de cemento *per cápita* fue Panamá, esto ligado a la fuerte inversión económica, tanto local como extranjera, en la ampliación del canal y el impacto turístico y empresarial de su economía.

### 7.2.3. Indicadores económicos latinoamericanos

Los indicadores económicos latinoamericanos indican las prioridades y capacidad de inversión de la población de cada país. En las siguientes imágenes se describen algunos de estos factores.

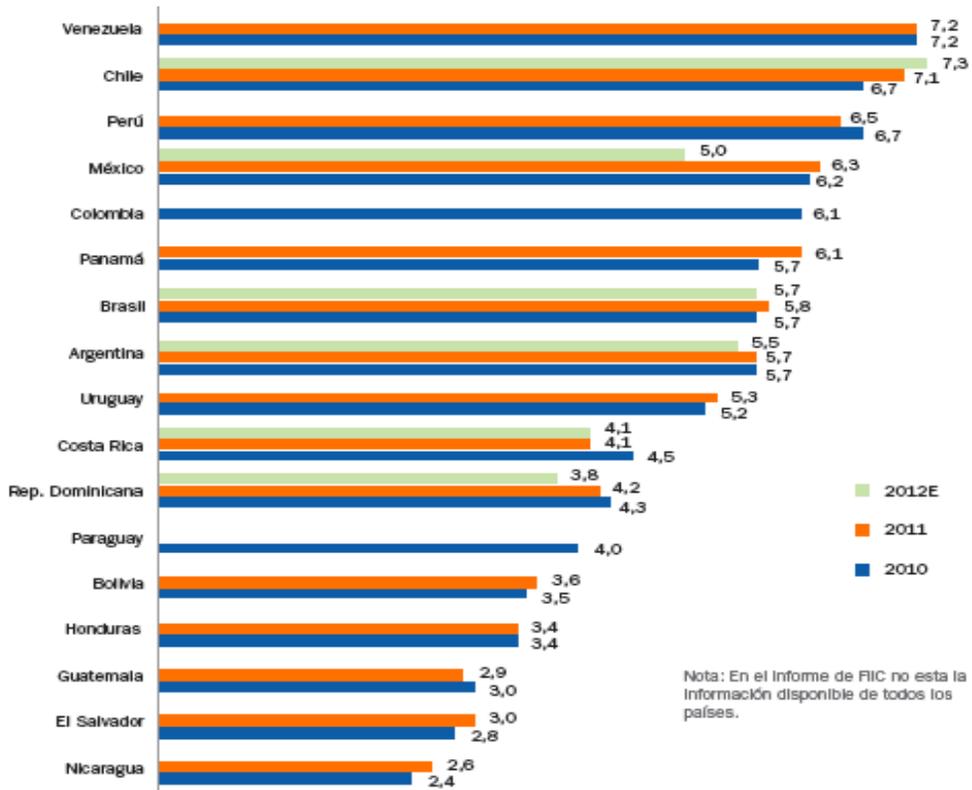
Figura 5. PIB Total 2012 (US \$ Miles de millones)



Fuente: Informe Estadístico FICEM, (2013).

Pese a los altos indicadores de generación de riqueza (figura 5) en relación al resto de países centroamericanos, Guatemala no muestra indicadores al alza en cuanto a la contribución de la construcción en el PIB en años recientes (2012) (figura 6). A pesar de esto se estima que la urbanización en el país supere al porcentaje de área rural para el 2032, generando una alta expectativa en soluciones concretas para el desarrollo de soluciones en cuanto a lo que se refiere en materiales de la construcción, razón por la cual es crítico implementar un CI+D en la industria de cemento guatemalteca.

Figura 6. **Aporte de la construcción al PIB en Guatemala (porcentaje anual)**



Fuente: Informe Estadístico FICEM, (2013).

Para el 2011, el país que más invirtió en el sector de la construcción fue Venezuela. Este indicador incluye no solo el consumo de cemento, sino también la inversión en otras tecnologías como el acero, madera, bambú, etc. La figura también muestra el bajo impacto que ha tenido la industria constructiva en Guatemala, que se encuentra solo por arriba de El Salvador y de Nicaragua.

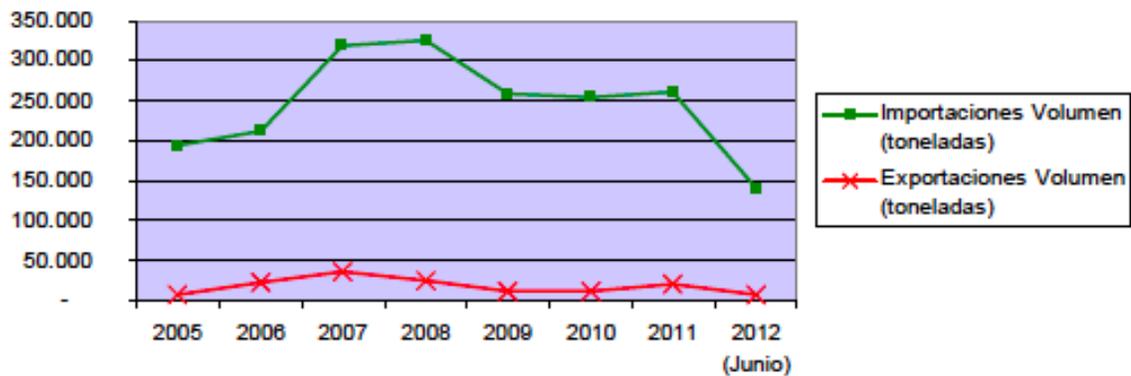
Para el 2013 Guatemala muestra una inversión relativamente baja en comparación con el resto de LATAM. Se pronostica un incremento debido a la urbanización propuesta en los planes de desarrollo y de urbanización

(UNESCO, 2016, p.18), donde el CI+D podría proveer los servicios necesarios para estimular ese crecimiento.

#### 7.2.4. El mercado del cemento en Guatemala

Los datos históricos muestran que Guatemala ha importado 6 veces más cemento del que exporta (figura 7), lo cual indica el mercado potencial que aún puede abarcar la industria local, con una disminución en ambas debido a la poca inversión en el sector de infraestructura para el 2012.

Figura 7. **Evolución del volumen de las importaciones y exportaciones guatemaltecas de cemento (toneladas)**



Fuente: Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Guatemala, (2012).

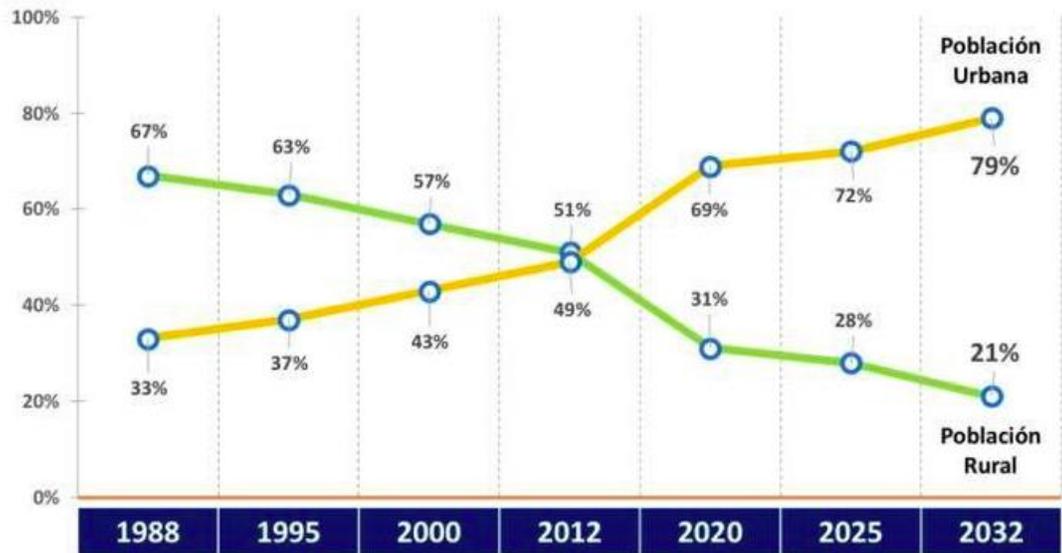
Tabla I. Países clientes de cemento de Guatemala en 2011

Países Clientes	2010		2011	
	Valor (US\$)	% sobre el total	Valor (US\$)	% sobre el total
El Salvador	1.232.392	60%	1.775.734	69%
Honduras	755.012	36%	711.716	28%
Costa Rica	37.228	2%	39.311	2%
Belice	4.700	0%	29.396	1%
Nicaragua	33.818	2%	24.805	1%
Resto	7.861	0%	1.010	0%
<b>Total</b>	<b>2.071.011</b>	<b>100%</b>	<b>2.581.972</b>	<b>100%</b>

Fuente: Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Guatemala, (2012).

“Los países que más proveen de cemento A Guatemala<sup>2</sup> (OECE, 2012, p.25) “para el 2011 fueron: Corea del Sur, México y República Dominicana” (ICEX, 2012, p.12), por lo que habría que monitorear el mercado asiático, mexicano y del Caribe a futuro. En cuanto a los países clientes del cemento guatemalteco se atribuyen principalmente al mercado centroamericano, tomando como puntero a El Salvador como mayor comprador, con un 69 % del total para el 2011 (tabla IV).

Figura 8. **Proyección de urbanización en Guatemala**



Fuente: INE/CELADE. (2015). *Estimaciones y proyecciones de población*.

“Guatemala se encuentra en un momento crucial, a punto de una doble transición que sucede solo una vez en la historia de los países” (INE/CELADE 2015, p.2). El proceso de urbanización y el bono demográfico llegarán a su máximo entre 2030 y 2040. Se llegará a 79 % de urbanización (figura 12). “El hecho de que esto suceda implica que generará un aumento económico entre 6-7 %” (Godoy, 2018, p.26), lo que a su vez implica una oportunidad clara para la industria del cemento de invertir en el CI+D para proveer soluciones a través de servicios de investigación, asesorías técnicas y control de calidad de un alto poder analítico que estimulen ese crecimiento acelerado, tomando en cuenta la sostenibilidad y la innovación.

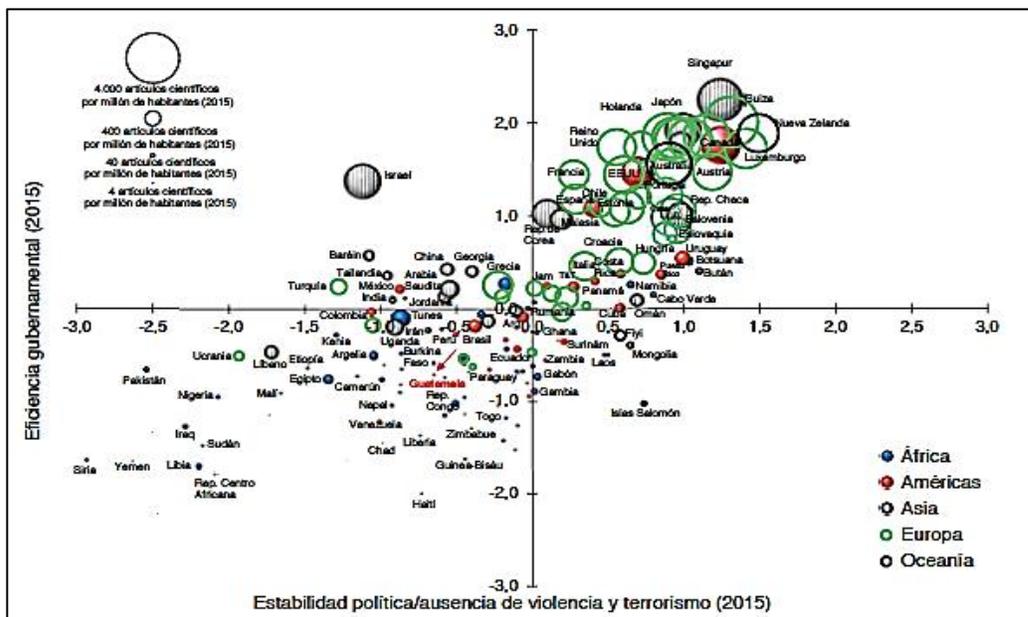
### 7.3. Investigación y desarrollo

La investigación y el desarrollo (I+D) tiene como objetivo crear nueva tecnología o información que pueda mejorar la efectividad de los productos o hacer que la producción de productos sea más eficiente.

#### 7.3.1. Panorama mundial de la investigación

La situación mundial respecto a la investigación debe de tener una interpretación multifactorial en función de las políticas y necesidades publico privadas de cada país. En las siguientes imágenes se describen algunos de estos factores.

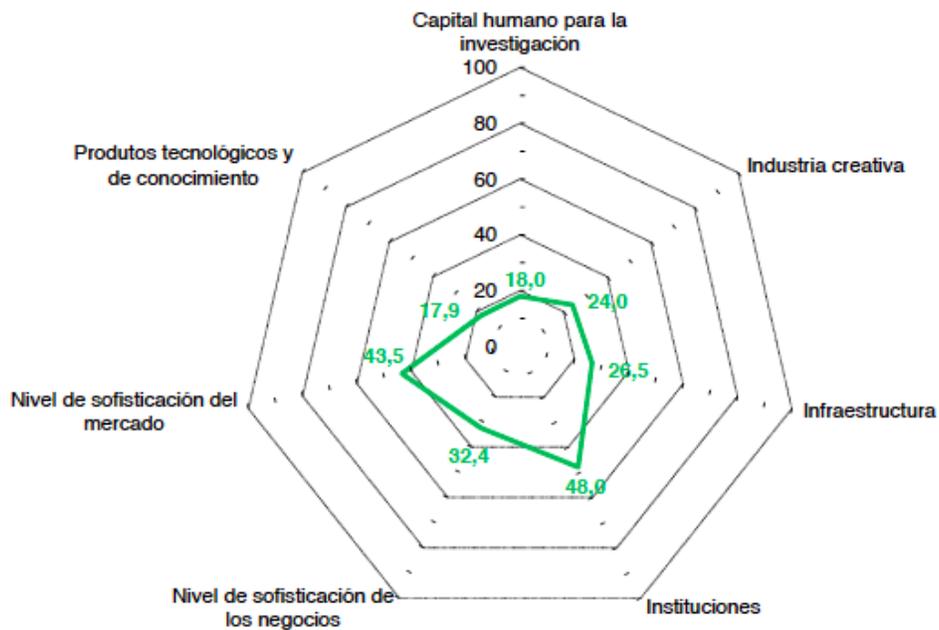
Figura 9. Relación entre la gobernanza y la producción científica mundial



Fuente: UNESCO, (2016). Basado en datos crudos generados por el Banco Mundial, la División de Estadística de las Naciones Unidas y SCOPUS.

En cuanto al indicador que relaciona la investigación científica con la gobernanza a nivel mundial, Guatemala se encuentra en el cuadrante inferior izquierdo. Esto quiere decir que no posee una estabilidad política, y sí un alto nivel violencia y terrorismo. A su vez no posee eficacia gubernamental, lo cual deriva en que en el país solo se producen 4 artículos científicos por cada millón de habitantes.

Figura 10. **Puntaje de Guatemala en cada uno de los pilares de la innovación (0–100) utilizados para calcular el índice mundial de innovación**



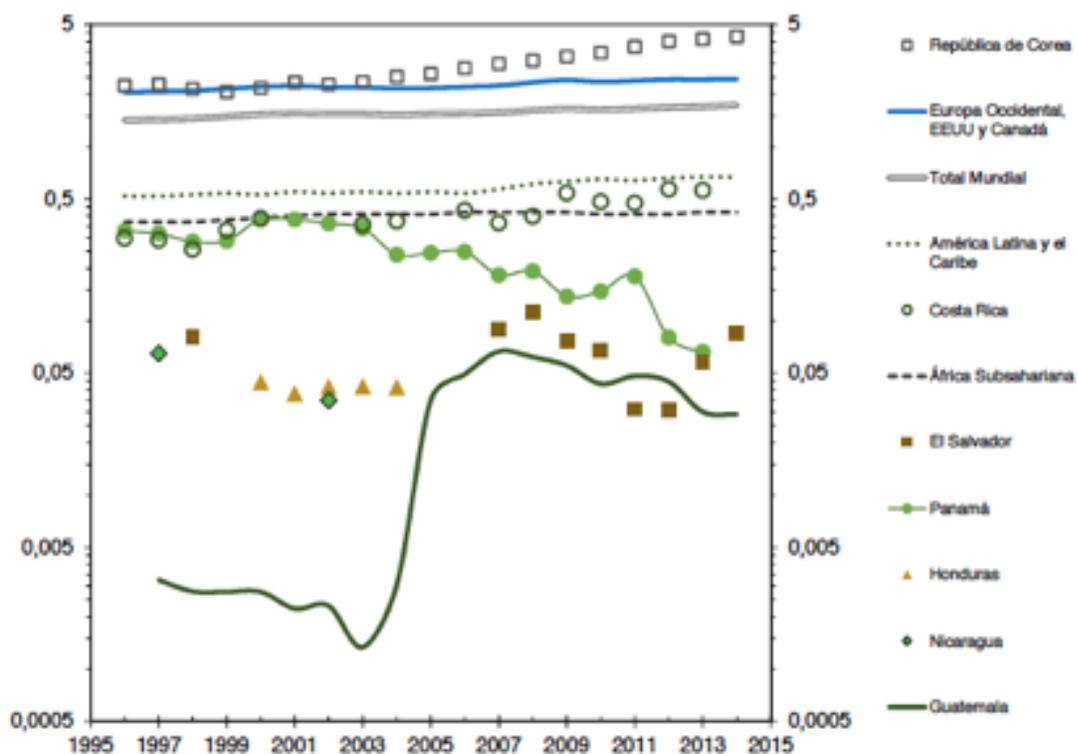
Fuente: INSEAD, et al. *The global innovation index*. 2016.

Según la puntuación del INSEAD para el índice mundial de la innovación, Guatemala puntea entre los países más bajos de Latinoamérica, con problemas como la falta de capital humano para la investigación, la poca producción de

tecnología y conocimiento. La carencia de una industria creativa y la falta de infraestructura de calidad son los aspectos negativos más importantes.

El estudio resalta que en Guatemala existen instituciones que velan por el desarrollo de la innovación e investigación en el país, aunque la creencia popular es que no son éticas.

Figura 11. **Gasto en I+D como porcentaje del PIB para un conjunto de países centroamericanos y de otras regiones. 1996–2014**



Fuente: UNESCO. *GO-> Spin Volume 6. 2017.*

Respecto al gasto en investigación y desarrollo como país respecto al PIB, Guatemala es de los países con menor inversión en investigación. Para efectos

de comparación se utiliza esta gráfica con escala logarítmica del gasto en el resto del mundo. Para el 2015 Guatemala invirtió un 0,05 % de su PIB en investigación, mientras que la media en Latinoamérica y el Caribe fue de 0,5 % respecto al PIB (10 veces más), y la media de Europa Occidental, EEUU y Canadá fue del 3 % respecto al PIB (60 veces más).

### **7.3.2. Situación crítica en avances científicos y tecnológicos en Guatemala**

Guatemala se encuentra en un estado crítico en cuanto a ciencia, tecnología y desarrollo sostenible. Para abordar tal problemática se propone el Plan Nacional de Desarrollo K'atún.

#### **7.3.2.1. Plan K'atún**

El Plan Nacional de Desarrollo K'atún: Nuestra Guatemala 2032, parte de la visión futura de una Guatemala próspera, se plantean pasos decisivos para proveer una mejor calidad de vida a la población guatemalteca tanto en el área urbana como en la rural, relacionando los sectores industrial, comercial y de servicios para brindar oportunidades de desarrollo personal y de las familias. Guatemala, además, en el plano regional aprovechará su importancia geoestratégica para el desarrollo económico, político, cultural y social. También vislumbra a un Estado capaz de dar respuesta a las demandas de la ciudadanía. El plan se basa en 5 ejes:

- Estado garante de los derechos humanos y conductor del desarrollo
- Bienestar para la gente
- Guatemala urbana y rural
- Recursos naturales hoy y para el futuro

- Riqueza para todos y todas

Esta investigación toma principal relevancia en el punto 3 del plan K'atún, ya que fundamenta la interdependencia de los sistemas rurales y urbanos para reducir las asimetrías y desigualdades entre los territorios. En este eje se establecen varias prioridades, entre ellas: el fortalecimiento de los gobiernos locales y la capacidad de generar resiliencia en los distintos ámbitos sociales, institucionales, políticos y económicos del territorio. Se plantea llevar el desarrollo a las comunidades rurales y brindar directrices para el desarrollo sostenible de las áreas urbanas.

Asimismo, el plan de desarrollo se propone los siguientes resultados en ciencia y tecnología: la calidad de vida de las personas presenta una mejora continua como producto de la generación de conocimiento para el abordaje de las problemáticas sociales, ambientales, económicas, culturales y de cambio climático, el desarrollo regional/territorial se estimula con base en la evidencia científica y tecnológica que se produce de manera sistemática, continua y con participación del Estado, las empresas y las universidades. En estas dos áreas el CI+D tiene el potencial de convertirse en un referente a nivel nacional en la producción de soluciones técnico-científicas para abordar el desarrollo sostenible e integral del país.

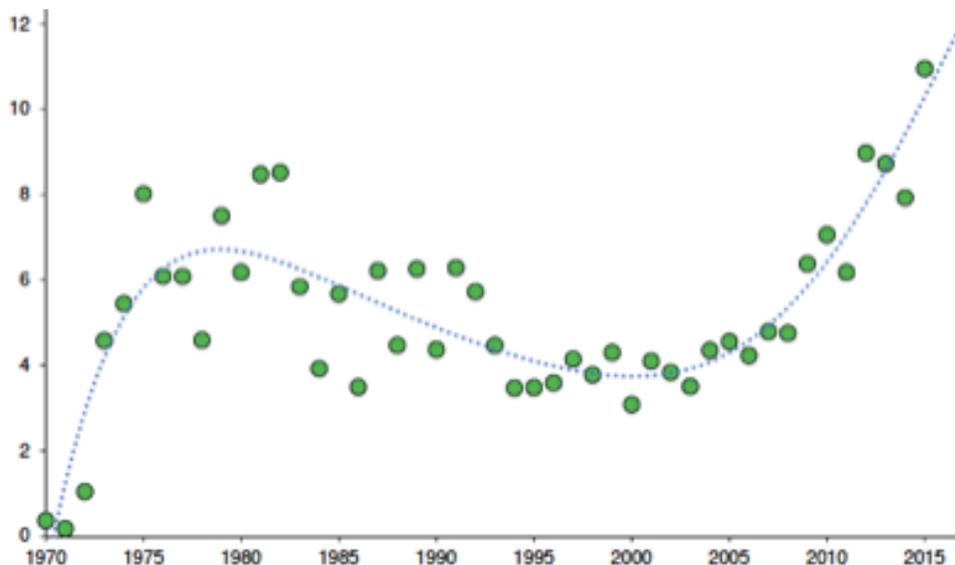
#### **7.3.2.2. Cienciometría**

La investigación científica básica o fundamental suele realizarse tradicionalmente en universidades, centros de investigación u otras instituciones académicas. Desde mediados del siglo pasado el método tradicional utilizado para medir o evaluar los resultados de la investigación académica a nivel institucional y nacional utiliza indicadores bibliométricos. Bibliometría es un

término general utilizado para el inventario y análisis estadístico de artículos, publicaciones, citas y otros indicadores más complejos de la producción científica derivados de tales estadísticas.

Los indicadores bibliométricos son herramientas importantes para evaluar los niveles de actividad de la I+D, el desempeño y la especialización de países, instituciones, laboratorios, universidades, áreas temáticas y científicos individuales. Price (1978) considera que las publicaciones científicas no son en modo alguno un subproducto o epifenómeno del trabajo de investigación y desarrollo que se está realizando, sino el producto final de la generación de nuevo conocimiento.

Figura 12. **Número de artículos científicos publicados por autores de Guatemala en revistas especializadas registradas en el SCI, SSCI y A&HCI por millón de habitantes. 1970–2015**



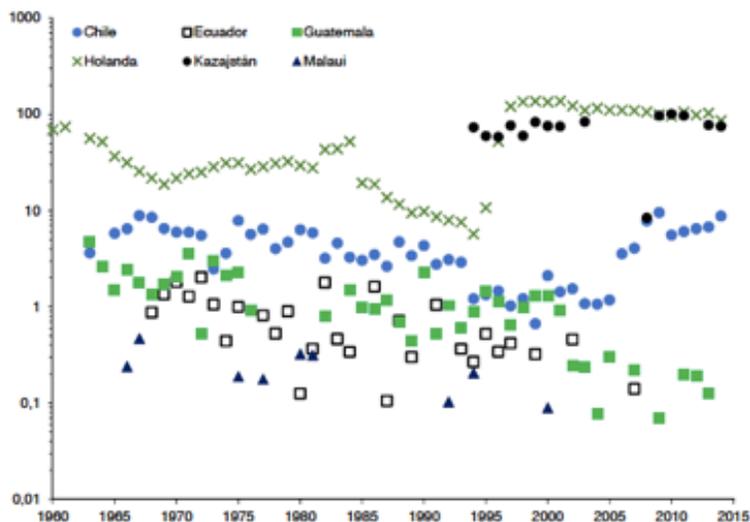
Fuente: UNESCO. GO-> Spin Volume 6. 2017.

Respecto al número de artículos científicos publicados por autores de Guatemala en revistas científicas, se denotan dos comportamientos: un crecimiento acelerado de 1970 a 1985, seguido de un decrecimiento de 1985 a 2000, para luego retomar el crecimiento de 2000 a 2015, para llegar a 12 artículos científicos por cada millón de habitantes, lo cual denota una tendencia hacia una mayor actividad investigativa.

### 7.3.2.3. Patentes

Una patente es un documento expedido por una agencia gubernamental (o internacional) autorizada que otorga el derecho de excluir (utilizando el sistema legal) a cualquier persona de la producción o uso de un nuevo dispositivo, aparato o proceso específico durante un número determinado de años.

Figura 13. **Número de patentes en países comparables a Guatemala (15 a 17 millones de habitantes). 1960–2014**



Fuente: UNESCO. GO-> Spin Volume 6. 2017.

La subvención se concede al inventor de este dispositivo o proceso después de un examen que se centra tanto en la novedad del artículo reclamado como en su utilidad potencial. La medición del vínculo entre las publicaciones y las patentes ha sido objeto de investigación académica en las últimas décadas. Estos estudios resultan útiles para comprender la intensidad y orientación de la investigación, así como la relación entre ciencia y tecnología.

En todo el mundo, durante 2014 se presentaron cerca de 2 700 000 solicitudes de patentes. Este valor representa un 4,5 % más que en 2013. Uno de los factores que explican ese gran crecimiento fue el número de solicitudes presentadas en China, 103 000 de las 116 100 solicitudes adicionales presentadas, es decir, el 90 % del crecimiento total. Se estima que solo dos terceras partes del número total de solicitudes de patentes fueron presentadas por residentes en sus oficinas nacionales.

En Guatemala se presentaron únicamente 298 solicitudes (288 por no residentes y solo 10 por residentes) desde 1960 hasta 2018, lo que evidencia la falta de propuestas de innovación existente en el país, tanto en la iniciativa privada como en las instituciones públicas. El CI+D tiene el potencial de generar propuestas de innovación que potencialmente se conviertan en patentes.

Tabla II. **Objetivos para los ejes principales de la Política Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico 2015–2032**

Eje	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
Formación de capital humano de alto nivel	Establecer alianzas con el Sector Educativo (Ministerio de Educación y universidades) para la formación científica y tecnológica en todos los niveles educativos	Promover la implementación de programas que estimulen la permanencia en el país del capital humano de alto nivel.	Coadyuvar a generar masa crítica de profesionales de alto nivel que contribuyen al desarrollo.
Investigación basada en las demandas sociales y productivas	Construir una agenda dinámica de investigación para la producción de conocimiento que aborde el desarrollo integral del país.	Propiciar la creación de redes multidisciplinarias con centros de investigación locales e internacionales para abordar con mayor propiedad la problemática que afecta a cada sector y a la sociedad.	Generar resultados de investigación pertinentes, que destaquen a nivel regional por la calidad de la misma y transfiera resultados para la solución de problemas tanto nacionales como regionales.
Innovación y transferencia tecnológica	Promover acciones que fortalezcan un Sistema Nacional de Innovación.	Aumentar la inversión nacional en innovación, desarrollo tecnológico e investigación científica, por medio de instancias de vinculación entre oferta y demanda tecnológica y diversificación de fuentes de financiamiento.	Generar transferencia tecnológica entre la academia y el sector productivo que propicie mayor y mejor productividad.
Popularización científico tecnológica	Promover la ciencia, tecnología e innovación en los distintos sectores y todos los niveles educativos, cubriendo todas las regiones del país.	Establecer programas de difusión del conocimiento con cobertura nacional hacia todos los sectores de la sociedad.	Consolidar diversos eventos de oferta y demanda científica y tecnológica, que respondan a intereses a nivel local, nacional e internacional.

Fuente: Cobar Pinto, O. (2016). *Presentación durante el Taller GO © SPIN organizado por SENACYT-UNESCO.*

Dentro de los objetivos del plan de desarrollo tecnológico se encuentran 4 ejes en los cuales el CI+D se podría incorporar para alcanzar los objetivos a largo plazo en cuanto a formación de capital humano de alto nivel, investigación basada en las demandas sociales y productivas, innovación y transferencia tecnológica y la popularización científico tecnológica de Guatemala.

Tabla III. Componentes del análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) del sistema de investigación e innovación en Guatemala

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispone de un plan de desarrollo hasta el 2032 consensuado por los distintos agentes sociales</li> <li>• En un sentido estricto la estructura institucional del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (SINCYT) de Guatemala reúne los requisitos de un Sistema Nacional de Innovación (SNI)</li> <li>• Dispone de un sistema universitario estatal y privado sólido para ejecutar tareas de I+D y de transferencia</li> <li>• Creciente expansión de la matrícula de estudiantes universitarios</li> <li>• El PRONACOM a través de la Agenda Nacional de Competitividad (ANC) definió una clara estrategia para promover la innovación en el sector productivo</li> <li>• Guatemala tiene identificados los conglomerados productivos con gran potencial de crecimiento</li> <li>• Existe un conjunto de Instituciones centroamericanas e instrumentos de integración para promocionar la investigación y la innovación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los factores contextuales del país imponen una seria barrera para el desarrollo científico y tecnológico.</li> <li>• Un sistema de producción que genera poco valor agregado y escasa demanda al sistema científico y tecnológico local.</li> <li>• Un número muy reducido de estudiantes de grado y posgrado en ciencias e ingeniería</li> <li>• Un número muy escaso de investigadores/as EJC</li> <li>• Niveles exiguos de inversión en tareas de I+D</li> <li>• Una producción científica y tecnológica escasa y altamente dependiente de la cooperación internacional</li> <li>• Baja coordinación entre las distintas políticas e instrumentos de política CTI.</li> <li>• Ausencia de una cultura de la evaluación de políticas, instrumentos, programas, actividades, instituciones e investigadores/as</li> </ul>
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de los recursos humanos en CTI</li> <li>• Desarrollo de programas de doctorado en ciencias naturales e ingeniería</li> <li>• Desarrollo de instrumentos financieros para apoyar la cooperación regional en actividades CTI</li> <li>• Desarrollo de instrumentos financieros que fomenten la asociación público/privada para la formación de recursos humanos especializados en implementar innovación en el sector productivo</li> <li>• Desarrollo de mecanismos de evaluación y de incentivos financieros asociados al desempeño en actividades CTI</li> <li>• Desarrollo de un marco regulatorio nacional para la estandarización de un registro nacional electrónico de docentes e investigadores/as</li> <li>• Asociación de la SENACYT con otros Ministerios e instituciones para financiar instrumentos vinculados a políticas sectoriales e intersectoriales</li> <li>• Fortalecer el sistema nacional de estadísticas en ciencia y tecnología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la exclusión, corrupción y violencia</li> <li>• Alta vulnerabilidad ante el cambio climático</li> <li>• Un sistema educativo con grandes deficiencias</li> <li>• El valor del conocimiento ancestral es ignorado en el marco de la planificación científica y tecnológica guatemalteca</li> <li>• La ausencia de marcos regulatorios para el seguimiento y evaluación de los proyectos, instituciones e investigadores/as, impide que se garantice la calidad y pertinencia de las tareas de investigación e innovación que se desarrollan en el país</li> <li>• La Política Nacional de Desarrollo Científico Tecnológico 2015-2032 no contempla intervenciones para favorecer el equilibrio de género en ciencias e ingeniería</li> <li>• El SINCYT no incluye explícitamente ningún Comité de Ética de la Ciencia y la Tecnología.</li> </ul>

Fuente: Cóbar Pinto, O. (2016). *Presentación durante el Taller GO © SPIN organizado por SENACYT-UNESCO.*

En el marco del plan de desarrollo K'atún se discute el panorama de la situación actual del país en un análisis FODA, el cual aborda el conjunto de instituciones que se encuentran involucradas donde el CI+D tiene el potencial de generar alianzas estratégicas para generar en conjunto soluciones sostenibles.

#### **7.4. Servicios del Centro de Investigación CI+D**

Los servicios que provee el laboratorio químico del CI+D en la industria de cemento constan de ensayos basados en el análisis de caracterización física y química referentes a normativas internacionales como ASTM, UNE-EN, entre otros, así como a normativas nacionales COGUANOR. El CI+D tiene como objetivo desarrollar nuevos productos y soluciones mediante la investigación, así como mejorar el desarrollo tecnológico en la industria de la construcción (Kostmatka, 2004). El CI+D tiene como visión ser el Centro Tecnológico referente y líder en los campos de investigación y desarrollo a nivel centroamericano. Dentro de sus principales funciones se encuentran:

- Asesoría técnica a clientes internos y externos.
- Investigación y desarrollo de productos para generar soluciones de alto desempeño.
- Transferencia de conocimiento, tecnología y experiencias.
- Emisión y homologación de normativas que generan altos estándares de la construcción y otras industrias.
- Innovación tecnológica y promoción de nuevas tecnologías aplicadas a la construcción y otras industrias.
- Usos y aplicaciones de productos de la construcción que permiten la materialización de soluciones prácticas con alto beneficio para los usuarios finales.

En la siguiente sección se describen los ensayos que se realizan en el laboratorio químico del CI+D.

#### **7.4.1. Azul de metileno**

El ensayo de azul de metileno se ampara en la norma española UNE-EN 933-9 1999, la cual consiste en cuantificar la cantidad de materiales arcillosos presentes en el agregado fino (arena) a través de su reacción con azul de metileno.

Para realizar este ensayo se debe secar la muestra hasta haber eliminado la humedad presente, para luego utilizar la muestra que pase por tamiz de apertura 2 mm, hasta obtener una masa superior a 200 g. Esta masa se suspende en 500 ml de agua desmineralizada y se agita de tal manera que se disuelvan todas las partículas finas, para luego titularlo con una solución de azul de metileno ( $10 \pm 0.1$  g / L de solución) hasta obtener una aureola celeste alrededor de una gota en un papel filtro de tamaño de poro 125 mm.

#### **7.4.2. Cal disponible**

El ensayo de cal disponible se ampara en la norma ASTM C25-99 Sección 28, la cual establece las bases para la determinación del óxido de calcio (CaO) disponible en la muestra, a través de apagar y dispersar la muestra con agua desmineralizada, la cal se solubiliza por reacción con azúcar a un complejo de sacarato de calcio, con el cual se realizará una medición indirecta a través de una titulación con ácido clorhídrico, utilizando fenolftaleína como indicador.

#### **7.4.3. Calor de hidratación de cemento**

El ensayo de calor de hidratación de cemento se ampara en la norma ASTM C186-05, el ensayo consiste en la determinación indirecta del calor de hidratación del cemento hidráulico, midiendo el calor de solución de cemento seco y el calor de solución de una porción separada de cemento que ha sido parcialmente hidratada por 7 y 28 días, siendo la diferencia de estos valores el valor de hidratación de cada período de hidratación respectivo (Kosmatka, 2004, p.152).

#### **7.4.4. Determinación de CaCO<sub>3</sub> equivalente**

El ensayo de carbonato de calcio equivalente se ampara en la norma ASTM C25-99 Sección 33, la cual establece las bases para la determinación de la capacidad de neutralización de cualquier material calcáreo y se reporta el valor en términos de porcentaje de carbonato de calcio equivalente.

Materiales calcáreos tales como caliza triturada, cal hidratada y escorias pulverizadas (de la producción de acero) se han utilizado ampliamente como suelo modificador o materiales de estabilización agrícola. Una medida de su capacidad de neutralización se puede determinar mediante esta prueba.

#### **7.4.5. Determinación de tamaño y forma de partícula (PSD)**

El ensayo de PSD consiste en una tecnología basada en el análisis dinámico de imágenes, donde se suspende polvo de fineza superior a Tamiz 200 en un líquido inmiscible y se hace fluir en una celda con una abertura para realizar un análisis óptico, en esta celda se transmite luz para crear siluetas de las partículas para luego verlas con una cámara de sensor de alta resolución.

Posteriormente el equipo procesa una gran cantidad de fotografías con una computadora para caracterizar el tamaño y forma de las partículas en tiempo real.

“Se diferencia de sus antecesores que solo determinaban el diámetro de las partículas” (Honda, 1997, p.36), esta tecnología del estado del arte proporciona un análisis de materiales crudos donde la morfología de las partículas es crítica, en el caso del cemento, la morfología de las partículas determinará el área superficial efectiva donde reaccionará con el agua y así su cinética de reacción.

#### **7.4.6. Determinación de CO<sub>2</sub>**

La determinación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un ensayo común en materiales calcáreos (calizas, dolomitas, magnesitas o mezclas de ellas) donde se determina con una muestra de aproximadamente 10 g por pérdida de peso a 400 °C en una mufla durante dos horas, en la cual se determina los residuos no calcinados del proceso de descarbonatación.

#### **7.4.7. Determinación de color**

El ensayo de colorimetría se ampara en la norma UNE 80117, consta de un aparato que emite una señal luminosa a una placa uniforme y plana de material en polvo para que esta placa refleje la señal lumínica y arroje los resultados en coordenada CIELAB (L\*, A\*, B\*), donde la coordenada L\* se refiere a la cantidad de luminosidad de la muestra, A\* se refiere a una escala del verde al rojo y B\* se refiere a una escala del azul al amarillo.

#### **7.4.8. Fases de minerales por difracción de rayos X (XRD)**

El ensayo de difracción de rayos X se ampara en la norma ASTM C1365, en la cual se establece la identificación de fases cristalinas en una muestra compactada en polvo a partir de un barrido de rayos X para provocar el fenómeno de difracción, en el cual, cuando la energía ionizante encuentre un átomo de la red cristalina, este desviará la trayectoria inicial con la cual se obtendrá un patrón de difracción.

Cada patrón de difracción es único y característico de cada fase mineral, por lo que esta técnica permite identificar mezclas de materiales con una biblioteca de referencia de patrones de difracción (PDF), en este caso de la PDF 2 - ICDD (Centro Internacional de Datos de Difracción), y luego comparar en función de las áreas bajo la curva obtenidas para obtener la cantidad porcentual de masa de cada fase.

La industria del cemento comenzó a incorporar esta técnica cuando la tecnología avanzó lo suficiente como para realizar lecturas en tiempos iguales o mejores a los de XRF. Al analizar cemento por esta técnica se puede determinar las principales fases presentes en el cemento (alita, belita, ferrita, aluminato, caliza, cal viva, periclasa, yeso, basanita, anhidrita, entre otros).

#### **7.4.9. Óxidos generales por fluorescencia de rayos X (XRF)**

En el ensayo de determinación de óxidos generales por fluorescencia de rayos X (XRF) se prepara una muestra en polvo y en función de su complejidad de composición se prepara como una perla fundida o como pastilla prensada, para luego ser irradiada con una fuente secundaria de rayos X, para ser comparada con una curva de estándares que en función de su intensidad

asocian un porcentaje de composición de óxidos como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , donde también se reportan

En la industria de cemento se utiliza la FRX para cuantificar los óxidos presentes en producto terminado (cemento) y en materia prima (caliza, esquisto, correctivos de aluminio y hierro).

#### **7.4.10. Determinación de humedad relativa**

Para analizar humedad se utiliza una balanza especial, la cual posee una resistencia con la que emite una cantidad constante de energía térmica con la que se calienta el material hasta que la variación de peso en el tiempo sea más pequeña que su incerteza. La humedad es un parámetro crítico en cuanto al cemento ya que, dependiendo de esta variable, podría comenzar su proceso de hidratación.

#### **7.4.11. Índice de apagado de cal viva**

El ensayo de velocidad de apagado de cal viva se ampara en la norma técnica guatemalteca NTG 41018 h2 sección 11, la cual establece los parámetros para cuantificar indirectamente la efectividad del apagado de la cal a nivel industrial.

#### **7.4.12. Pérdida al fuego (LOI)**

El ensayo de pérdida al fuego (Lost On Ignition, por sus siglas en inglés) se ampara en la norma ASTM C 114, sección 19. El ensayo consiste en cuantificar la pérdida de peso al calcinar la muestra a  $950\text{ }^\circ\text{C}$  durante 30 min.

Con este proceso se oxida cualquier material presente en la muestra y a su vez todos los materiales volátiles (humedad libre, agua químicamente combinada, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, materia orgánica, entre otros) se evaporan.

#### **7.4.13. Determinación de pH**

El ensayo de pH consiste en la cuantificación de la concentración de hidrógeno en solución a través de un par de electrodos con los cuales se determina la fuerza electromotriz de la solución que pasa a través del sistema electroquímico. El instrumento para la medición del pH es llamado potenciómetro. Esta medición está en función de la temperatura, ya que cambia el grado de solubilidad de los iones hidronio (H<sup>+</sup>). La escala de pH es logarítmica negativa como lo muestra la siguiente ecuación:

$$pH = -\text{Log} [H^+]$$

La escala convencional de pH clasifica como sustancias ácidas a las de un rango de 0 a 6, sustancias neutras de 6 a 8 y sustancias básicas de 8 a 14.

#### **7.4.14. Reactividad Álcali-Carbonato (RAC)**

El ensayo de reactividad álcali-carbonato se ampara en la norma UNE 146507-2. El ensayo evalúa el potencial de reactividad entre los agregados (finos o gruesos) dolomíticos con los álcalis del cemento. Se cuantifica la relación entre el CaO y el MgO, junto con el % de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> utilizando XRF, los cuales indican si el agregado es inocuo, potencialmente reactivo o reactivo (Kosmatka, 2004, p.56).

#### **7.4.15. Reactividad Álcali-Sílice para agregados de concreto (RAS)**

El ensayo de reactividad álcali-sílice se ampara en la norma ASTM C 289. El ensayo se usa para evaluar la reactividad potencial de los agregados con contenido de sílice (cristalino) con los álcalis del cemento. En este ensayo se cuantifican los mmol/L de sílice disuelta que corresponden a la reducción en alcalinidad, los cuales indican si el agregado es inocuo, potencialmente dañino o dañino.

#### **7.4.16. Residuo Insoluble (RI)**

El ensayo de residuo insoluble de cemento se ampara en la norma ASTM C114, sección 5. El ensayo es determinado por la digestión de una muestra del cemento en ácido clorhídrico, luego filtrado, para su posterior digestión en hidróxido de sodio, el residuo resultante es calcinado y pesado para cuantificar el % de material insoluble (por lo general puzolana y otros materiales con contenido de sílice).

#### **7.4.17. Sulfatos solubles en agua**

El ensayo de sulfatos solubles en agua se ampara en la norma EN 17441:1998. En este ensayo se determina el contenido de sulfatos solubles en agua cuantificados a partir de la precipitación a pH comprendido entre 1 y 1.5 con una disolución de cloruro de bario a ebullición, usualmente suelos.

#### **7.4.18. Análisis termogravimétrico**

El análisis termogravimétrico se define como la técnica con la cual se cuantifica la variación de peso de una muestra muy pequeña (1-5 mg) en función de un cambio gradual de temperatura en el tiempo a una atmósfera específica.

### **7.5. Costos**

“En economía, el costo es el valor monetario asociado a la producción de una actividad económica destinada a la producción de un bien o un servicio” (Homgren, 2007, p.45). Este valor se encuentra asociado a la cantidad de recursos invertidos y debe agregar valor al producto creado, de lo contrario se consideraría un gasto.

Asignar los costos dentro de un bien o servicio se vuelve una tarea fundamental, ya que estos ayudan a establecer un valor asociado para recuperar lo invertido en producción, distribución y comercialización. El pensamiento basado en costos facilita la toma de decisiones en distribución de recursos e inversiones.

#### **7.5.1. Costos de producción**

Los costos de producción se clasifican como todos aquellos costos asociados a las actividades que se involucran entre sí para la producción de un bien o servicio. Estos incluyen los costos directos (intrínsecamente relacionados a la producción) y los costos indirectos (no relacionados a la producción) (Arizmendi, 2016, p.12).

#### **7.5.1.1. Costos directos**

Los costos directos se refieren a toda erogación que se hace para producir un bien o un servicio y que están intrínsecamente relacionados con lo que producen de manera fija invariable respecto a la cantidad de producto (maquinaria, depreciación, entre otros). A su vez se pueden asociar costos variables relacionados a los materiales o recursos que transforman el producto. Estos son función de la cantidad de bienes producidos (materia prima, energía eléctrica, mano de obra, entre otros). (De Anda, 2008 p.6)

#### **7.5.1.2. Costos indirectos**

Los costos indirectos se refieren a los costos que no están directamente relacionados con la producción del producto. Estos también se clasifican como fijos o variables. Los costos indirectos fijos se refieren a las actividades o costos que no dependen del volumen de producción (materiales indirectos, mano de obra indirecta, arrendamiento, publicidad, impuestos, entre otros). Las diferencias principales en cuanto a la clasificación de los mismos yacen en el criterio del que los asigna. (De Anda, 2008, p.6)

#### **7.5.2. Sistemas tradicionales de costeo**

El control de los costos es necesario en las empresas debido a que se necesita llevar un control de las cuentas y calcular el costo de sus procesos dividiéndolos en actividades para la generación de productos o servicios. Con este control se espera que las organizaciones obtengan un análisis retrospectivo de sus actividades y actuar en la eficiencia de sus procesos.

Los sistemas de costeo tradicionales se diseñaron a partir de 1870 y hasta 1920, no existía una gran cantidad de costos indirectos. Las fábricas producían sus bienes y prácticamente los vendían dentro de sus instalaciones. En esa época la mayor parte del trabajo era realizada por humanos (costos directos). Actualmente, la inclusión de la tecnología en los procesos productivos, junto con el aumento de actividades para la comercialización de un producto, han provocado que la complejidad para la asignación de costos indirectos haya aumentado.

Existen dos etapas para asignar costos indirectos según Fortuny (2010). La primera consta de distribuir los recursos consumidos entre los centros de costo y los costos acumulados en los centros de costo auxiliares se distribuyen en función de qué tanto hayan sido usados por los centros de costo principales. En la segunda etapa se asignan los costos en los centros principales a los productos. Aquí se encuentran los bienes producidos con su respectivo uso de los centros de costo.

Estos sistemas ahora se consideran ineficientes, ya que cometen errores como atribuir a un centro de costo el consumo de factores de actividades no relacionadas a dicho centro de costo. También se comete el error de evaluar el consumo de factores de un centro de costo por la medición de una sola de las actividades desarrolladas por el mismo.

Habitualmente los indicadores de costo como horas-hombre y horas-máquina guardan una alta relación con el volumen de bienes producido. Haciendo esto, las distribuciones de los costos indirectos se asignan con base en el volumen de producción, con lo que puede darse el caso de un producto de baja producción, pero que requiera un alto nivel de actividades auxiliares. La

información proporcionada por estos sistemas no permite a la alta gerencia tomar decisiones si es tardía y distorsionada.

### **7.5.3. Costeo basado en actividades (ABC)**

Debido a las carencias del sistema tradicional de costeo, Robín Cooper y Robert Kaplan crearon un sistema que aborda otra metodología para resolverlas, a finales de la década de 1980, llamado Activity Based Costing (ABC). “En este sistema se identifican actividades que realizan los centros de costo y las relaciona a los bienes o servicios que se producen respecto a los recursos, factores humanos, financieros o técnicos que estas emplean” (Neriz, 2006, p.14), con lo cual se definen las actividades como un conjunto de tareas que generan costos que generarán valor a la organización. Para cada actividad se asigna un inductor de costos, el cual se define como la unidad que cuantifica el cambio de costo generado por el consumo de recursos de una actividad específica.

Cabe mencionar que el sistema ABC no pretendía reemplazar a los sistemas tradicionales de costeo sino enriquecerlo. Al utilizar ABC se permite gestionar de mejor manera las actividades involucradas en cada proceso productivo, de manera que se pueden eliminar las actividades que no generan valor, hasta el punto de poder rediseñar los procesos para poder generar un elemento diferenciador al cliente y así mejorar su rentabilidad.

#### **7.5.3.1. Conceptos básicos del ABC**

La bibliografía referida por Neriz (2006) en el estudio hace alusión a los siguientes conceptos fundamentales al momento de definir los sistemas de costos basados en actividades:

- Recursos: elementos a los cuales se les atribuye un valor monetario para realizar una actividad. Por ejemplo sueldos, materia prima, maquinaria, entre otros.
- Actividades: tareas asociadas que agregan valor en la generación de un bien o servicio. Son un conjunto de tareas atribuidas a personas que incurren en costos monetarios.
- Inductores de costos: “Aquellos factores que hacen que las actividades realizadas consuman recursos”. (Montoya, 2006, p.18).

#### **7.5.3.2. Cuatro fases para el diseño de un sistema de costeo ABC**

Existen cuatro procesos clave al momento de crear un sistema ABC, los cuales se resumen en los siguientes incisos:

- Desarrollar un diccionario de actividades: se refiere a identificar las actividades realizadas respecto a la producción y entrega de un bien o un servicio, culminando esta tarea con la recopilación de las mismas para producir un diccionario de actividades que describa y nombre las actividades de cada área productiva. Este diccionario se realiza con herramientas como entrevistas, cuestionarios y observación directa del proceso.
- Determinar el gasto de recursos de las actividades: se refiere a la cuantificación de los costos de las actividades.

- Identificar productos, servicios y clientes: se deben identificar cómo las actividades identificadas generarán valor al cliente final.
- Seleccionar los inductores de costo de las actividades: estos inductores se expresan como una razón que relaciona el costo de las actividades en el proceso productivo y el producto o servicio final entregado a los clientes finales. En esta etapa se debe elegir el inductor más representativo, sencillo y cuantificable entre los factores que inducen al costo. (Montoya, 2006, p.19)

### **7.5.3.3. Deficiencias del ABC**

Las dificultades técnicas del sistema de costeo basado en actividades provocan que este no haya sido aceptado por la comunidad empresarial bajo los siguientes criterios:

- El tiempo de implementación tiende a ser considerablemente largo, esto debido a la rigurosidad en la obtención de la información de las actividades a través de entrevistas, encuestas y observación directa.
- Se debe contar con personal capacitado en el sistema para poder determinar los costos de las actividades, ya que estos determinarán la veracidad de la información de los que realizan las actividades.
- La metodología original no toma en cuenta el tiempo ocioso de las actividades, por lo tanto se calculan inductores de costo asumiendo capacidades totales.

- En general este modelo no es lo suficientemente preciso para retratar holísticamente todas las áreas de una empresa. Por ejemplo, si se implementara en cada área de una empresa se contaría con una gran diversidad y cantidad de actividades, lo cual acompleja el dinamismo del ABC en el tiempo. (Rigby, 2003, p.12)

Estas preocupaciones fueron abordadas por el mismo Robert Kaplan, auxiliado por Steven Anderson, para crear un nuevo modelo llamado Time-Driven Activity Based Costing (Kaplan y Anderson, 2008, p.11).

#### **7.5.4. Sistema de costeo basado en tiempo de actividades (TDABC)**

El sistema de costeo basado en el tiempo de actividades fue propuesto por Robert Kaplan (profesor de Baker Foundation, Harvard Business School, 2008) y Steve Anderson (*chairman* y *co-founder* de Acorn Systems). En esta propuesta se buscó pulir las deficiencias mostradas por el costeo ABC cuando se implementa en todas las áreas de una empresa. Como lo establece Kaplan (2008): “este sistema simplifica el proceso de asignación al no tener en cuenta las entrevistas y las encuestas a los empleados para asignar los costos a las actividades. Con el se asigna la totalidad de los recursos directamente a los objetos de costos (costo de la capacidad suministrada / capacidad práctica de los recursos = coeficiente de costo por actividad), luego este índice se asigna según la demanda de capacidad de recursos (normalmente el tiempo)”.

El sistema TDABC delimita el uso de los recursos utilizados en cada actividad dentro de las empresas permitiendo cuantificar el capital humano, físico y financiero de cada actividad. Utilizando este sistema se permite conocer

el consumo de cada área, el tiempo de duración de cada actividad, el costo de cada actividad y por ende el costo total de la operación. Este sistema permite reconocer qué área tiene el mayor impacto financiero a los costos en la operación, y distinguir el tiempo real utilizado versus el tiempo contratado del recurso humano.

El sistema TDABC requiere cuantificar el costo de los recursos utilizados para obtener bienes o servicios. Para esto se requiere obtener tres presupuestos básicos:

- Gastos generales
- Capital físico y financiero
- Sueldos

Dentro de estos tres presupuestos se concentran todos los recursos utilizados y el costo asociado a cada uno de ellos. Todas las áreas realizarán actividades que consumirán parte de estos presupuestos. Cada actividad será asociada a un tiempo estándar de duración para así calcular el costo por actividad. Como lo establece Kaplan (2008): “el método de costeo por tiempo invertido por actividad es más simple puesto que requiere para cada grupo de recursos las estimaciones de solamente dos parámetros”. Estos parámetros son:

- El recurso monetario total gastado por un área dividido por el tiempo de hora-hombre del personal de esa área específica.
- Estimación de las unidades de tiempo medio de cada actividad.

Como lo establece Calderón (2014), el TDABC permite asignar los costos directamente a sus inductores, mediante el costo de los recursos y su

capacidad instalada. Generalmente se calcula como unidad monetaria / unidad de tiempo.

Para completar la distribución de los costos se requiere evaluar la capacidad de cada área. De esta manera se obtendrá un factor de moneda/tiempo, en el caso de Guatemala (Q/h) asociado a cada actividad desarrollada por la empresa en la elaboración de bienes o servicios.

Para analizar la propuesta del sistema TDABC se requiere definir los siguientes parámetros.

#### **7.5.4.1. Costos de capacidad suministrada**

Estos costos corresponden a la totalidad gastada por el área operativa en función de la distribución o asignación en la unidad de tiempo que más convenga (por lo general es en meses). Aquí se relacionan los costos del área con la capacidad práctica de los recursos utilizados. Para definir estos costos se requiere asignar un valor monetario de los centros de costos de apoyo a los centros de costo operativos (Kaplan, 2008, p.12).

#### **7.5.4.2. Capacidad práctica de los recursos**

Este concepto hace referencia a la cantidad total de tiempo en la cual se van a distribuir los costos del departamento operativo, el producto o actividad para su cálculo se establece, por ejemplo, utilizando minutos como unidad de tiempo, cuántos son los minutos en que efectivamente puede laborar un trabajador directamente relacionado con la actividad durante un período de tiempo determinado, sin incluir a los coordinadores o personal de apoyo (Kaplan, 2008, p.12).

#### **7.5.4.3. Coeficiente de costo por actividad**

Este indicador representa el valor monetario aplicado en función de la cantidad de tiempo invertida, tanto a los productos como a los servicios o actividades. Se calcula con la siguiente relación:

$$\text{Coeficiente de costo por actividad} = \frac{\text{Costo de capacidad suministrada}}{\text{Capacidad práctica de los recursos}}$$

#### **7.5.4.4. Tiempo (como inductor de costo)**

Este indicador se refiere a la cantidad de tiempo que requiere cada actividad u objeto de costo para llevarse a cabo, al cual se le puede adicionar los tiempos de subtareas en función de la complejidad de dichas instrucciones técnicas, sin necesidad de modificar todo el sistema de costos. Para llevar esto a cabo se establecen ecuaciones temporales para incorporar tiempos con base en la complejidad de cada una. (Calderón, 2014, p.5).

#### **7.5.4.5. Ecuaciones temporales**

Estas ecuaciones expresan la relación entre el tiempo y otra variable, aspectos que permiten describir el pasado y a su vez generar proyecciones para su comportamiento futuro. El sistema TDABC se enfoca en desarrollar ecuaciones temporales lineales aditivas que cuantifican el tiempo empleado por cada actividad, multiplicado por las unidades de producción. A diferencia del modelo convencional ABC donde se resolvía el problema ampliando el diccionario de actividades, en el modelo TDABC, si existe una variación en estas características, se calcula de nuevo el

tiempo de la actividad, incorporándola en las ecuaciones lineales (Kaplan, 2008, p.13).

#### **7.5.4.6. Importe de actividades en los costos**

“Se refiere al costo total en el que impacta cada actividad estudiada. Esta es cuantificada en función de su porcentaje y valor monetario” (Calderón, 2014, p.5).

#### **7.5.4.7. Etapas para el diseño de un sistema de costeo TDABC**

Según Calderón (2014), las etapas para implementar el TDABC son las siguientes:

- Identificar las actividades realizadas respecto a la producción y entrega de un bien o un servicio, las cuales se asocian en función de su origen para crear grupos de recursos.
- Determinar cuántos recursos (materiales, humanos y financieros) son invertidos por cada grupo de recursos.
- Estimar la capacidad normal de cada grupo de recursos en función del tiempo invertido en cada actividad (horas de trabajo).
- Calcular los costos unitarios de los inductores de cada grupo de recursos, aplicando la relación entre los recursos consumidos y la capacidad normal.

- Para cada actividad se debe determinar el tiempo necesario para su realización en función de sus características.
- Para valorar cada actividad se procede a multiplicar el costo unitario de los recursos por el tiempo necesario para su realización.

#### **7.5.4.8. Deficiencias del costeo tradicional en comparación con el sistema de costos basado en tiempo de actividades TDABC**

Según Calderón (2014), los sistemas tradicionales de costeo presentan ciertas deficiencias debido a la antigüedad de la concepción de este modelo. Estas deficiencias son resumidas a continuación:

- Mayor proporción de los costos indirectos: la constante necesidad de diferenciación provoca que las empresas busquen diferenciarse por lo que constantemente crean departamentos o actividades para diferenciar sus productos. Por ejemplo, áreas como cuidado al ambiente, investigación y desarrollo, capacitación de personal y gestión de la calidad, son áreas que se deben prorratear en cuanto a su costo en el precio de los bienes producidos.
- Mayor proporción del costo al capital: este hace referencia al capital (equipamiento o mecanización) necesario para producir un bien o un servicio, ya que inminentemente se corre el riesgo al hacer una inversión para desarrollar y comercializar dicho bien. Si la empresa no es capaz de cubrir estos costos no podrá renovar su capital productivo.

- Constante necesidad de mejorar la productividad: el costeo tradicional tiene un enfoque basado explícitamente en la medición de indicadores de tiempo pasado y carece de instrumentos para poder interpretar o proyectar las condiciones a futuro.

## 8. ÍNDICE PROPUESTO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Industria de cemento

1.1.1. Cemento Portland

1.1.2. Cemento adicionado (blended)

1.1.3. *Clinker*

1.1.4. Cemento en la economía

1.1.4.1. Cemento en la economía

1.1.4.2. Indicadores globales referentes a cemento

1.1.4.3. Indicadores latinoamericanos referentes a cemento

1.1.4.4. Indicadores económicos latinoamericanos

1.1.4.5. El mercado del cemento en Guatemala

#### 1.2. Laboratorio químico

1.2.1. Investigación y desarrollo

- 1.2.1.1. Panorama mundial de la investigación
- 1.2.1.2. Situación crítica en avances científicos y tecnológicos en Guatemala
  - 1.2.1.2.1. Plan K'atún
  - 1.2.1.2.2. Cienciometría
  - 1.2.1.2.3. Patentes
- 1.2.2. Servicios del Centro de Investigación CI+D
  - 1.2.2.1. Azul de metileno
  - 1.2.2.2. Cal disponible
  - 1.2.2.3. Calor de hidratación de cemento
  - 1.2.2.4. Carbonato de calcio equivalente
  - 1.2.2.5. Determinación de tamaño y forma de partícula (PSD)
  - 1.2.2.6. Determinación de CO<sub>2</sub>
  - 1.2.2.7. Determinación de color
  - 1.2.2.8. Difracción de rayos X (XRD)
  - 1.2.2.9. Fluorescencia de rayos X (FRX)
  - 1.2.2.10. Humedad
  - 1.2.2.11. Índice de apagado de cal viva
  - 1.2.2.12. Pérdida al fuego (LOI)
  - 1.2.2.13. Determinación de pH
  - 1.2.2.14. Reactividad Álcali-Carbonato (RAC)
  - 1.2.2.15. Reactividad Álcali-Sílice para agregados de concreto (RAS)
  - 1.2.2.16. Residuo Insoluble (RI)
  - 1.2.2.17. Sulfatos solubles en agua
  - 1.2.2.18. Termogravimetría
- 1.3. Sistemas de costeo
  - 1.3.1. Costos de producción

- 1.3.2. Costos directos
- 1.3.3. Costos indirectos
- 1.3.4. Sistemas tradicionales de costeo
- 1.3.5. Costos basados en actividades (ABC)
  - 1.3.5.1. Conceptos básicos del ABC
  - 1.3.5.2. Cuatro fases para el diseño de un sistema de costos ABC
  - 1.3.5.3. Deficiencias del sistema de costeo basado en actividades
- 1.3.6. Sistema de costos basados por tiempo de actividades (TDABC)
  - 1.3.6.1. Costos de la capacidad suministrada
  - 1.3.6.2. Capacidad práctica de los recursos
  - 1.3.6.3. Coeficiente de costo por actividad
  - 1.3.6.4. Tiempo (como inductor de costo)
  - 1.3.6.5. Ecuaciones temporales
  - 1.3.6.6. Importe de actividades en los costos
  - 1.3.6.7. Etapas para el diseño de un sistema de costos TDABC
  - 1.3.6.8. Deficiencias del costeo tradicional en comparación con el sistema de costos basado en tiempo de actividades TDABC

## 2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

## 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## 4. CONCLUSIONES

## 5. RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

## 9. METODOLOGÍA

El enfoque es mixto debido a que se observarán los ensayos realizados y se describirán de forma cualitativa para definir los principales generadores de costo a los ensayos realizados por el laboratorio químico del CI+D, para la creación de un sistema que determine los recursos físicos, humanos y económicos invertidos en cada actividad realizada por el laboratorio, para cubrir el aspecto cuantitativo. Estas serán variables numéricas que se describirán bajo la percepción de su investigador y asesor, por lo que será un diseño no experimental.

La investigación propuesta tiene un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo), con un alcance descriptivo de corte transversal y diseño no experimental. Con acceso a datos históricos para su posterior interpretación.

El diseño de la investigación será no experimental debido a que no se realizará un experimento, lo que se hará es plantear entrevistas estructuradas para conocer los antecedentes de la organización y los objetivos que ha adoptado la organización desde su origen, y también se observará una población de ensayos, para analizar sus características y luego plantear con base en esto un sistema de costos basado en actividades. Será de corte transversal, ya que se llegarán a conocer los efectos del problema y se analizarán las variables para la formulación de un sistema.

Esta investigación tendrá un alcance tipo descriptivo, ya que se analizarán las actividades del laboratorio químico en un horario laboral de lunes a viernes, de 7:00 a 16:00, identificando las limitantes de cada ensayo en cuanto a uso de equipo, recurso humano y monetario. Se diferenciarán los análisis productivos de los de servicios. Luego se describirán los pasos de los ensayos pertinentes, para culminar generando el diseño del tipo de sistema de costeo que más se ajusta a las necesidades de laboratorio químico en el CI+D, el sistema de costeo TDABC y así utilizarlo como una directriz estratégica dentro del marco gerencial, definiendo el porcentaje de aporte de cada actividad y su rentabilidad.

La metodología a seguir en la investigación para la resolución del problema está sustentada en la revisión de la literatura y se desarrollará en fases, cada una correlacionada a una pregunta de investigación y a un objetivo específico, comenzando por la revisión de la literatura se proporcionan las bases para iniciar la investigación desde la fase metodológica, teórica y práctica.

### **9.1. Variables a utilizar en la investigación**

- Variables independientes

Las variables independientes están asociadas a todos esos datos que se obtendrán a partir de la recolección de datos por observación y con entrevistas. Se buscará la opinión de las jefaturas para evidenciar su percepción ante el costo que conllevó la creación y el mantenimiento del CI+D. Con datos históricos se buscará la distribución de los costos por actividad tomando en cuenta costos de personal, instalaciones, operacionales, no operacionales y de servicios. Bajo estos preceptos se analizará la distribución de costos del laboratorio químico del CI+D.

- Variables dependientes

Las variables dependientes se refieren al sistema de costeo TDABC generado a partir de los datos observados y recopilados.

- Cuadro de variables e indicadores

Las variables dependientes e independientes se muestran en conjunto asociadas a cada objetivo de la investigación en la siguiente tabla:

Tabla IV. Operativización de variables

	OBJETIVO	VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	INDICADOR	PLAN DE TABULACIÓN
General	Diseñar un sistema de costos para determinar la rentabilidad total de la operación, servicios externos prestados y de la labor de investigación y desarrollo en el laboratorio químico de un centro de investigación y desarrollo (CI+D) en la industria del cemento.	Estado actual del laboratorio químico en el CI+D	Dependiente Cuantitativa Continua	Rentabilidad generada por ensayos	
Específicos	Describir la importancia estratégica de los factores para la migración de un laboratorio químico a convertirse en un CI+D en la industria del cemento guatemalteca	Criterio en cuanto a Inversión, aporte a la empresa, desempeño, planes pactados	Independiente Cualitativa Continua	Entrevistas a gerentes, jefes y coordinadores	Seran obtenidos con entrevista abierta
	Identificar como están distribuidos los recursos físicos, humanos y económicos para los ensayos y actividades del laboratorio químico del CI+D y a su vez que porcentaje de los costos de operación ocupan del mismo.	Identificación de recursos, tiempos y actividades	Independiente Cuantitativa Continua	Personal, Instalaciones, Operacionales, tiempo medio, Servicios	Por observación directa y acceso a información histórica
	Proponer el diseño de un sistema de costos basado en tiempo de actividades (TDABC) para determinar de mejor manera la rentabilidad y sustentabilidad del laboratorio químico del CI+D.	Costos indirectos, costos directos,	Independiente Cuantitativa Continua	Ecuaciones temporales, coeficientes de actividad, capacidad instalada	

Fuente: elaboración propia.

## 9.2. Fases de investigación

El proceso para cumplir con los objetivos de la investigación se llevará a cabo en las siguientes fases:

- Fase 1. Revisión documental: se realizará una revisión documental relacionada al trabajo de investigación en la cual se redactará un marco teórico y antecedentes que involucren a todos los temas abordados en el diseño de investigación.
- Fase 2. Diagnóstico de la visión de CI+D: en esta fase se obtendrá la información pertinente a la creación del CI+D, como el conocimiento preliminar de su estructura de costos, para esto se debe ordenar los datos recopilados y definir líneas de estudio.
- Fase 3. Análisis de recursos y actividades: para esta fase se analizarán los recursos y actividades que utiliza el laboratorio químico del CI+D y cómo se distribuyen para su asignación en los diferentes ensayos realizados y, con base ingenieril, analizar su efectividad y oportunidades de mejora.
- Fase 4. Propuesta de un sistema de costeo TDABC: se diseñará el sistema de costeo basado en tiempo de actividades TDABC utilizando la metodología propuesta por Kaplan y Cooper (2008), la cual tiene las siguientes etapas:
  - Identificar el proceso involucrado en la elaboración de informes de ensayos en el laboratorio químico del CI+D.
  - Realizar un estudio *benchmark* del precio de los ensayos en el mercado.
  - Identificar cuáles ensayos son aptos para la investigación y cuáles ya son empleados por la parte productiva de la organización.

- Determinar cuánto está gastando el laboratorio químico en cada una de sus actividades (ensayos) a través de un estudio de tiempos.
- Identificar los productos, servicios y clientes del laboratorio químico.
- Seleccionar los servicios en función de inductores de costos de las actividades que vinculan los costos de las actividades con los productos, servicios y clientes.
- Asignar los costos de los recursos a las actividades y luego a las prestaciones del área.
  - Asignar costos indirectos a través ecuaciones temporales.
  - Asignar costos directos.
- Determinar la rentabilidad real en función de los costos por ensayo obtenidos con el sistema de costeo propuesto.
- Fase 5, Descripción de los beneficios: documentación de la tesis donde se llevará a cabo la presentación de resultados, discusión de los mismos, redacción de conclusiones y recomendaciones para culminar con la redacción del informe final.
- Resultados esperados:

En esta investigación se espera obtener lo siguiente:

- Desarrollar la visión para el CI+D mediante entrevistas y evaluar su operación actual.
  - Un flujograma de cada ensayo realizado por el laboratorio químico, así como la distribución de los recursos aplicados a cada actividad.
  - Un sistema de costeo para cuantificar la rentabilidad real de cada uno de los ensayos que realiza el laboratorio químico del CI+D.
  - Determinar si en los ensayos existe un subcosteo, sobrecosteo y subsidios cruzados entre los ensayos del CI+D.
- Plan de muestreo

El laboratorio químico del CI+D cuenta con un catálogo de 19 ensayos para los cuales se decidió analizar la población total (19), aplicando la teoría del muestreo estadístico para un nivel de confianza del 95,0 % y un error estándar del 5,0 % y que, al contar con el dato de población identificado, se aplica la fórmula:

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N - 1)e^z + \sigma^2Z^2}$$

Donde:

- $n$  = tamaño muestra
- $N$  = tamaño población

- $\sigma$  = desviación estándar de la población que, al no tener su valor, convencionalmente suele utilizarse el valor de 0,50.
- $Z$  = tipificación del nivel de confianza en la distribución normal, y cuyo valor a un nivel de confianza es del 95 % y a dos colas es 1,96.
- $e$  = error en la muestra, que varía entre 0,01 y 0,09, que para esta investigación será de 0,05.

Tabla V. **Cálculo de la muestra**

Variable	Valor	Variable	Valor
$N$	18	$Z$	1,96
$\sigma$	0,5	$e$	0,05
<b><math>n = 17,14</math></b>		Tamaño de la muestra 18	

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla 2, en el cálculo de la muestra existe una disminución insignificante respecto a la población, por lo que se decide utilizar toda la población para el estudio.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En esta sección se analiza cada etapa propuesta en la metodología para determinar las técnicas de estadística descriptiva para el análisis de información utilizadas como herramienta para analizar y concluir.

La primera fase consta de revisión documental, por lo que no posee una parte que utilice técnicas estadísticas para el análisis de la información.

En la segunda fase se desarrollarán entrevistas estructuradas (apéndice 1), en las cuales se trasladará la información recolectada en forma de prosa, por lo que no requerirá una técnica estadística para su descripción.

En la tercera fase será donde se realizará una toma de tiempos (en el apéndice 2 se analizarán los recursos humanos, espaciales, físicos y económicos) que conllevan las actividades que conforman los ensayos de laboratorio químico del CI+D. Para esto se realizan flujogramas para determinar los recursos utilizados en los 19 ensayos que ofrece el laboratorio químico, así como un estudio de tiempos donde se utilizarán los métodos estadísticos descritos a continuación para su análisis.

En la cuarta fase se realizará un sistema de costos con una técnica de costeo TDABC, para la cual se compararán las actividades realizadas para todos los análisis y una comparación aritmética de los mismos. Se contarán con las siguientes fuentes para el desarrollo de la investigación:

- Fuentes primarias:
  - Entrevistas: se realizarán entrevistas a personal en jefaturas, coordinaciones y gerencia del CI+D, y en algunos casos a clientes y proveedores, para obtener la visión y la razón bajo las cuales fue fundado el CI+D, y el enfoque actual en el que se encuentra operando. Se debe definir qué se espera de la organización en el presente y qué futuro se vislumbra para la misma (ver apéndice 1).
  - Observación directa: permitirá describir y analizar las actividades que conforman cada ensayo del laboratorio químico del CI+D (ver apéndice 2).
  - Tablas de registro: permitirá recopilar la información necesaria para el estudio de los tiempos de cada actividad.
  
- Fuentes secundarias:

La información se recabará de las siguientes fuentes:

- Revistas de publicaciones internas de la organización.
- Reportes de resultados en años previos del CI+D.
- Análisis de efectividad de métodos de costeo en otras industrias o empresas.

## 11. CRONOGRAMA

Figura 14. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación es factible debido a que se cuenta con todos los recursos y autorización para ejecutarlo en el período de tiempo establecido en este informe. El CI+D autoriza la ejecución de este sistema de costeo TDABC financiando los siguientes recursos:

- Humanos: el personal operativo del laboratorio químico tanto como las jefaturas y gerencia del CI+D presentarán la disposición de tiempo para participar en la etapa de recolección de información.
- Tecnológicos: se contará con acceso a los equipos que utiliza el laboratorio químico para obtener registros y mediciones históricas.
- Información: acceso a la información pertinente al estudio respetando los derechos de propiedad.
- Infraestructura: se tendrá total acceso a las instalaciones al momento de realizar el diagnóstico y la recopilación de datos.

Tabla VI. **Presupuesto**

<b>Núm.</b>	<b>Recurso</b>	<b>Descripción del gasto</b>	<b>Q</b>	<b>%</b>
1	Capital humano	Tiempo del investigador	8 000,00	41 %
2	Capital humano	Tiempo del asesor de la investigación	2 500,00	13 %
3	Material	Papelería	2 000,00	10 %
4	Transporte	Gasolina y depreciación de vehículo	2 500,00	13 %
5	Alimentación	Almuerzos	2 000,00	10 %
6	Tecnológico	Internet	1 000,00	5 %
7	Varios	Imprevistos	1 500,00	8 %
		Total	17 000,00	100 %

Fuente elaboración propia.

### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARISMENDI, F. (2016). *Plan de mejoras para un manejo eficiente de los costos de producción y los gastos operacionales en un Taller de Redes*. Chile: Universidad Austral de Chile.
2. Armstrong, T. (2013). *An overview of global cement sector trends. Insights from the Global Cement Report*. 10th Edition. Perú: International Cement Review.
3. Benites, D. L. (2011). *Implementación de un sistema de costeo ABC para la creación de una ventaja competitiva en la empresa F & F Kids S.A.C*. Perú: Facultad de Estudios de la Empresa, Universidad Privada del Norte.
4. Calderón, M. R. (2014). *Propuesta en la administración de costos de los departamentos de asistencia a los centros de producción en un sector de la industria de especialidades químicas, en la Ciudad de Guatemala, a través de un sistema de costeo por tiempo de actividad TDABC*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
5. Contreras, H. y MacCawley, A. (2006). *Implementación de un modelo de costos ABC en una empresa vitivinícola*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

6. FICEM. (2013). *Informe estadístico del cemento en Latinoamérica*. Colombia: Federación Interamericana del Cemento.
7. ICEX. (2012). *El mercado del cemento en Guatemala*. Guatemala: Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Guatemala.
8. Kaplan, R. y Anderson, S. (2004). *Time driven activity based costing*. Boston: Harvard Business Review.
9. \_\_\_\_\_. (2008). *Costes basados en el tiempo invertido por actividad. Una ruta hacia mayores beneficios*. España. Ediciones Deusto, 2008.
10. \_\_\_\_\_. (1998). *Measure costs right: make the right decisions*. Boston: Harvard Business Review.
11. Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; PANARESE, William C.; y TANESI, Jusara. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. EE.UU.: Portland Cement Association, Skokie,
12. López, M. R.; Gómez, A. y Marín, S. (2011). *Sistema de costos ABC en la mediana empresa industrial mexicana*. España: Universidad de Cantabria, 12(30), págs. 23-43.
13. Méndez, O. M. (2006). *Determinación y distribución de costos basados en actividades en una industria heladera*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

14. Montoya, E. E. y Rossel, B. C. (2006). *Aplicación del sistema de costeo basado en actividades del Área de Radiología del Hospital Clínico Universidad de Chile*. Chile: Facultad de Economía y Negocios, Universidad de Chile.
15. Sampieri, R. (2012). *Metodología de la investigación*. Sexta Edición. México: McGraw-Hill.
16. UNESCO. (2017). *Relevamiento de la investigación y la innovación en la República de Guatemala*. G. A. Lemarchand, editor. Colección GO->SPIN de perfiles nacionales en políticas de ciencia, tecnología e innovación, vol. 6. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
17. Vásquez, J. C. (1972). *¿Las críticas del ABC involucran a los costos estándares integrales?* Argentina: Pontificia Universidad Católica de Argentina Santa María De Los Buenos Aires.



# APÉNDICES

## Apéndice 1. Plantilla de entrevista

Nombre del Personal : \_\_\_\_\_  
Años de Experiencia : \_\_\_\_\_

### INTERPRETACIÓN DE ACTIVIDAD

Descripción de actividad \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### Diagrama de Flujo de la Actividad con tiempos

Recursos necesarios \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Existe cuello de botella? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Cuando se realiza la actividad? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Qué se necesita para mejorar la actividad? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Plantilla de toma de tiempo de actividades

Nombre del Personal : \_\_\_\_\_

Años de Experiencia : \_\_\_\_\_

### MEDICIÓN DE TIEMPOS POR ACTIVIDAD

Actividad Realizada	Descripción de pasos a seguir	t1 (min)	t2 (min)	t3 (min)	t medio

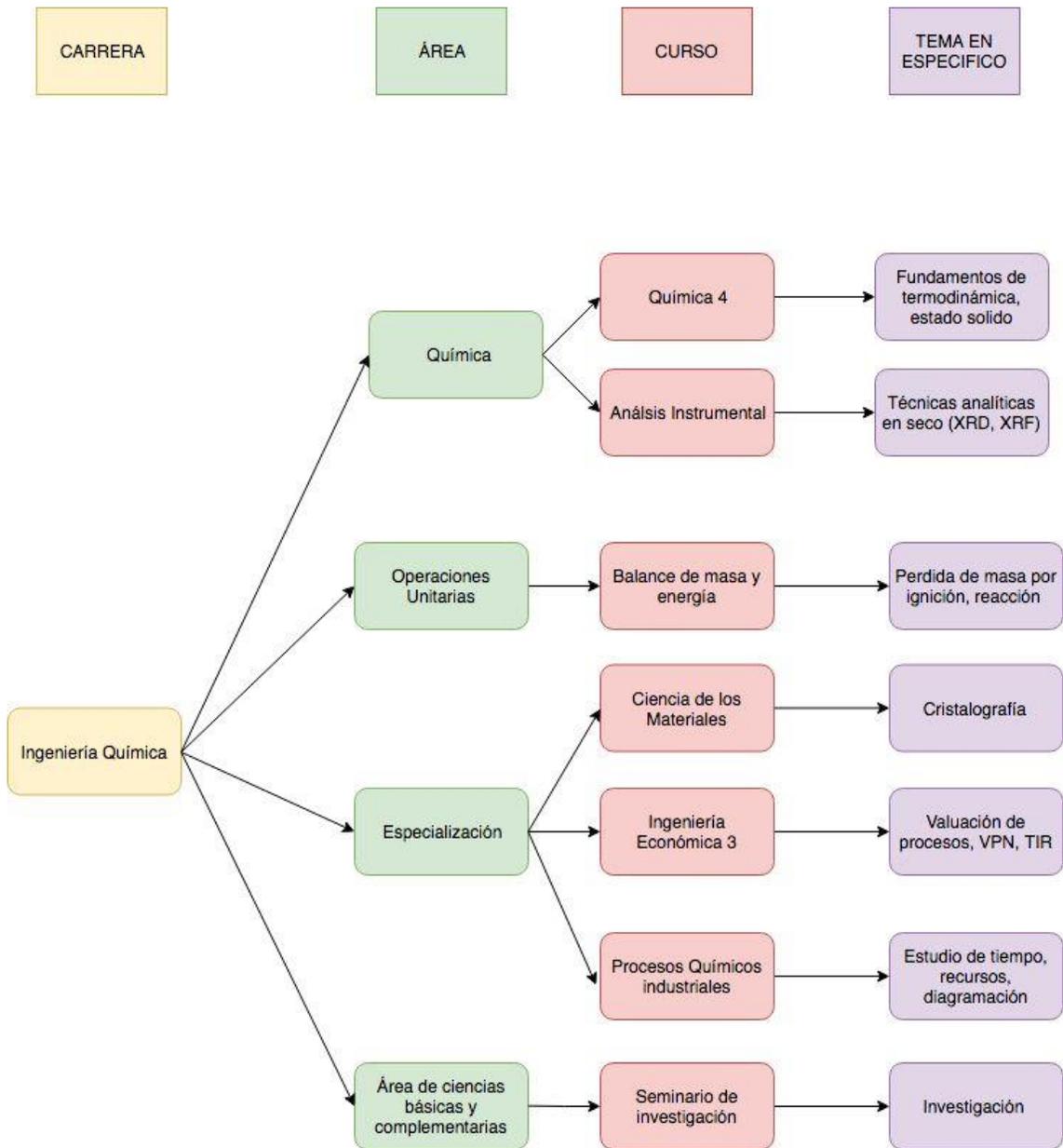
Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

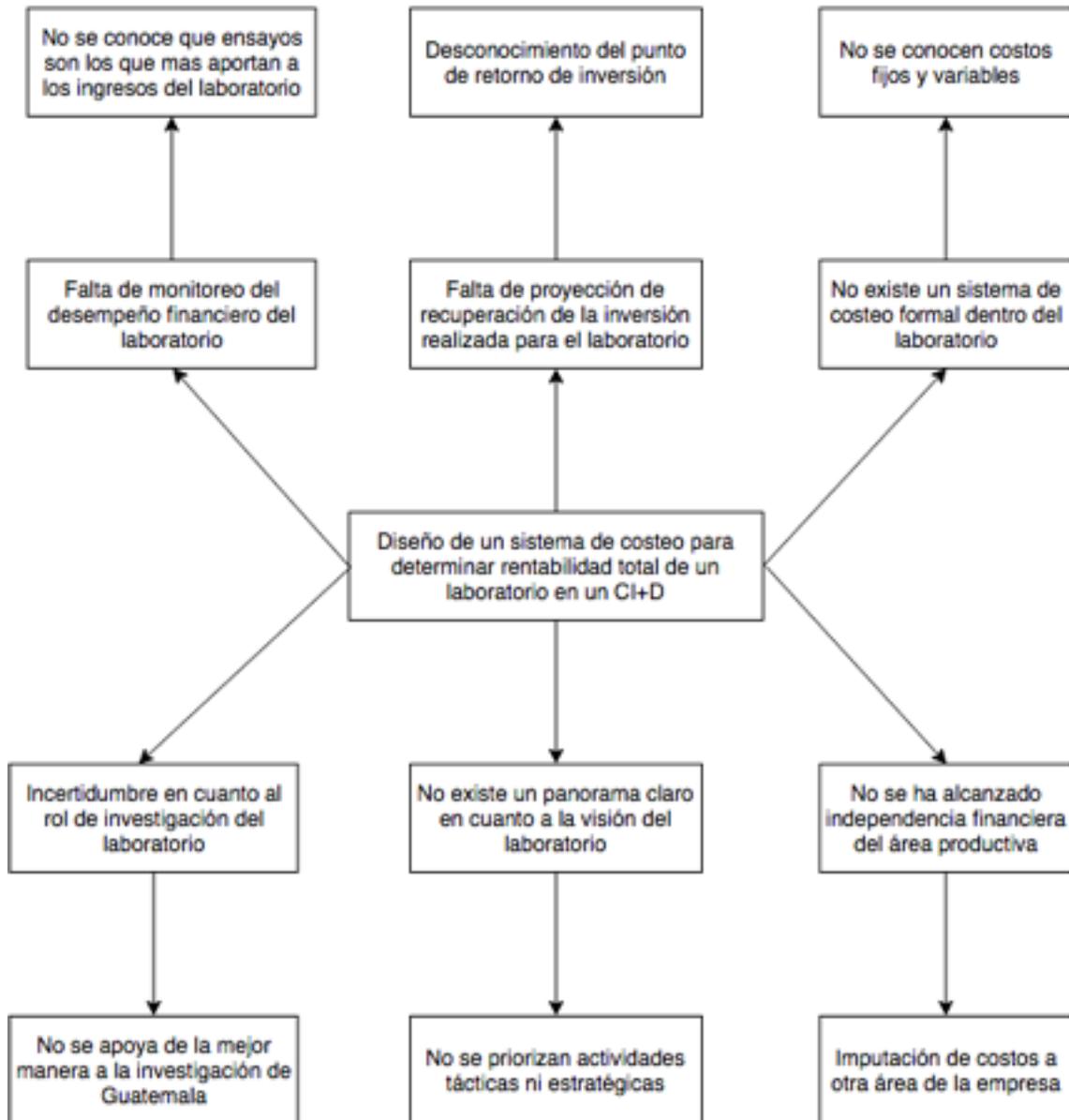
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Diagrama de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Diagrama de árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.