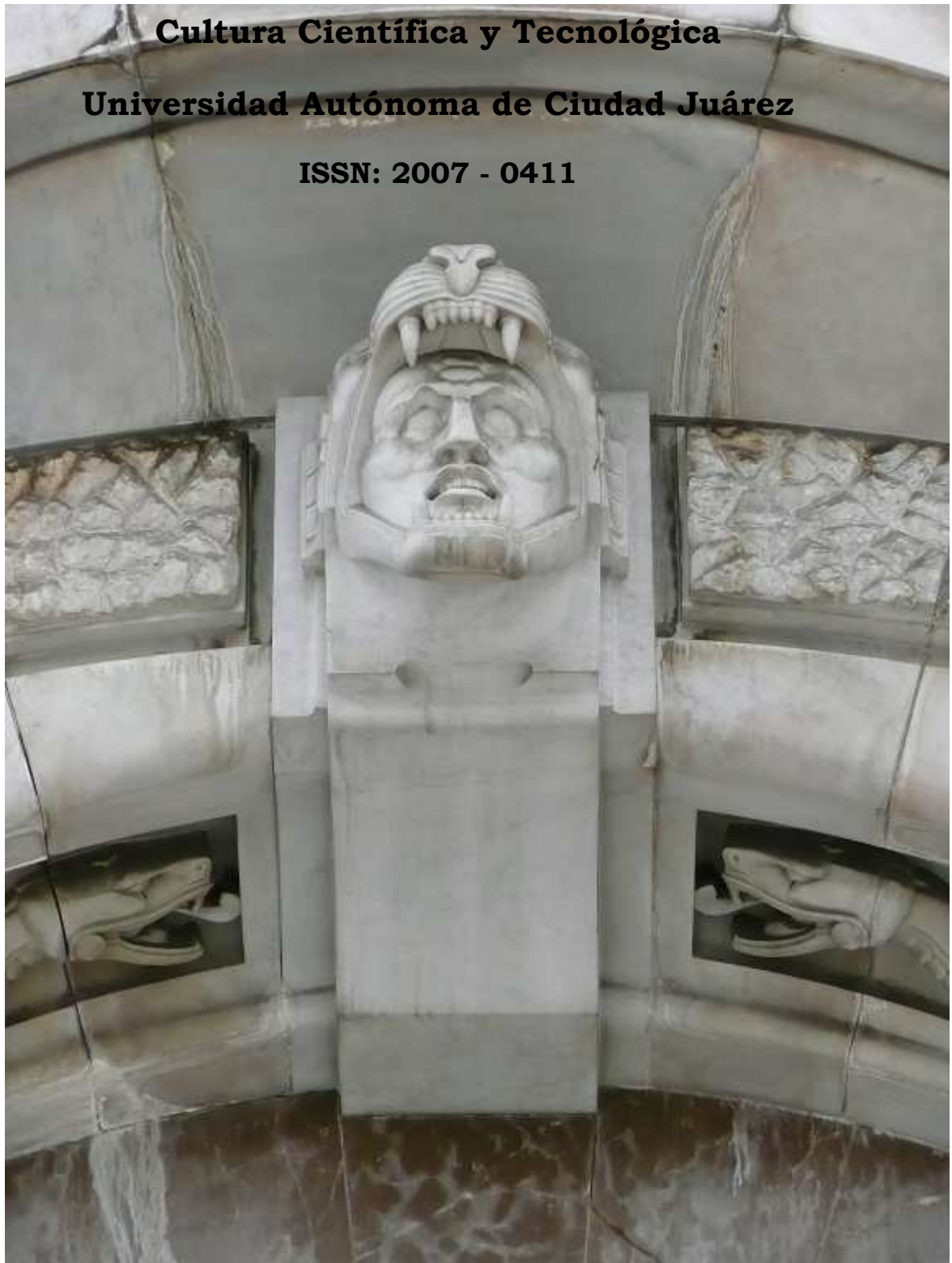


CULCYT

Cultura Científica y Tecnológica

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

ISSN: 2007 - 0411



Septiembre – Diciembre, 2010. Año 7, Num. 40-41



**Universidad Autónoma
de
Ciudad Juárez**

Directorio

Mtro. Javier Sánchez Carlos
Rector

MC David Ramírez Perea
Secretario General

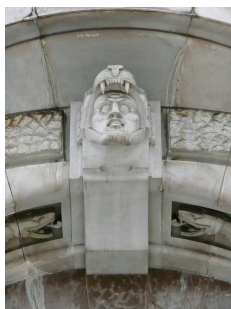
MC Antonio Guerra Jaime
**Director
Instituto de Ingeniería y Tecnología**

MC Servando Pineda Jaimés
**Dirección General de Difusión
Cultural y Divulgación Científica**

Lic. Mayola Renova
Subdirección de Publicaciones

Taller Editorial CULCyT

Instituto de Ingeniería y Tecnología
Av. Del Charro 610 Nte.
Edificio "E", 1^{er} Piso



Portada: Caballero Jaguar.
Foto Culcyt.

CULCyT

Fundador y Director Editorial

Dr. Victoriano Garza Almanza

Comité Editorial

Dr. Mohammad Badii
Dr. Cuauhtémoc Calderón
Dra. Lucy Mar Camacho
Dr. Pedro Cesar Cantú
Dr. Rutilio García
Dr. Victoriano Garza
Dr. Jorge A. Ordóñez
Dr. Jorge E. Rodas
Dra. Edna Rico
Dr. Jaime Romero
Dr. Barry Thatcher
Dr. Gilberto Velázquez

Columnas

MC Luís Felipe Fernández
Dr. Victoriano Garza
Dr. Jorge A. Ordoñez
Dr. Jorge E. Rodas O.

Webmaster

Lic. Luís A. Villalobos Álvarez

Cultura Científica y Tecnológica (CULCyT) es una revista académica multidisciplinaria, publicada bimestralmente por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez a través del Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT), que tiene como misión contribuir a la formación integral de los jóvenes universitarios y fomentar el interés público por la ciencia y la tecnología. Diseñador editorial Victoriano Garza. Oficina: Av. del Charro 610 Nte. Edificio "E" 213-E. C.P. 32310. Cd. Juárez, Chihuahua. MÉXICO. Tel/Fax (52-656) 688-48-00 al 09.

© CULCyT *Cultura Científica y Tecnológica*.

ISSN: 2007 - 0411

Correo electrónico: vgarza@uacj.mx

Los autores son responsables de sus textos.

Revista indexada en:

CONACYT. <http://atoz.ebsco.com/titles.asp?id=10312&sid=95556181&TabID=2>

DIALNET. Universidad de La Rioja. España. <http://dialnet.unirioja.es/>

Directory of Open Access Journal. Lund University. Suecia. <http://www.doaj.org/>

LATINDEX. Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal: LATINDEX. México. <http://www.latindex.unam.mx/>

OEI. Organización de Estados Iberoamericanos. Para la Educación, la Ciencia y la Cultura. http://www.oei.es/indice_credi.htm

New Jour. Georgetown University. EU. <http://library.georgetown.edu/newjour/>

CULCyT en línea: <http://www2.uacj.mx/IIT/CULCYT/default.htm>

EDITORIAL

CARTA DEL EDITOR

4 PRESENTACIÓN

ARTICULOS ORIGINALES

UNIVERSIDAD

5 LA UNIVERSIDAD: ORIGENES Y EVOLUCIÓN
Francisco J. López Benavides, Nina del Rocío Martínez Ruiz, J. Armando Gándara
Fernández

CONOCIMIENTO

14 AUTODIDACTISMO: ¿UNA ALTERNATIVA PARA UNA EDUCACION DE
CALIDAD?
José Valente Barrón López, Sergio Flores García, Oscar Ruiz Chávez, Sergio Miguel
Terrazas Porras

23 LAS RELACIONES HUMANAS EN EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS
NATURALES
Francisco J. López Benavides, Nina del Rocío Martínez Ruiz, J. Armando Gándara
Fernández

34 LA GENERALIZACIÓN DE PATRONES CUADRÁTICOS: UN ESTUDIO CON
ALUMNOS DE LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS
Mario Silvino Ávila Sandoval, Carlos López Ruvalcaba, Juan Luna González

BASES DE DATOS

41 EVALUACIÓN DE BASES DE DATOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
REPOSITORIO DE OBJETOS DE APRENDIZAJE
Luis A. Loya Acosta, Victoria González de Moss, Patricia C. Parroquín Amaya

53 PERTINENCIA DE LA FORMALIZACIÓN DE DOMINIOS SEMI-
FORMALMENTE DEFINIDOS EN EL ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS
Karla Olmos Sánchez, Jorge Rodas Osollo, Luis Felipe Fernández

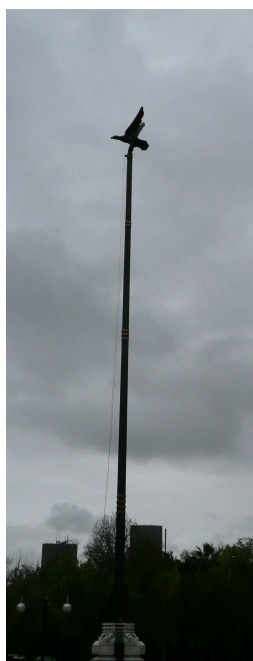
- 69** RECONOCIMIENTO DE ROSTROS CON VISIÓN POR COMPUTADORA Y OPTIMIZACIÓN BASADA EN CÚMULOS DE PARTÍCULAS
Mitzel Avilés Quintero

MODELADO

- 80** ESTIMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CANAL DE COMUNICACIÓN WIMAX
Víctor Hinostroza, Guillermo César López Caden
- 94** SELECCIÓN DE PROVEEDORES USANDO EL MÉTODO MOORA
Jorge Luis García Alcaráz, Jaime Romero González, Ismael Canales Valdivieso
- 106** MODELACIÓN DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA DE MASA EN COLUMNAS DE LECHO FIJO DE LA BIOADSORCIÓN DEL Cr(VI) USANDO TRANSFORMADAS DE LAPLACE
Jaime Romero González, Jorge Luis Garcia Alcaraz, Gilberto Velázquez Angulo, Aidé Araceli Maldonado Macías, Ismael Canales Valdivieso, Jaime Romero Rodríguez, Rosana Ramírez Martínez
- 132** MODELADO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE TIPO PEM
Néstor Ramírez Morales Gabriel Izaguirre Maya Nidia Fernanda Trujillo Sánchez

ERGONOMÍA

- 145** DESARROLLO DE DATOS ANTROPOMÉTRICOS PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ EN CIUDAD JUÁREZ
Aidé Maldonado-Macías, Roberto Romero, Juan J. Zapata, Erwin Martínez, Salvador Noriega



Carta del Editor

Para los editores, es un agrado llevar a cabo la edición de este número de la Revista *CULCyT* Cultura Científica y Tecnológica, en el cual se exponen una selección de los mejores trabajos presentados en los festejos de la XVI Semana de Ingeniería que se realizó del 20 al 24 de septiembre de 2010 en el Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Este número incluye diversos temas de investigación, los cuales se relacionan con estudios sobre la universidad, modelado, bases de datos, ergonomía y teoría del conocimiento.

Se agradece a los autores y a los revisores de los artículos por sus contribuciones.

Editores invitados

Dr. Jaime Romero González

Dr. Jorge Luis García Alcaráz

Octubre de 2010

LA UNIVERSIDAD: ORIGENES Y EVOLUCIÓN

Francisco J. López Benavides, Nina del Rocío Martínez Ruiz, J. Armando Gándara
Fernández

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

El presente artículo muestra un recorrido por la historia de la universidad y su establecimiento en México, con la final de difundir los orígenes de la misma en la comunidad universitaria a fin de contribuir a una mayor identidad con la institución, en especial en las ciencias de la ingeniería. La tendencia a olvidar el aspecto humano y social de la educación, en esta área del conocimiento, no permite al alumno dimensionar adecuadamente a la Universidad como la Institución social, depositaria de la docencia, investigación y la cultura, de la comunidad, el País y el Mundo, formadora de las generaciones que tendrán en el futuro los destinos de nuestro País. Sin el origen, no podemos explicar el presente y definir el futuro.

Palabras clave: Universidad, edad media, educación.

La educación, ha sido desde que el hombre apareció en la tierra, la forma de comunicar sus hechos y de transmitir sus conocimientos, así como el medio de generar nuevos conocimientos y tecnologías, lo cual en los últimos años ha sido de una manera vertiginosa, comparativamente, no con los orígenes, sino con los últimos dos mil años. Esta alta especialización y diversificación del conocimiento, sobre todo en áreas como la ingeniería, no hace olvidar aspectos que contribuyen a la formación integral y universal de los estudiantes, condición que

pese al avance de la ciencia, ha mantenido, con cambios obvios del avance del hombre, sus tradiciones e intenciones. Por lo cual es importante ver en retrospectiva los orígenes de la Universidad y su evolución hasta la actualidad, sobre todo en México.

El proceso educativo se puede ver desde los orígenes del hombre y desde las diferentes culturas, pero sería demasiado largo abordarlo desde esa perspectiva, así que partiremos de los orígenes que conforman la sociedad llamada occidental y que termina con su implementación en

México. Los orígenes del modelo educativo del mundo occidental inician en la antigua Grecia, donde se destacan dos escuelas: la ateniense y la espartana, la primera es el modelo que siguieron los griegos, los romanos y los cristianos de la edad media. La segunda fue perdiendo fuerza cuando la hegemonía griega se expandió por el mundo conocido y el aspecto militar decayó a favor del literario e intelectual (Hernández de la Fuente, 2009).

Los antiguos griegos, daban el nombre de paideia (derivado de pais, niño) a la educación que recibían los niños a partir de los siete años. Su objetivo era la formación integral, a través de la enseñanza literaria y retórica, científica y filosófica, incluyendo la educación física y artística. Su origen se fija en el siglo V A.C. y se consolida en el siglo II A. C., permaneciendo con romanos y cristianos hasta la baja edad media.

En este modelo educativo, los niños quedaban al cuidado de un pedagogos (pedagogo), normalmente un esclavo, que debía llevarlos a la escuela y traerlos así como ayudarles en sus clases y tareas y enseñarles moral. Las niñas eran educadas en casa, aunque si hay datos de ciertas zonas donde también fueron a escuelas. Las escuelas eran privadas y las atendían los

grammatistes o maestros de primeras letras (grammata), hasta que cumplían 12 o 14 años. Los alumnos escribían en tablillas de madera colocadas sobre las rodillas sentados en taburetes, no existían los pupitres. Y el maestro se auxiliaba también de otros materiales para impartir su clase.

La asistencia a clase, era diaria, no había fin de semana, aunque si muchas festividades y era desde que amanecía hasta el atardecer. Los alumnos ingresaban al segundo nivel o secundario a los 14 años y permanecían hasta los 18, en este nivel ya se profundizaba más en los diferentes campos, literatura, matemáticas, geometría, aritmética, música y astronomía; es la época de los grandes maestros y filósofos. Aquí cabe destacar la formación física desarrollada en una palestra o gimnasio principalmente en la práctica del pentatlón, así como el pugilato y el pancracio. Finalmente a los 18 años el adolescente se convertía en un joven (ephefos) y empezaba la última etapa de formación como ciudadano de Grecia. La llamada efebía, en la cual realizaba el servicio militar al tiempo que desarrollaba el espíritu cívico y democrático de la ciudad. Así al cumplir los 21 años el podía optar por una profesión, médico, filósofo, orador, matemático, militar, etc. Esta última etapa se puede

considerar como la Universidad a la Griega (Hernández de la Fuente, 2009).

Por otra parte, Esparta difería de este modelo educativo, aunque al final terminó adoptándolo, lo cual condujo al debilitamiento y posterior conquista de Grecia por Roma. La educación espartana estaba encaminada a formar soldados y mujeres que dieran hijos sanos, el niño deja el hogar a los siete años para ingresar a las *agelai*, donde se criaba con otros niños; a los doce se sometía a un duro entrenamiento físico y clases de música, a los dieciocho años entraba al servicio militar y a los veinte se incorporaba a la vida de la ciudad.

El servicio militar no lo abandonaba hasta que era un anciano, condición que en esa época era difícil de alcanzar. Las niñas también recibían instrucción física, dura, con el fin de dar hijos sanos, preparando sus cuerpos para el parto. Ya que los hijos débiles, con deformaciones o enfermos eran abandonados a su suerte en el monte (Cano, 2009).

Surgimiento de la universidad

El modelo griego, sobrevivió hasta la entrada de la edad media, en donde la educación pasó a manos de las órdenes religiosas o de la iglesia, ya que los estudiantes de esta época eran considerados

para todos los efectos como clérigos menores.

Es en la edad media cuando surgen las primeras universidades propiamente dichas, ya que en un inicio los monjes eran quienes impartían la enseñanza de carácter religioso, es decir escuelas monásticas, las primeras aparecen en el siglo IX y evolucionaron hacia escuelas catedralicias en el siglo XI, cuyo propósito era formar sacerdotes más letrados. Es decir, su propósito principal era formar sacerdotes. Sin embargo también atraieron a hombres que deseaban educarse sin ser sacerdotes. Lo cual originó la aparición de la Universidad.

Las primeras Universidades Europeas aparecen en el siglo XII y recibe su nombre del latín *Universitates*, que significa corporación, es decir se organizaron en corporaciones de profesores y alumnos, con derecho a gobernarse autónomamente. La primera Universidad se constituyó en Bolonia en 1088, después siguieron la de Oxford en 1096, la de París, Montpellier, Toulouse, Cambridge, Padua, Palencia, Valladolid, Salamanca y Coimbra durante el siglo XII. En el siglo XIII se generalizó el uso del papel y del libro y aumentaron las obras firmadas por el autor.

En estos centros se difundían las ideas de Aristóteles, Tomas de Aquino, Ockham y Bacón, que analizaban la fe y la razón. Las Universidades se dividían en facultades de artes, derecho, medicina, y teología. El Idioma usado era el latín, aunque posteriormente surgieron escritos en las lenguas locales (Iglesias, 2009; Alonso, 2009).

Los jóvenes estudiantes ingresaban a la Universidad a partir de los 14 o 15 años y primeramente cursaban durante seis años, en la facultad de artes, dos grupos de materias: El Trivium, que comprendía gramática, retórica y lógica, y el Quadrivium, que comprendía aritmética, geometría, astronomía y música.

Las clases eran impartidas en el más puro modelo conductista, el profesor leía en voz alta y comentaba un texto, mientras los alumnos tomaban apuntes. Los alumnos debían memorizar los textos para poder reproducirlos y discutirlos, pero no en sentido crítico, sino solo para demostrar su comprensión. El modelo era mayormente teórico. Los libros eran costosos, pues eran hechos a mano, por lo que los alumnos recurrían mayormente a la biblioteca para su consulta.

Cuando el alumno consideraba que estaba preparado para acceder a un grado, entonces presentaba los exámenes, solo en ese momento los presentaba. El grado más básico era el de bachiller, que le permitía desempeñar diferentes actividades, pero principalmente le permitía continuar con sus estudios. Seguía el de magíster el cual le permitía ser profesor de cualquier universidad de la cristiandad. Después de este grado podía optar por el de doctor. El doctorado más breve era en artes que tenía una duración entre cuatro y seis años. El de medicina demandaba diez años y tenía una clara función en el ejercicio de la práctica. El de derecho entre doce y trece años lo que le permitía convertirse en burócrata o incluso acceder a la corte de un rey o aristócrata. El más largo y complejo era el de teología que duraba como mínimo quince años.

El proceso de presentación de exámenes era riguroso y muy protocolario. Iniciaba cuando el estudiante solicitante del examen juraba ante el rector, una semana antes, cumplir los estatutos de la universidad y no sobornar al jurado. El día de examen oía misa y luego se presentaba ante sus profesores, los cuales le entregaban un texto y daban un tiempo para preparar la exposición que era un acto público, donde

contestaba las preguntas de los examinadores y era aprobado o no para el grado solicitado. Este sistema conocido como Lectio-Disputatio. También era usado para la obtención del grado doctoral, con la variante que el texto era sustituido por la tesis del candidato. Si era aprobado, el nuevo doctor debía correr con los gastos del festejo que seguía (Valdaliso, 2010).

En todos los casos y Universidades, la mayor parte de su egresados estaban encaminados a administrar el aparato político de la época, con el fin de mantener el estatus quo, sin embargo, gracias a los mecenazgos que se daban, pues la vida del estudiante era difícil por no poder trabajar durante sus estudios, hizo nacer una mentalidad humanista que dio paso al renacimiento.

Las universidades evolucionaron hacia este nuevo enfoque educativo que planteaba el renacimiento, sin embargo no todas lo hicieron al mismo tiempo y eso origino distintos avances en el conocimiento, ocasionado que los diferentes países avanzaran unos más que otros, los procesos oscurantista y conservadores de la religión fueron un traba en este sentido, siendo el caso de España uno de los modelos conservadores, que lamentablemente traslado a América, en el

caso particular a México. Esto no quita que el modelo español, concretamente el de Salamanca, no haya alcanzado grandes aportaciones, pues la conquista coincide con la época de oro de las letras y la educación en España, sin embargo el modelo se mantuvo inamovible por más tiempo del deseado y origino un atraso que desencadeno en el decaimiento de la grandeza española como se muestra a continuación.

La universidad en la Nueva España

Con la caída de Tenochtitlan, y el inicio de la colonia, la naciente Nueva España, necesita contar con pobladores, españoles o no, que permitieran el desarrollo de actividades fundamentales para esa época, como era la instrucción teológica, la explotación de los recursos naturales y los servicios de los grupos dominantes. Así, los primeros educadores fueron los religiosos españoles, cuya prioridad era la conversión de los naturales a la nueva religión, para lo cual era necesario contar con indígenas que dominando el español y el latín, pudieran en su lengua nativa, enseñar las bellas artes y la filosofía y más tarde, cuando se definiera si eran seres con alma o no, transmitir las sagradas escrituras, por lo cual nace la primera institución española de educación

superior en la Nueva España: El Colegio De Santa Cruz de Tlatelolco, fundado en 1536.

El aumento de la población, tanto española como de origen español, llamados criollos, originó la demanda de una institución de educación superior que estuviera a la altura de las españolas. Así, en 1547, se expide la primera cédula de creación de la Real y Pontificia Universidad de México, conforme a las constituciones de la Universidad de Salamanca, en España. La segunda y definitiva se da en 1551; alcanzando fama tanto en Europa como en América, de institución de vanguardia en América a partir de 1553. En los siguientes doscientos años, el prestigio de la Universidad se afianzo contando con un alto número de egresados en sus diferentes grados, que desarrollaban sus actividades no solo en México, sino en toda la América Española.

La demanda de personal capacitado encargado de la administración del virreinato y las actividades eclesiásticas, originó la creación de los Colegios Universitarios a partir de 1573. Estos se dividían en tres tipos:

1 El Colegio Mayor de Santa María de Todos los Santos.- Encargado de la formación sacerdotal, puestos básicos de la administración y educación, de manera

rigurosa y selectiva, con altos estándares de calidad académica. (1573)

2 Colegio de Comendadores de San Ramón Nonato.- Responsable de la formación de los funcionarios aptos para gobernar y ejercer justicia. (1628)

3 Colegio de San Ignacio de Loyola, mejor conocido como de las Vizcaínas.- Encargado de la educación de mujeres en criterios pedagógicos y filosóficos. Cabe destacar que en esta época no era muy bien visto que las mujeres recibieran educación superior, la más fuerte impulsora de este colegio fue Sor Juana Inés de la Cruz. (1767).

Las instituciones con actividades de investigación científica, relacionadas con la docencia, aparecen a partir de 1781 y destacan tres:

1 La Academia de las Nobles Artes de San Carlos de la Nueva España.- Abarcaba el campo de la pintura, escultura y arquitectura. (1781)

2 La Escuela de Minería.- Abarcaba el campo de la explotación del subsuelo mexicano. (1783)

3 El Jardín Botánico.- Abarcaba el campo de la flora susceptible de ser aprovechada económicamente y su desarrollo en el comercio, farmacología y medicina. (1787)

Hacia el final de la colonia, los avances científicos y literarios de la Nueva España y el viejo mundo inundaba a las clases intelectuales de la colonia, a pesar de la censura de la Santa Inquisición, la cual poco pudo hacer para mantener la ortodoxia de los dogmas religiosos e incuestionables, en contra del liberalismo europeo, en especial el francés. Preparando en forma sólida el camino a la Independencia (Robles, 1993).

La universidad en el siglo XIX y XX

El inicio de la guerra de independencia, desquicia el sistema educativo en México, de hecho se mantendrá casi todo el siglo XIX, por las constantes guerras y asonadas del país. Sin embargo, sí se presentan avances, los primeros se ven reflejados al final de la guerra de independencia, con la naciente República. En 1833, la coordinación y el servicio escolar recaerían en la Dirección General de Instrucción Pública para el Distrito y Territorios Federales, iniciando a su vez una pugna entre las autoridades de la República y el clero, pues no hay que olvidar que este último, controlaba desde la colonia la instrucción escolar, desde la primaria hasta la superior. El encuentro fue frontal, que

incluso desencadenó la guerra de Reforma y la posterior intervención francesa.

El Estado y no el clero sería, a partir de este momento responsable de las decisiones en materia educativa. De forma que la enseñanza superior descansó en seis establecimientos descentralizados del ámbito universitario, pues la Real y Pontificia Universidad quedó clausurada para el ejercicio docente y científico:

- 1.- Estudios preparatorios
- 2.- Estudios ideológicos y humanidades
- 3.- Ciencias físicas y matemáticas
- 4.- Ciencias eclesiásticas
- 5.- Ciencias médicas
- 6.- Jurisprudencia

En 1836 se instituyó el Colegio Militar., así como escuelas normales, el Instituto de Geografía, y estadística, las escuelas nocturnas para adultos y la Biblioteca nacional.

A pesar de ser un siglo altamente inestable socialmente, y que las instituciones educativas se cerraban y abrían según el grupo en el poder, cabe destacar que en esta época nacen los llamados Institutos Literarios y Científicos en cada estado, Algunos ya existían desde la colonia como el de San Nicolás en Michoacán, del que fueron rectores Hidalgo y Morelos, más

pasaron del control del clero al del estado. Benito Juárez se forma en el Instituto de Ciencias y Artes de Oaxaca. Son estos institutos los que dotan de los pensadores y políticos que darán un enorme impulso al espíritu liberal, que finalmente triunfará y serán estas instituciones las que en su evolución darán paso a las Universidades Públicas estatales en la mitad del siglo XX.

Con la República restaurada a la caída del Imperio y el arribo del Porfiriato, la Paz que se vive permite empezar la reconstrucción. Nace la Escuela Nacional Preparatoria y la Secretaria de Instrucción Pública. Durante el Porfiriato se consolidaron las instituciones de la República en materia educativa y al cumplir 100 años de vida independiente la Nación, El ministro de educación de Don Porfirio, El maestro Justo Sierra logra en el Marco del Centenario, el 22 de septiembre de 1910, inaugurar la reestructurada y modernizada Universidad Nacional De México. Sin embargo, otro evento empañó este logro del maestro Sierra: La Revolución Mexicana.

De nueva cuenta la gesta revolucionaria detendrá la vida pública en México, pero a diferencia del movimiento de independencia, la afectación en el sistema educativo no es tan impactante, y

permite continuar con su avance una vez termina la lucha armada, Asumiendo en el gobierno de Obregón la recién creada Secretaria de Educación Pública (SEP), José Vasconcelos y Antonio Caso la rectoría de la Universidad. Los Gobiernos de Obregón y Calles dan un fuerte impulso a la educación y desarrollo del País, aparecen las primeras universidades estatales (México, Puebla, Guadalajara, Michoacán y San Luis Potosí), al mismo tiempo empieza la lucha por la autonomía universitaria, lográndola en 1929, durante el gobierno del Lic. Portes Gil, el 2 de agosto de 1929, Naciendo la Universidad Nacional Autónoma de México, siendo el Lic. José López Lira su primer Rector (Robles, 2010).

Conclusiones

Es deseable marcar el fin de este artículo en este punto, pues la intención era generar el interés de conocer el origen de la universidad y como se llevo en su evolución hasta nuestro país. El análisis de la vida universitaria a partir del la revolución y durante todo el siglo XX y XXI, es propio de otro estudio aparte.

En los estudios de ingeniera es muy común dar importancia a las ciencias naturales y matemáticas, así como de las

ciencias de la ingeniería, más el desconocimiento del origen de la institución en que estudian y el camino que el saber humano a recorrido para llegar a la institución en que estudian a llevado a la desvinculación institucional, la falta de amor a la camiseta.

La formación integral de los universitarios no descansa solo en el saber disciplinario sino en la culturización y los valores que le permitan ser un agente de cambio social, comprometido con su entorno y el desarrollo sustentable del mismo, a fin de lograr una sociedad más justa y más democrática que nos permita transitar por el camino de la paz.

Acuñando un ideal educativo, se destacan tres asignaturas básicas para construir todo conocimiento humano. Las matemáticas, las que nos permiten contar con un pensamiento estructurado y formal, la gramática, que nos permitirá expresar de

forma adecuada nuestras ideas y principios y al historia, pues necesitamos de manera ineludible, saber nuestros orígenes, nuestro tránsito por el tiempo, nuestra evolución y nuestros errores para vivir y mejorar el presente y delinear nuestro futuro.

Referencias

Cano Cuenca, Jorge. 2009. El mejor ejército de Grecia: Esparta. *Historia de National Geographic* N ° 69. Barcelona, España.

Hernández de la Fuente, David. (2009). La educación de los niños en la antigua Grecia. *Revista Historia de National Geographic*, N ° 64. Barcelona, España

Iglesias, Ivan. 2009. La semilla del conocimiento; la vida en la edad media. *Muy Interesante*, N ° 58, México D.F.

Alonso, Abraham; Otero, Luis. 2009. El resurgir de las ciudades; la vida en la edad media. *Muy Interesante*, N ° 58, México D.F.

Robles, Martha. 1993. *Educación y sociedad en la historia de México*. Ed. Siglo XXI, México, D.F.

Valdaliso, Covadonga. 2010. La vida de los estudiantes en la edad media. *Historia de National Geographic*, N ° 72. Barcelona, España.

AUTODIDACTISMO: ¿UNA ALTERNATIVA PARA UNA EDUCACION DE CALIDAD?

José Valente Barrón López, Sergio Flores García, Oscar Ruiz Chávez, Sergio Miguel Terrazas Porras

Departamento de Física y Matemáticas
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

El autodidactismo es la forma en que un individuo es capaz de forjar su propia educación, o bien, es el arte de aprender por sí mismo. La sociedad actual, así como las nuevas tecnologías, ponen al alcance una infinidad de recursos como son los sistemas de comunicación masivos y las fuentes de información electrónicos, los cuales se caracterizan por potenciar un importante desarrollo intelectual. Pero, ¿puede el sistema educativo de México ofrecer una educación con todas las posibilidades para una educación de calidad? En este artículo mostramos las características de una formación integral de alta calidad y las distintas alternativas que tiene el autodidactismo para adaptarse a las condiciones de un sistema educativo fundamentado en la inercia de una enseñanza tradicional.

Palabras clave: Autodidactismo, Educación, Calidad.

Introducción

El término autodidactismo se refiere a la capacidad que tiene un sujeto de conformarse a sí mismo, siendo él mismo el que educa y es educado, el que da y recibe. Es una forma de aprendizaje que consiste en que cada persona se convierte en su propio maestro y adquiere los conocimientos por interés, a partir de los estímulos disponibles (http://www.definicion.org). De esta manera, el individuo se administra

materiales educativos con la finalidad de formarse profesionalmente en algún campo del conocimiento, es un gran observador, incluso de sí mismo. A medida que éste avanza, se le abren nuevas metas. En algún momento de este proceso necesita ayuda, de lo cual, en el caso general, es consciente, por ello, en el momento que necesita ayuda la busca, y ya sea que la encuentre o no termina la tarea que comenzó. Por otra parte, “el autodidacta no sólo aprovecha cualquier

oportunidad, sino que las genera. Este estilo de estudio hace del aprendizaje una actividad automática. Así, el individuo no aprende para aprobar ningún examen, ni para lucir sus conocimientos. Se aprende por el simple placer de aprender, donde el conocimiento o habilidad adquiridos son su mayor recompensa. Por lo tanto, podemos afirmar que el autodidactismo es el método que mejor demuestra que el aprendizaje es posible” (Enebral, 2006).

El autodidactismo puro no existe: El hombre empieza su conformación mediante la heteroeducación, es decir, influenciando directamente por otros, para luego ir adentrándose en el autodidactismo. Además, “el hombre se configura como consecuencia de la interacción que establece con el medio ambiente. Según la riqueza de esta interacción, el sujeto se independizará en mayor medida del medio, de modo que pueda situarse frente a él y dominarlo” (Sarramona, 1991).

De acuerdo a Sarramona (1991), “Debesse afirma que la educación no crea al hombre, le ayuda a crearse a sí mismo, y Humbert la define como una tutela que tiene por misión conducir al sujeto hasta que no tenga necesidad de tutela”, la mayoría de las personas tienen su propio

concepto. Aunque existan diversas maneras de entender este término, y más aun de llevarlo a cabo, surge la idea de perfeccionamiento, vinculada a una visión ideal del hombre y la sociedad. Así, la educación significa la única posibilidad de realización del ser humano, pero no puede ser una simple imposición externa, sino que, para alcanzar sus más nobles metas, precisa de la cooperación voluntaria del propio sujeto.

Como se puede apreciar en las definiciones anteriores de educación, el individuo llega a una etapa de su vida en la cual tiene posibilidad de educarse a sí mismo, sin la necesidad de un educador, o sea, puede abordar el autodidactismo como una forma de perfeccionamiento de su persona. Así, el presente trabajo pretende abordar ciertas consideraciones en torno al autodidactismo como una alternativa para una educación de calidad.

Características de una educación de calidad

El término calidad ha sido insertado en la educación desde hace varios decenios y los explícitos e implícitos del mismo han sido marcados por las políticas del país en su momento (sexenios presidenciales). “El principal objetivo del sistema de

educación pública es proporcionar a todos los estudiantes una educación de buena calidad, apropiada a sus capacidades, pertinente y útil para ellos y sus familias: sus comunidades y su nación a lo largo sus vidas” (CIDE, 1990). Este sistema de educación debe estar fundamentado en la idea de que, en las comunidades humanas la educación es una actividad dirigida a la preparación de nuevas generaciones y a todas aquellas personas que así lo deseen. Esto con el fin de suscitar y desarrollar en el individuo determinado número de estados físicos, intelectuales y morales requeridos por la sociedad en su conjunto y el medio especial al que está particularmente destinado. “El individuo, al querer la sociedad, se quiere a sí mismo. La acción que ella ejerce sobre él, especialmente por la vía de la educación, no tiene por objeto, ni por efecto comprimirlo, disminuirlo o desnaturalizarlo, sino por el contrario, agrandarlo y hacer de él un ser verdaderamente humano. Es indudable que sólo puede engrandecerse así haciendo un esfuerzo. Precisamente el poder de hacer voluntariamente ese esfuerzo es una de las características más esenciales del hombre (De Ibarrola, 1985). Siendo el autoestudio uno de estos

esfuerzos para obtener una educación de calidad.

Como recapitulación del significado de calidad en la historia moderna de México se cuenta con el análisis presentado por Beatriz Calvo, donde enfatiza que “Calidad en la Educación” tiene tantos significados como políticas existen (Calvo, 1991). Marqués Graells(2002), indica que la OCDE en 1995 define la educación de calidad como aquella que asegura a todos los jóvenes la adquisición de los conocimientos, capacidades, destrezas y actitudes necesarias para equipararles para la vida adulta, además afirma que J. Mortimore define que la escuela de calidad es la que promueve el progreso de sus estudiantes en una amplia gama de logros intelectuales, sociales, morales y emocionales, teniendo en cuenta su nivel socioeconómico, su medio familiar y su aprendizaje previo y que un sistema escolar eficaz es el que maximiza la capacidad de las escuelas para alcanzar esos resultados.

En este sentido podemos entender que una educación de calidad es aquella que:

- Asume de manera colectiva la responsabilidad de los resultados de aprendizaje de todos sus alumnos y se

compromete con el mejoramiento continuo del aprovechamiento escolar.

- Procura la operación basada en normas, compartiendo sus experiencias e impulsando procesos de autoformación de sus actores.
- Es una comunidad educativa integrada que promueve la equidad y garantiza que los educandos adquieran los conocimientos, desarrollen competencias, habilidades y valores necesarios para alcanzar una vida personal y familiar plena, participen en el trabajo productivo y continúen aprendiendo a lo largo de toda la vida.

La mayoría de estas instituciones y las personas tienen una idea de calidad relacionada con perfeccionamiento y mejoramiento. Sin embargo, la forma de lograrlo muestra una panorámica compleja por la intervención de múltiples factores sociales, políticos y económicos. Por ejemplo, diversos cambios a nivel organización, reticulares, departamentales, de docentes y económicos han surgido a través de reformas hacia el mejoramiento de la calidad de la educación.

El autodidactismo en México

A través del tiempo, la educación en México al igual que en otras partes del mundo ha venido dándose por medio de modelos establecidos, los cuales han sido modificados al paso de la historia adecuándolos a las necesidades reinantes en ese momento. Uno de estos modelos educativos es la escuela tradicional. “Esta propuesta educativa presenta al maestro como dueño absoluto del conocimiento y el método, teniendo como rasgos distintivos el verbalismo y el autoritarismo.

Es en este contexto donde el verbalismo es uno de los obstáculos más serios, porque la exposición del profesor substituye de manera sustantiva otros tipos de experiencias, como puede ser la lectura, fuentes didácticas, la observación y la experimentación. Así, la ciencia se convierte en algo estático y el profesor en un mediador, mientras que la dependencia que se establece entre el profesor y el alumno favorece una actitud acrítica en el sistema de las relaciones sociales” (Pansza, 1992). Siendo este modelo el promotor para que el maestro sea el amo y señor del conocimiento y el método y es el único con autoridad de decir: cómo, que, cuándo y dónde estudiar.

“Los métodos tradicionales de enseñanza, quizá desarrollan la buena memoria, pero difícilmente las capacidades creativas. Muchos estudiantes pasan aproximadamente 30 horas semanales en las aulas, escuchando a los profesores y tomando apuntes, los que después memorizan y repiten en los exámenes. Por otra parte, hace mucho que la lectura ha dejado de ser una preocupación de educadores y de padres de familia. Esta enorme laguna comienza en la primaria y se hace más ancha y profunda con el paso de los años escolares (Wingartz, 1993). Además, pareciera ser que las preocupaciones del profesor deben limitarse a lograr que los alumnos alcancen los objetivos de su programa de estudios, que se mantenga la disciplina, que se seleccione la mejor actividad de aprendizaje, etc. Aunque es cierto que estas preocupaciones u obligaciones del profesor son válidas, no se debe olvidar que la educación en todo su desarrollo nunca deja de ser formativa.

En el contexto de la educación superior “hace tiempo que no se educa. Parece ser que únicamente se entrena y se ha venido a exacerbar una tendencia creciente desde los años cincuenta de ofrecer y cursar carreras especializadas

que limitan y truncan la capacidad intelectual del educando (Wingartz, 1993). El estudiante así, está destinado a asimilar únicamente lo que se le informa a diario en el salón de clases. Dicho alumno se estancará en cuanto a los avances más importantes en el mundo de la ciencia, perderá la cualidad intuitiva, la investigativa y sobre todo se estará convirtiendo en un ser totalmente dependiente en la asimilación de conocimientos. Por lo tanto, el individuo que durante su vida estudiantil no procuró educarse a sí mismo, durante su vida profesional tendrá grandes probabilidades de permanecer en la oscuridad, ya que difícilmente será capaz de tomar decisiones por sí solo, y siempre estará a la expectativa de que otras personas lo hagan por él.

“La escuela nueva, la cual desplaza la atención centrada en el maestro hacia una atención centrada en el alumno, no ha tenido la suficiente fuerza para erradicar a la escuela tradicional. Además, la influencia de este movimiento ha sido mínima en la educación” (Pansza, 1992). La implementación de esta corriente no logra superar el llamado modelo tradicional ya que solo es una modernización del mismo. Esta propuesta

presenta una visión reduccionista del maestro, lo limita al plano de la intervención técnica, pero al fin de cuentas el maestro conserva la autoridad y el conocimiento dentro y fuera del aula.

“Desde mediados de este siglo aparece una nueva corriente: La Escuela Crítica o Didáctica Crítica, que pugna por recobrar la reflexión, el análisis, y la autogestión como elementos indispensables en todo proceso educativo” (Pérez, 1983). El reto para esta nueva escuela es inmenso, pues perturba los cimientos mismos de las instituciones, criticando y descubriendo el currículum oculto de la escuela: roles, actos, normas, funciones, autoridades, etc., que si bien, siempre han existido, ahora se exponen abiertamente proponiendo nuevos procesos y cambio de papeles.

Esta propuesta confiere al alumno poder de cambio, de gestión, reconociéndolo como actor social, lejos del elemento pasivo receptor, del recipiente vacío que debe ser llenado por un conglomerado de asignaturas por profesores o computadoras como si fuera un sistema de almacenamiento. Por otra parte, esta visión quita al maestro el halo de omnisciencia, dueño del conocimiento

y de la verdad absoluta, liberándolo de una práctica docente mecánica y acrítica que limita y entorpece su propio desarrollo. Lo rescata de su papel expositor, cuestionando la realidad estática y segmentada, y de lo absurdo de los rituales existentes, proponiendo que alumnos y profesores puedan fundirse para cuestionar e investigar, crear para crecer juntos dentro de una dialéctica de grupo.

Pero: ¿Cómo empezar esa transformación en la enseñanza, si se encuentra tan arraigada la actitud de dependencia en la relación pedagógica?, y ¿Cuál podría ser un primer paso para romper con el esquema de reproducción en la escuela? Definitivamente una base importante en el poder conferido al maestro en su autoridad, estriba en el conocimiento - además de otros elementos otorgados por la institución y la sociedad -, y el alumno que está al final de esta cadena de autoridad carece de poder (Pansza, 1992). Sin embargo, éste debe ser capaz de encontrar fuentes alternativas de conocimiento y apropiarse de él por sí solo para romper paradigmas ancestrales.

Algunas de estos innumerables recursos de información son: libros de

texto, literatura en general, conferencias, revistas, manuales, experimentación personal, dinámicas de grupo, etc. La lista es suficiente larga para satisfacer diversos gustos, “lo que falta es despertar el apetito de información”. Además, de tener a la mano información técnica, - relativa a su profesión -; está a su disposición todo un abanico de disciplinas que se involucra cotidianamente como historia, literatura, sociología, nutrición, filosofía, etc., que puede abordar, conocer, saborear y buscar su relación con los demás saberes y su yo interno, para percatarse de que la realidad solo puede ser comprendida a través de conocimientos interconectados. Entonces, se entiende que es necesario que adquiera una cultura que rebase el terreno de su área de especialización, porque la cultura es fruto de su esfuerzo de un proceso de absorción y reelaboración personal.

Las bondades del autodidactismo no son solo una de las herramientas clave para la actualización permanente del profesionista, para que sea capaz de adaptarse a los procesos y a los cambios, sino también representan un medio hacia una educación integral. “Aprender a aprender, no se refiere únicamente a la capacidad de buscar información y

apropiarse de ella, sino que implica aprender a discriminar información y fuentes de información.

También, supone analizar lo que se está adquiriendo y buscar el enlace o la confrontación con lo ya adquirido, circunscribir en nuestro quehacer lo aprendido, interpretar, sintetizar, e ir logrando en este difícil proceso, independencia de pensamiento, independencia de juicio y la posibilidad de crear, innovar y producir. Esto va mas allá, porque al estar investigando el alumno por su propia cuenta logra entender, por si mismo, algo – inclusive que ya sabía -, experimenta un sentimiento de logro, de satisfacción personal, de autoestima y alimenta la confianza en sí mismo” (Arcudía, 1991). Así se pasa inadvertidamente del autodidactismo a la autoformación.

Cuando el alumno empieza a formarse a sí mismo, se despliega una tremenda fuerza transformadora, que no solo lo afecta a él como individuo sino que hasta su ambiente es influenciado por esta. ¿Quién puede tan solo imaginar un salón de clase con 20 ó 40 alumnos, reflexivos, críticos, analistas, con independencia de juicio y soporte técnico para cuestionar lo que se está enseñando?,

revelándose ante la asignación social de que alumno es el que aprende y maestro el que enseña y esto no en detrimento del papel del profesor, sino para su mutuo enriquecimiento.

“Los alumnos aportan a la enseñanza un interés directamente proporcional al grado de actividad que se le permite desplegar. Su interés es mayor si pueden resolver por sí mismos un problema mediante la investigación personal. De esta manera la actividad mínima desarrollada por el alumno al actuar como espectador provoca con frecuencia el escaso interés del educando por el asunto que se le presenta. Además, reduce su actitud de simple espectador, neutral o totalmente ausente, y rara vez interesado” (Hans Aebli, 1958).

Así, profesores y estudiantes estarán en el umbral de empezar una nueva relación pedagógica, reuniéndose ambos partes para conocer y generando nuevas expectativas que rebasen los objetivos del programa de una u otra materia, entretejiendo diferentes disciplinas y aprendiendo dentro de verdades más completas. Claro está que, para lograr materializar grupos operativos de trabajo en el aula se debe andar un largo camino, donde el autodidactismo

podría ser uno de los primeros pasos. Tal vez no precisamente el primero, puesto que es necesario involucrar al maestro antes de convencer al alumno de adentrarse en el océano de posibilidades a las que puede acceder por medio de esta herramienta de aprendizaje.

El maestro es la persona más indicada para llevar al alumno de la mano hacia el autodidactismo, utilizándolo como un método de enseñanza más a su disposición. Es precisamente el/ella quien debe estar plenamente convencido del potencial de este estilo de estudio, sabiendo que sobre una base cultural es posible acceder con menor dificultad a nuevos campos del saber, tendiendo a la búsqueda constante de nueva información. Esta es solo una estrategia que puede intentarse con la finalidad de mejorar el nivel de calidad educativa. Es apenas el comienzo de una búsqueda hacia una nueva educación que recupere lo más valioso de la experiencia docente e incorpore los grandes aprendizajes que dejan tanto los teóricos contemporáneos en su constante reflexión sobre el hecho educativo.

Conclusiones

Se lograría una mejor calidad en la educación, si el estudiante dedicara su tiempo libre buscando y absorbiendo sistemáticamente conocimientos de toda naturaleza. De esta manera el autodidactismo no se postula como una panacea de los retos de calidad que afronta el sistema de educación, sino como una alternativa rentable del proceso enseñanza-aprendizaje, siendo este un primer paso en el arduo camino de superar la escuela tradicional o tecnocrática, hacia una escuela didáctica y crítica.

Finalmente, el maestro puede sembrar la semilla del autodidactismo en cualquier momento, utilizando todos los recursos disponibles a su alcance (labor de convencimiento, autoridad, recursos didácticos), para inculcar en su práctica docente diaria esta connotación, lo cual lo llevaría a engrandecer en proporciones geométricas las posibilidades de aprendizaje de su alumno, mostrándole el camino de superación constante como profesional, como ciudadano y como persona.

Referencias

- Arcudia García, Isabel. 1991. La impartición del Conocimiento: ¿Formación o Información?, México. *Avances ITCJ, Boletín Académico*, vol. 1, No 4.
- Calvo Pontón, Beatriz. 1991. Formación de Maestros y Calidad Educativa desde el Punto de Vista Oficial (Ponencia), en *Primer Encuentro de Innovación en Educación Básica*, México, Editorial Esfinge.
- CIDE (Consejo Internacional para el Desarrollo en la Educación) .1990. *Estrategias para Mejorar la Calidad de la Educación en México*, México, D.F.
- De Ibarrola Nicolín, María. 1985. *Las dimensiones Sociales de la Educación*, México, Ediciones El Caballito.
- Enebral Fernández, José. 2006. *Formación continua de directivos-Autodidactismo (o autodidaxia)*.
http://www.wikilearning.com/monografia/formacion_continua_de_directivos-autodidactismo_o_autodidaxia/15776-4. Consultado: Septiembre 24 del 2010
- Hans, Aebli. 1958. *Una Didáctica Fundada en la Psicología de Jean Peaget*, México, Editorial Kapelusz.
<http://www.definicion.org/autodidactismo>. Consultado Septiembre 24 del 2010
- Marqués Graells, Pere. 2002. *Calidad e Innovación Educativa en los Centros*. Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). Barcelona España.
<http://peremarques.pangea.org/calida2.htm>. Consultado: Septiembre 24 del 2010
- Pansza González, Margarita. 1992. *Sociedad-Educación-Didáctica, en Fundamentos de la Didáctica*, vol. I, México, Ediciones Gernika s.a., 5ª, Edición
- Pérez Juárez, Esther C. 1983. Reflexiones Críticas en Torno a la Docencia, *Perfiles Educativos*, No. 29-30, Julio-Diciembre.
- Sarramona, Jaume. 1991. *Fundamentos de Educación*, Barcelona España, Ediciones CEAC, 2ª Edición.
- Wingartz Plata, Oscar. 1993. Los retos de la Educación Frente al Cambio, *Praxis Universitaria*, Año 1, No. 5.

LAS RELACIONES HUMANAS EN EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS NATURALES

Francisco J. López Benavides, Nina del Rocío Martínez Ruiz, J. Armando Gándara
Fernández

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

El aprendizaje de las ciencias naturales, siempre ha presentado un alto grado de dificultad, incluso para quienes deciden estudiar este campo. Su carácter de ciencias duras, las ha deshumanizado; pensando de manera general que en su estudio, no cabe el concepto afectivo. A continuación se describe la influencia que tiene las relaciones humanas, en el plano afectivo, con el aprendizaje de las ciencias naturales, es importante destacar que no solo la relación de: conocimiento impartido-razonamiento- conocimiento adquirido, es el que rige el aprendizaje de las ciencias naturales, sino que está rodeado de relaciones vinculadas con el entorno del estudiante, que permiten no solo la asimilación cognitiva, sino integral de las ciencias.

Palabras clave: Aprendizaje, ciencias naturales, relaciones humanas.

Introducción

Las Ciencias Naturales, son consideradas como “ciencias exactas”, “duras”; que requieren del razonamiento y abstracción para su estudio y comprensión; pero que aunque su denominación puede indicar “dificultad” para unos, y “facilidad” para otros, lo cierto es que, para el alumno, debe de constituirse en toda una aventura y lograr aprendizajes significativos en estas ciencias. Para que esto suceda, es necesario tomar en cuenta, además de las teorías y enfoques educativos, la parte

afectiva y el entorno del estudiante (Carretero, 1997^a).

Toda situación de enseñanza-aprendizaje implica un vínculo afectivo entre docente y alumno, mediatizado por el conocimiento. El saber transmitir es lo que da sentido y significado a esta situación, pero al mediar un contacto o relación entre dos o más personas (hablando desde la didáctica tradicional, una que aprende y otra que enseña) se movilizan afectos que en un sentido u otro se transmiten.

Se podría entonces discriminar también aquí la existencia de aprendizajes que se dan en un *nivel explícito*, reconocido, legalizado; que tienen que ver con el campo del saber y de la ciencia que se enseña en la escuela. Por otro lado, la existencia de un *nivel implícito*, vivencial, paralelo al explícito; pero la mayor parte de los aprendizajes no son reconocidos, ni valorizados, ya que casi nunca se tiene conciencia de ellos.

“Mientras el alumno cumple su aprendizaje de las ciencias naturales simultáneamente aprende otras cosas que inciden en este aprendizaje que es explícito” (Carretero, 1997a).

A estos aprendizajes *implícitos-vivenciales*, Thelma Barreiro (Barreiro, 1983) los llama aprendizajes concomitantes ¹, diferenciándolos de la siguiente manera:

1. Aprendizaje de ciertas *aptitudes ligadas al contenido* que se aprende. Cada aprendizaje permite actualizar y/o desarrollar

¹ Esta clasificación es retomada con modificaciones del trabajo de Thelma Barreiro Aprendizaje, escuela y afectividad, Univ. Nac. Del Comahue, 1983. Reconociendo que la división propuesta es sólo a los efectos de facilitar el análisis de los aspectos que se movilizan y se ponen en juego en el proceso de aprendizaje. En la vida concreta de las personas no hay compartimientos, estancos, ni divisiones netas entre unos aspectos y otros.

estructuras intelectuales, capacidades y habilidades operatorias, según este aprendizaje se realice de un modo u otro. Así, por ejemplo, podemos aprender a problematizar la ciencia, a indagarla, a organizar y ordenar la información que obtenemos, a observar la naturaleza, a establecer relaciones significativas, etcétera o lo contrario.

2. Aprendizaje de *actitudes emocionales ligadas al conocimiento* y al modo en que éste se aprendió. Cada situación de aprendizaje va acompañada de afectos, ligados al contenido del aprendizaje y al aprendizaje en general. Así, resulta que se aprende a gustar de la física o la química, según hayan sido vivenciadas emocionalmente las experiencias de aprendizaje ligadas a ese contenido. Pero también se puede experimentar rechazo y bloqueo del interés por ese saber y transferirlo al aprendizaje en general y a la escuela.

3. Aprendizaje *de aspectos emocionales vinculados con la autoimagen del sujeto* (concepto de sí mismo y su valoración). Estos aspectos tienen que ver con la vida emocional más profunda. Implican integrar: la percepción que los otros le transmiten de sí mismo, la percepción que los otros le transmiten de su vida en grupo, la percepción que tiene de los demás y la autopercepción, en un concepto acerca de su propia persona. Mientras el alumno realiza su aprendizaje “oficial” se sentirá entonces:
- Valorizado o desvalorizado -querido o rechazado, o tratado con indiferencia- por sus profesores.
 - Valorizado o desvalorizado por sus padres, en relación a sus capacidades y rendimiento escolar.
 - Aceptado o rechazado por sus compañeros.
 - Se percibirá a sí mismo como torpe o ineficiente.

- Sentirá temor, miedo hacia las respuestas del docente por sus errores.
- Se sentirá exigido más allá de sus posibilidades.

4. Aprendizaje *de aspectos vinculados a la ideología*, que afectan al sujeto en un sentido más amplio e inclusivo que los otros aspectos. Estos aprendizajes aportan un sistema categorial existencial, que comporta una visión valorativa del mundo y de la vida, y que le permite seleccionar y organizar sus percepciones e interpretarlas de acuerdo a cierta valoración². Tales aprendizajes implican una forma de aprehensión de lo real, desde el lugar que ocupa el sujeto en la sociedad, en la familia y

² La ideología es un sistema de ideas y connotaciones que los hombres disponen y que orientan su acción. Operan más desde lo emocional que desde la lógica y lo consciente. Sin embargo, esta forma de ver, de ordenar la realidad, es producto de un trabajo lógico inconsciente. En la relación que cada uno tiene con la realidad, hacemos una interpretación de la misma, ordenando los datos que esta realidad nos brinda. Este ordenamiento, que desde cierta perspectiva nos parece objetivo, tiene que ver con un ordenamiento subjetivo y contingente –que puede suceder o no suceder-. La mayoría de las veces, las verdades que nosotros afirmamos y sostenemos, son sólo formas parciales, visiones determinadas desde donde enfocamos la realidad. La ideología sería una especie de lente que nos hace ver, mirar, entender la realidad desde una cierta perspectiva. A veces esa perspectiva tiene poco que ver –o desfigura- con los datos más “objetivos” de la realidad. (Carretero, 1997)

encontrado en su tiempo histórico concreto (Giordano *et al.* 1991).

Relación entre aprendizaje y afecto

Todos estos aprendizajes van unidos a los aprendizajes explícitos, y se van aprendiendo mientras se aprenden las Ciencias Naturales. En este sentido, podemos decir que no hay aprendizaje aséptico neutro en la escuela, y menos aún cuando los que aprenden son seres, cuya personalidad está en formación. Las características de los vínculos que se ponen en juego durante los aprendizajes escolares movilizan los afectos de las personas que participan en ellos, y que son significativas para el alumno (Carretero, 1997a).

La importancia de considerar estos aprendizajes, radica en el hecho de que gran parte de las dificultades de aprendizaje no se sustentan en problemas intelectuales, sino en problemas afectivos. La energía disponible –necesaria para el aprendizaje– se consume en problemas afectivos, cercenando el deseo de conocer del alumno, lo que es fundamental para el aprendizaje. El docente suele reconocer que algunos alumnos no aprenden porque no “pueden” (tienen dificultades intelectuales); otros no aprenden porque

no quieren, en el sentido de no estar motivados o interesados para hacerlo (Carretero, 1997a).

Thelma Barreiro (Barreiro, 1983) afirma que, en la escuela y durante el proceso mismo de aprendizaje, acontecen siempre fenómenos afectivos, que aunque no sean considerados parte del proceso por el que aprende o por el que enseña, inciden en él. Si son de signo negativo pueden volverse en contra del aprendizaje concreto, obstaculizándolo y pueden afectar también la capacidad para otros aprendizajes posteriores (Barreiro, 1983).

De esta manera, queda claro que la afectividad es el soporte energético de todo proceso de aprendizaje; es el motor que mueve al sujeto a aprender, al modo de apropiación y estructuración del conocimiento, así como también en las posibilidades de utilización de sus potencialidades para el mismo. Pero puede ser el freno que obstaculiza el proceso de aprendizaje, es decir, que las capacidades del sujeto estarían subutilizadas (Giordano *et al.*, 1991)

Los docentes, en general reconocen la importancia de lo afectivo, verbalmente, pero suele resultarles difícil ver cómo pueden ser descuidados o estimulados estos procesos desde ellos y

desde sus propias acciones. La disociación que hace la escuela, entre conocimiento y afectividad respecto del proceso de aprendizaje, puede hacer parecer la propuesta como ajena a la función docente. Pero es indispensable comprender que esta cuestión entra en juego siempre y de manera inevitable en los aprendizajes escolares. O se incrementa la seguridad y una buena autoimagen del alumno, o se fomenta la inseguridad y la desvalorización. El docente no tiene posibilidad de ser aséptico en este ámbito, porque sus actitudes son siempre afectivamente importantes para el alumno (Carretero, 1997b).

Ante esto, es posible *considerar la formación de personas a través de la disciplina que se enseña*, considerando al alumno como una persona o sujeto que

lleva a la escuela todo su ser bio-psico-social, y al contenido como mediatizador del vínculo docente-alumno, asumiendo la necesidad de estimular su autoimagen y su seguridad personal para facilitar su aprendizaje (Carretero, 1997b).

El aprendizaje es un proceso que se sustenta sobre bases profundamente afectivas y vinculares. Para muchos docentes, el razonamiento parece ser el proceso central que determina la posibilidad de aprender, particularmente las Ciencias Naturales. La queja insoslayable es que “los alumnos no saben razonar”, expresan por ejemplo, “estas son disciplinas en las que necesariamente tienen que pensar y razonar, dado que la memoria no es suficiente para saber aplicar una fórmula o resolver un problema” y desde los docentes parece surgir esta relación:

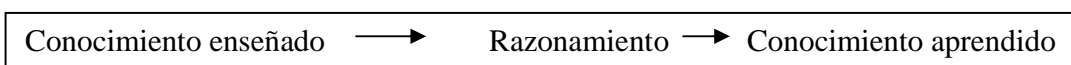


Figura 1. Relación entre el docente y el objeto de conocimiento

No existe la posibilidad de hacer una “lectura directa” de la experiencia, sino que ésta se realiza a través de un sistema de interpretación. Nadie entiende el mundo tal como es, sino que entiende

del mundo lo que puede entender; es decir, lo que sus instrumentos conceptuales le permiten. La existencia de este sistema de referencia, que permite interpretar la realidad, es lo que muchos

docentes obvian durante el proceso de aprendizaje, cuando elaboran y comunican sus mensajes.

Por eso, cuando los profesores dicen “los alumnos no razonan” (atribuyéndoles la responsabilidad de esto a los propios alumnos, a los profesores que tuvieron antes y que no les enseñaron a razonar desde el principio), a la institución, a la familia, a la clase social, a otros que pudieran aparecer en el camino), lo que están haciendo es una “disociación” entre el contenido que se enseña (objeto de conocimiento) y las posibilidades del alumno (su estructura cognitiva (Giordano *et al.* 1991).

Pero la diferencia de comprensiones entre el profesor y el alumno no es sólo cuantitativamente en el sentido de que el alumno tiene menor cantidad de conocimientos, sino que es cualitativa. Estos conocimientos tienen a menudo otra significación para el alumno, debido a que están relacionados e interpretados desde un marco diferente al del profesor; es decir, desde instrumentos intelectuales distintos.

Todos estos procedimientos de abordaje pueden utilizarse materialmente (hacerlos) o en forma interiorizada (pensarlos), pero su aplicación al

conocimiento que se aprende, es imprescindible, para que el alumno lo incorpore. En esta incorporación, la asimilación y acomodación son los mecanismos del aprendizaje, que en constante interacción, seguida a su vez de estados de equilibrio consecutivos, permiten realizarla e incorporar lo nuevo desde los recursos disponibles y construir otros recursos (esquemas nuevos) cuando se hace necesario.

En ambos procesos se produce una relación entre el alumno y el objeto de conocimiento, que implica:

- Un primer momento de transformación del objeto, donde el alumno atribuye al objeto de conocimiento significados desde sus esquemas previos; no hay cambio en la estructura del sujeto, pero sí en el objeto del conocimiento.
- Un segundo momento de transformación del sujeto, donde el alumno acomoda sus esquemas previos, buscando nuevas relaciones que le permitan incorporar aspectos o significados del nuevo objeto de conocimiento; se producen cambios en el sujeto que lo aproximan más a la

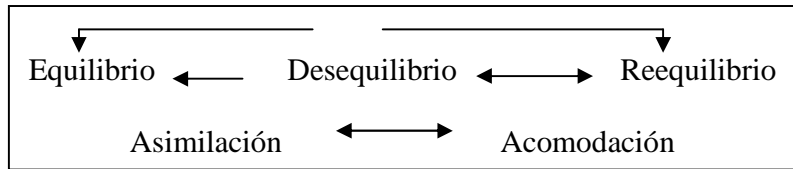


Figura 2. Procesos de asimilación y acomodación en el aprendizaje

(Giordano *et al.* 1991).

El nudo central del aprendizaje se sitúa así en los desequilibrios, es decir, en la ruptura del equilibrio natural a que tienden la asimilación y la acomodación; desequilibrios que obligan al sujeto que aprende a revisar esquemas anteriores y buscar su superación. El reequilibrio es un estado de mejor equilibrio, cada vez más estable y flexible y que garantiza respuestas más adaptativas frente a aquello que provocó el desequilibrio; propiciando la construcción y organización de las estructuras intelectuales, y a su vez, esto constituye la inteligencia del ser humano, y siendo el soporte de todo proceso de aprendizaje.

Existen dos tipos de actividades que movilizan al sujeto:

- Actividad exterior al sujeto: actúa sobre el objeto de conocimiento

(tocar, manipular, etcétera).

- Actividad interior al sujeto: que son las acciones ejecutadas internamente, es decir, mentalmente (reconocer, comparar, analizar, relacionar, evaluar, razonar, etcétera).

El primer tipo de actividad predomina en las primeras etapas del desarrollo de la inteligencia, y es la que permite ir incorporando los soportes concretos que después servirán de base a los razonamientos más abstractos. Esto no significa que desaparezca esta actividad exterior en el adulto; por el contrario, sigue siendo el recurso que el ser humano tiene a su disposición para acercarse y conocer situaciones que son enteramente

nuevas para él. Estos dos tipos de actividad sirven para que el sujeto aprenda, porque de ambas se deriva el conocimiento; en la primera se accede por conocimiento empírico y permite captar los atributos o características físicas de los elementos de la realidad. En el segundo caso, se accede a un conocimiento lógico-matemático, que no deriva del objeto en sí, sino de las relaciones que descubre cuando efectúa transformaciones al actuar sobre los mismos (Carretero, 1997b).

El camino que sigue el alumno, para poder entender y manejar los modelos explicativos que cada disciplina científica le presenta, pueden señalarse como:

- a. Abstracción empírica: es el proceso a partir del cual se elaboran conceptos, desde los datos observables de la materia, factibles de ser percibidos por los sentidos. Por ejemplo, las nociones de sólido, líquido y gaseoso constituyen abstracciones empíricas que resultan de las propiedades comunes observables de diversos sólidos, líquidos y gases que el

sujeto conoció. Asimismo, los conceptos de fusión, de vaporización, se forman a partir de las observaciones relativas a los cambios particulares de estado de esos observables, es decir, de las propiedades de los mismos.

- b. Abstracción reflexiva: son conceptualizaciones que no se desprenden de la simple observación de los objetos. Por ejemplo, “todo cuerpo puede hallarse en un estado sólido, líquido o gaseoso y puede pasar de ese estado a otro” (Giordano et al., 1991).

Desde el punto de vista didáctico, es muy importante analizar y seguir el proceso de adquisición de estos dos tipos de abstracciones y de conocer en cada dominio temático, cuando el alumno es psicológicamente capaz de asimilarlas y manejarlas.

En el aprendizaje de las ciencias, la noción de causalidad es clave. La abstracción reflexiva es esencial para el desarrollo de esta noción; establecer relaciones de causalidad implica superar lo observable y deducir relaciones. Psicológicamente la noción de causalidad

es esencial para la adquisición de los conocimientos científicos. El sujeto no les atribuye “mágicamente” a los objetos sus capacidades, sino que les atribuye posibilidades, de acuerdo con sus estructuras intelectuales, respetando ciertas reglas de inferencia lógica; esto permite ser capaz de formar modelos operatorios en ciencias como las Matemáticas, la Física y la Química.

En este sentido, el pensamiento causal no sólo constituye una etapa esencial en la construcción de esos modelos, sino que las explicaciones de tipo causal son las que más satisfacen la curiosidad del sujeto. En este momento cabe una reflexión desde la práctica docente: ¿en qué medida estimulamos la curiosidad en los alumnos y promovemos la pregunta?, ¿de qué modo permitimos poner en juego su natural indagación de la naturaleza?, la curiosidad podría ser la puerta de entrada para el aprendizaje de la ciencia, muchas veces se ignora y hasta se aplasta (porque interrumpe, porque no hay tiempo, etc.) o se desvía hacia aspectos menos trascendentes.

Queda absolutamente deformada bajo el peso de preguntas cerradas, que en lugar de invitar a pensar al alumno y conectarlo con el interrogante desde su

curiosidad natural, lo llevan a la pasividad, o bien, a responder tratando de adivinar cuál puede ser la respuesta que esperan de él.

El error en algunas propuestas pedagógicas es considerado como un hecho negativo, que debe ser evitado en la realidad escolar; sin embargo, desde la posición constructivista, el error es parte del mecanismo mismo de producción de conocimiento. Su existencia no es producto de una “mala información” o un “mal aprendizaje”, sino que es propia de la actividad inteligente que se está llevando a cabo en el proceso de conocimiento.

El error se produce cuando el sujeto aun no ha podido considerar todos los datos del problema y contrastarlos con sus propias teorías. Se tratará, entonces, no de erradicarlos (dando la información correcta solamente) o de negarlos, sino de conocerlos, investigarlos y trabajar a partir de ello, para provocar el cambio conceptual, es decir, permitir la confrontación. El aprendizaje no es un proceso lineal, sino que se aprende por ruptura de modelos anteriores, venciendo obstáculos y resistencias, y en contraposición al error (Carretero, 1997b).

Conclusiones

La actividad del alumno –como organizadora de experiencias que favorezcan el aprendizaje- no siempre ha sido interpretada adecuadamente en el marco de la escuela. En la enseñanza de las disciplinas científicas, se ha creído unir esta necesidad de actividad del alumno, con plantear que la enseñanza de las ciencias debe ser básicamente realizada por medio de actividades experimentales y de laboratorio; esto entra en contradicción con el proceso de desarrollo natural de la inteligencia, así como también con la historia misma del desarrollo científico.

Ni para el alumno ni para el científico, observar es independiente del instrumento que permite situar lo que se observa dentro de un cuadro de significación y, muchas veces, los trabajos prácticos “presentan” a los alumnos la experiencia simplificada a través de aparatos sofisticados, que muestran un comportamiento verdaderamente insólito, que de alguna manera evita el trabajo intelectual de pensar, actividad lógica, indispensable para el desarrollo de sus capacidades operatorias.

La función de la actividad del alumno no debería ser la de “verificar” o leer las relaciones matemáticas. Debe servirle de soporte concreto, para que el mismo pueda razonar y descubrir los principios que rigen los fenómenos que se están analizando. Esta concepción de la actividad, apunta a descubrir el modelo teórico, desde el pensamiento del alumno y no a presentárselo ya dado para que lo verifique. Esto nos conduce a repensar y planificar con cuidado las experiencias, para que los alumnos no repitan el modelo empirista, ni ignoren el funcionamiento de su actividad inteligente.

Podemos no solamente pensar en el hecho de que el conocimiento se imparte desde el canal de comunicación y estilo de aprendizaje del maestro, sino considerando el de cada uno de los alumnos, lo cual nos permitirá enriquecer la práctica docente e impulsar el aprendizaje trascendente. Asumir que esto es un trabajo más demandante es negarnos de antemano al cambio descrito anteriormente y sobre todo negarnos a ver como en realidad nuestros alumnos pueden tener verdaderos aprendizajes, contruidos por ellos mismos.

Finalmente, los soportes estructurales para el aprendizaje, constituyen las herramientas intelectuales del sujeto, necesarias para apropiarse de los conocimientos y que le facilitarán su proceso de integración social. Desde lo afectivo, el aprendizaje constituye el factor energético, que moviliza la conducta del hombre hacia objetivos, metas y fines. Todo se asienta sobre bases profundamente vinculares, que surgen de la matriz socio-cultural, e históricamente en la cual emerge el ser humano

como sujeto concreto.

Referencias

- Barreiro, T. 1983. *Escuela, aprendizaje y afectividad*. U.N. del Comahue. Argentina.
- Carretero, M. 1997a. *Constructivismo y educación*. Progreso. México.
- Carretero, M. 1997b. *Construir y enseñar*. Las ciencias experimentales. Aique. Argentina.
- Giordano, M.; Cometa, A.L.; Guyot, V.; Cerizole, N. y Ventolilia, S. 1991. *Enseñar y aprender ciencias naturales*. Troquel educación. Argentina.



LA GENERALIZACIÓN DE PATRONES CUADRÁTICOS: UN ESTUDIO CON ALUMNOS DE LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS

Mario Silvino Ávila Sandoval, Carlos López Ruvalcaba, Juan Luna González

Departamento de Física y Matemáticas

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

En el presente artículo se muestra una investigación que explora las habilidades de generalización de patrones cuadráticos de estudiantes del nivel intermedio de la carrera de matemáticas en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Se presenta también en este documento, la importancia del desarrollo del razonamiento inductivo que permite construir generalizaciones a partir del análisis de corte numérico de casos particulares.

Palabras clave: Matemática educativa, generalización, patrón matemático, aprendizaje del álgebra, pensamiento inductivo.

El papel de la generalización en el aprendizaje de las matemáticas

El desarrollo de las habilidades de generalización de patrones matemáticos dentro del ejercicio escolar, tiene una notable relevancia en los aprendices de matemáticas, que pocas veces es explorado por los docentes, debido a que el trabajo con este tipo de regularidades y su generalización, prácticamente están ausentes en el currículo escolar.

Entendemos por patrón matemático como “algo” que se repite con regularidad tanto en el plano aritmético como geométrico. Algunos autores como Zazkis y

Liljedahl (2002) plantean que los patrones matemáticos son el alma y corazón de las matemáticas y que a diferencia de la resolución de ecuaciones o la manipulación de números enteros, no siempre están como un tópico o actividad curricular y que algunos maestros los ven solo como una actividad lúdica o recreacional y que sin embargo, consideran que esta actividad es en la que está basada el álgebra y toda la matemática en general.

Por otro lado, Krutetskii (1976) clasifica la generalización como una de las habilidades cognitivas más importantes que puede mostrar un estudiante. En

concordancia con lo anterior, Mason (1996) llama a la generalización el latido de las matemáticas, así mismo, Vogel (2005) menciona que el análisis de patrones matemáticos y la descripción de sus regularidades y propiedades, es uno de los objetivos de las matemáticas, mientras que Sriraman (2004) establece que debido al pensamiento de orden superior implicado en la generalización como la abstracción, pensamiento holístico, visualización, flexibilidad de razonamiento, la habilidad de generalizar es algo que caracteriza a los estudiantes capaces.

La generalización y el aprendizaje del álgebra

Son numerosos los investigadores que consignan que el desarrollo de las habilidades en la generalización de patrones son el preámbulo necesario para el estudio del álgebra. Los estándares del National Council of Teachers of Mathematics (NCTM) del año 2000, estipulan que el álgebra se aprende mejor al ser considerada como un conjunto de técnicas y conceptos ligados a la representación de relaciones cuantitativas y como una clase de pensamiento matemático para formalizar patrones, funciones y generalizaciones (NCTM, 2000). En iguales términos, Amit

(2008) plantea que tanto como proceso como un producto de la educación matemática, la generalización tiene méritos e importancia como un objetivo instruccional en sí, sin embargo, esta puede también servir como un medio para construir nuevo conocimiento, actuando como un iniciador para futuro aprendizaje en el álgebra.

Cuando los estudiantes exploran patrones, se dedican a detectar similitudes y diferencias, clasificar, etiquetar, buscar algoritmos, conjeturar, argumentar, establecer relaciones numéricas entre componentes o bien, a generalizar los datos y relaciones matemáticas (Zazkiz y Liljedahl, 2002), desarrollan habilidades que son fundamentales para el aprendizaje del álgebra (English y Warren, 1995). Estos investigadores, defienden la postura de que el trabajar con patrones matemáticos sirve para introducir el concepto de variable, argumentando que tradicionalmente, éste, se introduce como incógnita de una ecuación, dejando de lado su naturaleza definitoria de fenómenos de variación, además, el trabajo con patrones, proporciona a los estudiantes la oportunidad de observar y verbalizar sus generalizaciones y de registrarlas simbólicamente conformando una útil y concreta base para la manipulación

simbólica (English y Warren 1998). Otros autores como Trujillo, Castro y Molina (2009) consideran la generalización de la aritmética como un componente fundamental del álgebra y que tradicionalmente se usa para introducir los conceptos iniciales de ésta disciplina en el contexto escolar y Mason (2005) considera la generalización como la vía que conduce hacia el álgebra y que conforma la esencia misma de esta rama de las matemáticas.

La generalización y el pensamiento inductivo

La meta primaria del pensamiento inductivo es la generalización (Cañadas, Castro y Castro, 2008). En su libro *Inductive Reasoning in the Secondary Classroom*, Nubert y Binko (1992), muestran la relevancia del pensamiento inductivo, ejemplificando dos situaciones de clase diferentes: Una de corte expositiva, donde el profesor lleva a cabo el razonamiento y establece una generalización para la clase en la cual, los estudiantes pueden o no estar involucrados en la explicación de los casos específicos que dan base a la generalización (enfoque deductivo), mientras que en otra, que denomina guiada al descubrimiento inductivo, los estudiantes, no el profesor, establecen la generalización seguida del

análisis de los casos específicos, para establecer el origen de ésta, en la cual, el profesor utiliza el siguiente patrón, en donde, los alumnos: 1) Examinan los casos particulares (ejemplos/hechos) seleccionados por el profesor. 2) Responden las preguntas del profesor. 3) Infieren la generalización. 4) Aplican la generalización a nuevos casos específicos.

La realidad es que la práctica docente que prevalece en las instituciones educativas, sigue siendo la de carácter deductivo-expositivo.

La investigación

Con la finalidad de explorar las habilidades en el reconocimiento y generalización de patrones cuadráticos con 6 estudiantes de la Licenciatura en Matemáticas del nivel intermedio de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, se les aplicó un test, con el cual, se pudiera ubicar el nivel de generalización y el tipo de herramientas utilizadas en el desarrollo de los problemas, los cuales tienen las características de no ser elementales ni rutinarios y no demandaban un procedimiento específico, de tal manera, que los métodos de solución eran totalmente abiertos.

A continuación se muestran los problemas del test.

I) Dada la siguiente representación



Figura 1. Patrón geométrico de puntos

- a) Continúe la sucesión gráfica hasta el quinto elemento
- b) Exprese con números los primeros cinco términos de la sucesión
- c) ¿Qué número está en la posición 10?
- d) ¿Qué números están en la posición 40 y 90?

e) ¿Qué término ocupa la posición n ?

II) Encuentre una expresión para determinar el número de cuadritos en función de la posición que ocupa la figura

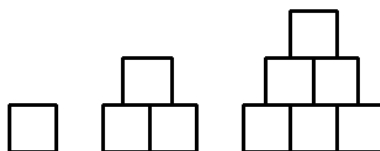


Figura 2. Patrón geométrico de cuadros

I) Determine el número de *saludos de mano* que se brindan n personas.

Observaciones

Al hacer la revisión de los resultados, se establece que se pueden categorizar 3 casos: El primero corresponde a aquellos que solo pudieron establecer

generalizaciones locales, es decir, reconocen el patrón aritmético, y validan de manera local, no pudiendo establecer la expresión algebraica que generaliza dicho patrón, siendo este el grupo más numeroso contando con el 66% de la

totalidad de estudiantes. En el segundo caso conformado por solo una persona, se reconoce la aplicación de herramientas matemáticas de orden superior, dado que intenta usar el concepto de sumatoria y se plantea una expresión algebraica para

describir la generalización, y debido a la falta de validación, no se percata de un pequeño error en la expresión. (Ver figura 1, correspondiente a la solución proporcionada al inciso e) del problema I).

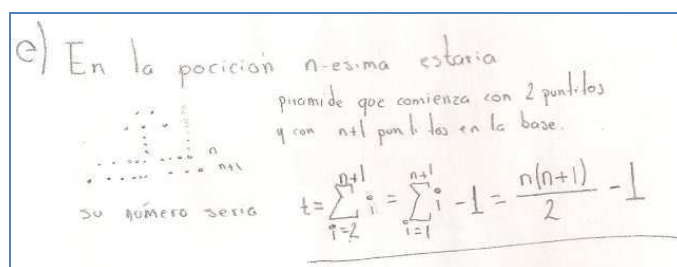


Figura 3. Respuesta basada en sumatorias

El tercer caso, corresponde también a un estudiante que plantea un algoritmo sustentado en el cálculo de las primeras y segundas diferencias de la sucesión, que le sirven para identificar el comportamiento cuadrático en cada uno de los patrones. Utiliza el mismo algoritmo en todos los problemas, consistente en plantear un sistema de ecuaciones que le permitan definir la expresión cuadrática particular. (Ver figura 2 correspondiente a la solución propuesta a la generalización del problema I).

En la mayoría de los casos, los estudiantes reflejan un poder de generalización limitado solamente a predecir en el entorno local, es decir en los primeros valores de la sucesión. No reconocen el tipo de comportamiento del patrón, en este caso, cuadrático. Salvo en un caso, no se recurre al cálculo de las primeras y segundas diferencias para analizar numéricamente el comportamiento del patrón. Dada la importancia que tiene en el desarrollo matemático de los individuos el razonamiento inductivo, que nos lleva a construir generalizaciones, consideramos que deben incluirse en la currícula del

Conclusiones

matemático, el análisis de patrones geométricos y aritméticos en el marco numérico del cálculo de diferencias finitas, aunado al estudio formal de los procesos de generalización. Las investigaciones leídas para la preparación de este artículo, se llevaron a cabo principalmente con estudiantes del nivel medio superior y reportan resultados

similares a los obtenidos en este trabajo, lo que nos indica que al no estar incluido en los programas el desarrollo de las habilidades de generalización, el desarrollo de los estudiantes en este rubro es muy modesto en el nivel superior.

Handwritten algebraic solution for a system of linear equations. At the top, a sequence of numbers is shown: 2, 5, 9, 14, 20. Below it, a triangular pattern of numbers: 3, 4, 5, 6; 1, 1, 1. The main part of the work shows the system of equations: $a + b + c = 2$, $3a + b = 3$, and $2a = 1$. The student solves for $a = \frac{1}{2}$, $b = \frac{3}{2}$, and $c = 0$. The final result is written as $\frac{1}{2}x^2 + \frac{3}{2}x$.

Figura 4. Respuesta basada en un algoritmo algebraico

Referencias

Amit M., Neria D. 2008. Rising to the challenge: using generalization in pattern problems to unearth the algebraic skills of talented pre-algebra students. *ZDM Mathematics Education*. No. 40. pp. 111-129.

Cañadas M., Castro E., Castro E. 2008. Descripción de la generalización de estudiantes de 3° y 4° de ESO en la resolución de problemas que involucran sucesiones lineales y cuadráticas. *Investigación en Educación Matemática*, XII.

English L., Warren E. 1995. General reasoning processes and elementary algebraic understanding: implications for initial instruction. *Focus on Learning Problems in Mathematics*, 17(4), pp. 1-19.

English L., Warren E. 1998. Introducing the variable through pattern exploration. *Mathematics Teacher*, Vol. 91, No. 2. pp. 166-170.

Krutetskii V. 1976. *The psychology of mathematical abilities in schoolchildren*. University of Chicago Press.

Mason J. 1996. Expressing generality and roots of algebra. En Bednarz, N, Kieran, C. y Lee, L. (Editores), *Approaches to algebra: Perspectives for research and teaching*, pp. 65-86.

Mason J., Graham A., Johnston-Wilder S. 2005. *Developing thinking in algebra*. London: The Open University y Paul Chapman Publishing.

NCTM. 2000. *Executive summary. Principles and standards for school mathematics*. Consultado en http://www.nctm.org/uploadedFiles/Math_Standar

[ds/12752_exec_pssm.pdf](#) el 6 de septiembre de 2010.

Nubert G., Binko J. 1992. *Inductive reasoning in the secondary classroom*. National Education Association, Washington, D.C. pp. 11-18.

Sriraman B. 2004. Reflective abstraction, unframes and the formulation of generalizations. *Journal of Mathematical Behavior*, No. 23, pp. 205-222.

Trujillo P., Castro E., Molina M. 2009. Un estudio de casos sobre el proceso de

generalización. En González, M. J., González, M. T. y Murillo, J. (Editores), *Investigación en Educación Matemática*, XIII. pp. 511-521.

Vogel R. 2005. Patterns: A fundamental idea of mathematical thinking and learning. *ZDM International Journal on Mathematics Education*, Vol. 37, No. 5, pp. 445-449.

Zazkis R., Liljedahl P. 2002. Generalization of patterns: the tension between algebraic thinking and algebraic notation. *Educational Studies in Mathematics*, Vol. 49. No. 3, pp. 379-402.



EVALUACIÓN DE BASES DE DATOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN REPOSITORIO DE OBJETOS DE APRENDIZAJE

Luis A. Loya Acosta, Victoria González de Moss, Patricia C. Parroquín Amaya

Fernando Estrada Saldaña

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

Ante la necesidad de tener acceso a materiales digitales utilizados en las materias que se imparten en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, se plantea como solución un repositorio de objetos de aprendizaje, analizar y seleccionar una base de datos que permita la organización, almacenamiento y administración de la información. Este documento presenta un análisis y evaluación de las características principales de las bases de datos relacionales, orientadas a objetos y bases de datos en XML para determinar cual se adapta mejor a las necesidades del repositorio.

Palabras clave: Bases de Datos relacionales, Bases de Datos Orientadas a Objetos, Bases de Datos en XML.

Introducción

Los objetos de aprendizaje (OA) son una estrategia que varias universidades que cuentan con la infraestructura y recursos necesarios están implementando hoy en día. Una actividad natural en el campo de los OA está siendo el concentrarlos o recopilarlos en contenedores que los organicen y los mantengan disponibles para diferentes usos de manera que sean fácilmente accesador y reutilizados. Estos contenedores se conocen como Repositorios de Objetos de Aprendizaje (ROA).

Actualmente se están formando redes de colaboración entre las diferentes organizaciones que cuentan con ROA para que éstos se intercomuniquen con la finalidad de ampliar el alcance a los OA y su reutilización, ésto de forma ubicua, es decir, que quien busque la información o contenidos educativos no se preocupe por la fuente o ubicación física del objeto.

Los repositorios están conformados por grandes volúmenes de datos que están en constante cambio, no tienen alguna estructura definida, es por esto que los datos y la información que es guardada en ellos

no se puede almacenar como una base de datos convencional, ya que la información que se maneja es volátil (Guadalupe, 2000).

Los datos que conforman un repositorio pueden estar presentados ya sea en documentos de texto o en imágenes, los cuales son localizados por los usuarios por medio de su descripción.

Análisis de las Bases

Después de estudiar los modelos de bases de datos y las bases de datos relacionales, orientadas a objetos y bases de datos de XML se presenta a continuación las características principales de cada una de ellas para identificar cual es la más conveniente para la propuesta de repositorio de objetos de aprendizaje.

Una vez realizado el análisis comparando las características generales de los diferentes modelos de bases de bases se identificaron características comunes y se obtuvo la información necesaria para realizar una comparación entre los modelos de bases de datos.

Comparación entre las Bases de Datos

Las bases de datos relacionales son apropiadas para las aplicaciones que requieren flexibilidad en sus estructuras de datos y para acceder a partes de la base de

datos. La flexibilidad en las estructuras de datos permite que los datos que son almacenados de manera lógica en grupos de datos similares, puedan ser relacionados entre sí según sea necesario, de una mejor manera que si se manejara una estructura sencilla. La flexibilidad en el acceso de a las partes de las bases de datos permite a la base de datos proporcionar el dato exacto que el usuario requiera en el formato más apropiado para ser mostrado. (Keller W. y Coldewey J., 2001).

Las bases de datos relacionales limitan la replicación de los datos al almacenar toda la información perteneciente a un elemento en particular en un mismo lugar y después vincular esta colección de información con objetos relacionados a la misma, no hay necesidad de guardar los datos del elemento original en diferentes lugares.

Al guardar los datos relacionados con un objeto en un lugar simple, hay más probabilidad de que los datos puedan ser almacenados o utilizados de manera incompleta o incorrecta. En las bases de datos relacionales es más fácil manejar la inconsistencia de los datos. (Business Collaborator, 2003)

Los usuarios de los datos almacenados en las bases de datos

relacionales no tienen por qué preocuparse por la estructura de los datos, esto permite al diseñador de la base de datos optimizar el almacenamiento de los datos mientras son presentados al usuario en un formato que ellos necesiten. Se puede acceder a información específica de varias tablas y de esta manera generar una nueva, lo cual será presentado ante el usuario sin que este sepa cómo y dónde está almacenada esa información (Business Collaborator, 2003).

No es necesaria la experiencia para que un usuario pueda obtener información de una base de datos, de la misma manera, diferentes componentes de los datos pueden recibir mantenimiento por diferentes personas, así, la actualización de los datos puede ser realizada por más de una persona, sin afectar la estructura de los datos. Una base de datos relacional bien diseñada puede proporcionar el almacenamiento adecuado de los datos y recuperación de la información durante largos periodos de tiempo. (Business Collaborator, 2003)

Las bases de datos relacionales constan de buena seguridad, una base de datos relacional soporta los permisos de acceso, lo cual le permite al administrador de la base de datos permisos de implementación así como permisos para los accesos a la información que existe en las

tablas de la base de datos. Una base de datos relacional maneja el concepto de usuarios y derechos de usuario, lo cual cubre con las necesidades de seguridad. Las relaciones son asociadas con los privilegios. (Oak M., 2008).

Según Yao-Wen Tu, una de las problemáticas de las bases de datos relacionales, es la falta de capacidad para manejar aplicaciones gráficas, las cuales envuelvan imágenes, o tipos de datos especiales, así como aplicaciones que manejen datos complejos interrelacionados (Tu Y., 2003).

Dentro de las bases de datos orientadas a objetos existen ciertos aspectos que la hacen una opción viable de utilización durante la elección de un tipo de bases de datos, uno de ellos es que el diseñador puede especificar la estructura de los objetos de la base de datos, así como las operaciones que se le pueden aplicar a dichos objetos, esto implica que la manipulación de los datos dentro de los objetos se pueda realizar de una manera rápida y sencilla. (Metz et al., 2004)

Otro aspecto que es muy importante resaltar dentro de este tipo de base de datos es la flexibilidad y el soporte para el manejo de datos complejos (Bichindaritz., 2005). Estas dos características pueden

proporcionar la oportunidad de añadir una subclase sin tener que volver estructurar la base de datos cuando se tengan que hacer modificaciones en el diseño de la base de datos. Mediante la herencia, dicha subclase recibirá los atributos de la clase maestra, y dentro de esa subclase se podrán declarar nuevos atributos así como métodos adicionales que cubran con las necesidades de los cambios realizados sin afectar la estructura de toda la base de datos. (Benítez *et al.*, 2002).

El manejo de los datos complejos dentro de las bases de datos orientadas a objetos es de manera rápida y dinámica, al proporcionar la capacidad de manejar datos tanto alfanuméricos como datos en formato de voz o sonido, así como dibujos o diagramas, lo cual representa una ventaja dentro de su utilización, esto se debe a que dentro de la estructura de las bases de datos se da mediante referencias o apuntadores entre los objetos para comunicarse de una forma más eficiente.

El manejo de apuntadores para la comunicación entre objeto genera que las bases de datos orientadas a objetos pasen más rápido de un objeto a otro, reduciendo en gran medida la recuperación de los datos relacionados entre sí, ya que todos los datos

se encuentran agrupados en un mismo lugar (Benítez *et al.*, 2002).

Es necesario mencionar ciertos aspectos negativos de este tipo de bases de datos ya que al ser una tecnología de reciente aplicación aun se trabaja en la corrección de esos detalles. El primer aspecto en el que se tiene que hacer mención es que al ser una tecnología nueva, presenta un grado de inmadurez dentro del mercado, esto viene a presentar diversos fallos en el momento de la implementación dentro de un sistema, así como falta de compatibilidad entre un sistema de manejo de datos orientado a objetos y otro.

De igual forma esta inmadurez representa una baja presencia dentro del mercado. Otro aspecto importante que se debe de ver dentro de estas bases de datos es la falta de estándares dentro del desarrollo de bases de datos orientadas a objetos, aunque este punto ya es visto por el grupo manejador de objetos (OMG), una organización internacional de proveedores de sistemas de información y usuarios, la cual está dedicada a impulsar estándares para la realización de aplicaciones orientados a objetos. (Benítez *et al.*, 2002).

Al ser establecida una nueva tecnología es necesaria la aceptación de que dicha tecnología desarrollará ciertos

problemas, lo cual eventualmente se estará solucionando, y ya después de esto, se irán adquiriendo todos los beneficios que se esperan de este tipo de bases de datos.

Si se cuenta con grandes grupos de documentos de XML para manejar, las bases de datos de XML tienen algunas ventajas reales que pueden hacer que valga la pena evaluar la gama de productos que existen en la actualidad dentro de las bases de datos de XML.

Dentro del documento *Managing XML data: native XML databases*, Elliot Rusty Harold (Harold, 2005) menciona algunos beneficios de la utilización de las bases de datos nativas de XML, los cuales son importantes ya que se realiza el análisis con respecto los otros tipos de bases de datos.

Una de las ventajas más importantes y que muy comúnmente es pasada por alto, de las bases de datos nativas de XML es que mantiene todo el contenido de un documento en una búsqueda fácil, en un lugar fácil de administrar. No es necesario preocuparse por los grupos de nombres de archivos, o por la estructura de los directorios, ya que todo se encuentra en la base de datos. Todo lo que se tiene que hacer para extraer la información de una

base de datos de XML es realizar una consulta.

Hoy en día mucha información crítica es guardada en documentos de Microsoft Word y en hojas de cálculo de Excel, la mayoría de esa información puede ser almacenada en forma centralizada, en un repositorio de bases de datos de apoyo. Al almacenar esta información en un repositorio, hace posible encontrar la información cuando se necesite, también, por este medio, se habilita la posibilidad de manejar respaldos y sistemas redundantes. Esto puede beneficiar a las compañías evitando la pérdida de proyectos al ser borrados por error.

Una ventaja relacionada con el almacenamiento de los datos en una base de datos de XML es que al ser almacenados en estas, un mismo contenido puede ser visto de diferentes formas, esto de acuerdo a las necesidades del usuario. Si bien no es una característica particular de las bases de datos de XML, dentro de este tipo de base de datos se tiene la ventaja que el resultado final de una consulta de XML genera un documento particular, a diferencia de otros tipos de bases de datos que tienen que utilizar herramientas particulares para poder generar dichos documentos.

La principal ventaja dentro de las bases de datos de XML es el desempeño. Las consultas desarrolladas sobre una base de datos nativa de XML bien diseñada y bien implementada, son más rápidas que las consultas hechas sobre otros tipos de base de datos. Una de las razones para que las consultas sean desarrolladas con rapidez es que la base de datos puede realizar cualquier método de indexación para que trabaje de una manera más rápida.

Así por ejemplo, puede mantener una tabla que contenga todos los valores de identificación en un documento, y de esta manera puede saltar directamente al elemento con el número de identificación específico, en vez de tener que buscar en cada parte del documento hasta encontrarlo, como es el caso de algunas herramientas para manejo de XML. Otro punto por el cual las bases de datos de XML tienen un buen desempeño es debido a que este tipo de base de dato pre-analiza cada documento cuando va a ser almacenado, de esta manera, no necesita revisar cada documento cuando se realiza una consulta, o crear un modelo de objetos que represente el documento a consultarse.

Las bases de datos de XML tienen la capacidad de manejar grandes documentos, esto es debido a que este tipo de base de

datos contiene una característica de respaldo de documentos, algunas herramientas de XML realizan respaldos de un documentos una vez que este llega a un tamaño específico, esto hace que la base de datos trabaje de una forma normal, y no afecta en el rendimiento.

Cabe mencionar una ventaja específica de las bases de datos nativas de XML, esta es, que se tiene la capacidad de recuperar el documento original, carácter por carácter, cuando este sea requerido. Los cual es una característica importante en negocios donde es necesario reproducir el documento original.

Al igual que los otros tipos de bases de datos mencionados, las bases de datos de XML tienen ciertas desventajas, entre las que sobresalen las siguientes:

Debido a que las bases de datos de XML son un tipo de base de datos muy nuevo, no se cuenta con mucha experiencia dentro del ramo, por lo cual muchos de los sistemas son experimentales o limitados.

Ya que es una tecnología nueva, el lenguaje que se utiliza dentro de este tipo de base de datos no es muy sencillo de aprender, por lo cual muchos de los desarrolladores de sistemas toman la iniciativa de utilizar un lenguaje ya conocido, como lo es SQL. (Aerts, 2003)

De acuerdo a las características que se mostraron de cada una de las bases de datos estudiadas, se hizo necesario analizar cada una de estas bases de datos en relación con el tipo de documentos que se iban a utilizar dentro del repositorio de objetos de aprendizaje.

Repositorios y objetos de aprendizaje

Fue de gran importancia durante el estudio dirigir la investigación en relación a los repositorios de objetos de aprendizaje, ya que es en este entorno donde será aplicada la base de datos seleccionada acorde a este estudio.

Los objetos de aprendizaje que fueron de interés dentro esta investigación son aquellos relacionados con el área educativa. Como se mencionó anteriormente un objeto de aprendizaje, se presenta primordialmente de manera digital, contando con la característica de que puede ser utilizado cuantas veces sea necesario para los usuarios, sin que pierda la razón de su creación. De igual forma, dentro de los objetos de aprendizaje existe un elemento de primordial importancia, el cual se utiliza para describir el esquema que va a utilizar el objeto de aprendizaje una vez que es diseñado, este elemento es conocido como metadato.

El propósito que tiene la utilización de los metadatos es el facilitar y mejorar la recuperación de la información. Un objeto de aprendizaje está formado por un conjunto de esquemas de metadatos, los cuales son creados para describir, de una manera estandarizada, objetos de información, para que, de esta manera, puedan ser utilizados por diferentes usuarios y aplicaciones. El esquema proporciona un modelo estructural de cómo está representada los objetos de información dentro del documento (Taxonomy guide, (Sin fecha)).

Los esquemas de metadatos son necesarios dentro de los objetos de aprendizaje, ya que sin ellos se convertirían en documentos planos, de los cuales sería difícil la búsqueda de información. Es por esto que ambos se conforman por una característica similar, el uso del lenguaje de XML para su aplicación.

De acuerdo al estándar de metadatos en objetos de aprendizaje escrito por el Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), se define el uso de XML como lenguaje estándar para la creación de esquemas de metadatos de objetos de aprendizaje, a su vez estos metadatos deben de estar almacenados en un solo archivo, este archivo debe ser adjuntado a los objetos

de aprendizaje, o debe de encontrarse disponible con el propósito de localizar y recuperar los objetos de aprendizaje (Downes, 2003).

De esta manera XML forma parte fundamental dentro de los repositorios de objetos de aprendizaje, ya que es la base para la creación de los mismos. Es por este aspecto que se debió detallar acerca del almacenamiento de XML dentro de las bases de datos relacionales así como las bases de datos orientadas a objetos. Cabe mencionar que las bases de datos nativas de XML no fueron estudiadas en este aspecto ya que, de acuerdo a sus características, proporcionan el ambiente idóneo para el almacenamiento de XML, sin embargo fue necesaria su comparación con respecto a los otros tipos de bases de datos estudiados para así determinar cuál debía ser aplicada dentro del repositorio de objetos de aprendizaje.

Almacenamiento de XML en bases de datos relacionales

En la actualidad las bases de datos relacionales tienen la capacidad de almacenar documentos en lenguaje de XML, esto es debido a que se han ido creando extensiones de los programas ya existentes para poder soportar dicho almacenamiento. Este almacenamiento trae

algunas ventajas, las cuales hacen viable su utilización dentro de un repositorio de objetos de aprendizaje.

Una ventaja dentro de las bases de datos relacionales es que esta tecnología cuenta con muchos años de experiencia, esto hace que sea una tecnología confiable que los sistemas que existen en la actualidad sean sistemas sólidos y maduros.

Otra de las ventajas importantes de las bases de datos relacionales en relación con el lenguaje de XML es la posibilidad de que datos semi-estructurados y tradicionales, puedan coexistir y ser utilizados por múltiples aplicaciones, ya que al ser almacenados los documentos en una tabla relacional, es más fácil procesar consultas complejas dentro de las bases de datos y con más rapidez. (Jinghao, 2004)

De igual forma, las bases de datos relacionales tienen algunas desventajas con respecto al almacenamiento de documentos de XML, estas desventajas pueden dificultar de manera amplia el almacenamiento y manejo de dichos datos.

La principal desventaja con respecto a las bases de datos relacionales es que, para poder almacenar un documento de XML en dichas bases de datos, es necesario convertir el documento a un esquema relacional, esto quiere decir, que cada documento tiene que

ser dividido en discretos componentes, para después ser almacenado en cada uno de los campos de las tablas de una base de datos. Si este procedimiento no se maneja con cuidado, se pueden generar problemas de integridad en los datos (Schaffner, 2003).

A su vez al momento de extraer un documento de XML de la base de datos relacional, tiene que re-ensamblarse los componentes que fueron divididos, y de esta manera poder obtener de nuevo el documento con anterioridad almacenado, lo cual resulta un procedimiento complejo ya que dentro de un documento de XML pueden repetirse los elementos.

Almacenamiento de XML en bases de datos orientadas a objetos

El Internet ofrece un medio para transportar objetos de una aplicación a otra aplicación, sin embargo, los datos deben ser guardados en un almacén de datos, recuperados por una aplicación, manipulados en el dominio de la aplicación, transportados dentro de la Internet por otra aplicación, extraídos dentro de la aplicación, manipulados de nuevo, y después guardados en un almacén.

Los datos pueden ser también procesados y/o modificados en algunas otras partes dentro de este proceso, en consecuencia, los datos tienen que ser

transformados en diferentes formatos dentro de algunas de estas estaciones. Los almacenes suelen ser bases de datos relacionales, esto debido a que, como se menciono con anterioridad, es la base de datos más comercial actualmente.

Debido a que las bases de datos relacionales almacenan los datos en tablas planas, no son consideradas las adecuadas para la manipulación de dichos datos. Ya que los datos por si mismos pueden ser expresados en una forma de estructura compleja. En el lenguaje orientado a objetos la manipulación es mucho más eficiente, expresando los datos como objetos con diversas características, las cuales fueron mencionadas anteriormente dentro de este documento, para mantener las relaciones entre objetos. Cuando los datos dentro de un ambiente orientado a objetos persisten en un formato de tablas planas, las relaciones jerárquicas entre los objetos no se conservan, haciendo que la recuperación y la persistencia de los datos sea una tarea compleja (XML news desk, 2000).

Las bases de datos orientadas a objetos son una buena opción para manipular los datos ya que estas los almacenan en forma de objetos, manteniendo la relación entre los objetos. Una base de datos orientada a objetos

trabaja bajo la suposición de que las bases de datos deben almacenar los objetos que sean copiados directamente de los objetos que fueron definidos en el lenguaje de programación usado para escribir la aplicación. Estos sistemas están basados en un modelo de objetos que mantenga la relación jerárquica entre los objetos, dejando el tipo de dato y ofreciendo una traducción de los objetos para que puedan ser guardados en la base de datos (XML news desk 2000).

De igual forma que las bases de datos relacionales, las bases de datos orientadas a objetos cuentan con pocos años de experiencia en la aplicación del lenguaje

de XML, por consiguiente, no se cuenta con la madurez necesaria para el manejo de los documentos en este lenguaje, esto también ha hecho que existan pocos sistemas que incluyan el lenguaje de XML para el manejo y almacenamiento de los datos. (Jinghao, 2004)

Después de haber realizado la comparación de las características los 3 tipos de bases de datos a estudiarse, así como la forma en que estas bases de datos almacenan información en lenguaje de XML, se representa en la tabla 1 una comparación entre las características similares en las bases de datos.

Tabla 1. Comparación de las Bases de datos

	Bases de datos relacionales	Bases de datos orientadas a objetos	Bases de datos nativas de XML
ALMACENAMIENTO			
Almacenamiento de datos alfanuméricos	x	x	x
Almacenamiento de datos complejos		x	x
Almacenamiento de datos de XML	(Utilizando herramientas diseñadas para su almacenamiento)	x	x
Tipo de almacenamiento	Tablas	Objetos	Documentos
RENDIMIENTO			
Consistencia a sobrecarga		x	x
Consistencia en concurrencia	x	x	x
Velocidad de procesamiento de consultas	Lenta a consultas complejas		Rápido
SEGURIDAD			
Autenticación	x	x	x
Autorización	x	x	x
Confidencialidad	x	x	x
ADMINISTRACION			
Extensibilidad		x	x
Interoperabilidad	x	x	x
Compatibilidad	x		x
Escalabilidad		x	x
Simplicidad	x	x	x

Conclusión

Los repositorios de objetos de aprendizaje han sido resaltados como una alternativa ante la problemática de que la información contenida en los objetos de aprendizaje es cambiante, pretendiendo crear objetos de aprendizaje, mediante un lenguaje estándar. Dicho lenguaje se ha definido como el lenguaje de XML. Las bases de datos relacionales son una opción cuando se pretende almacenar datos alfanuméricos, éste tipo de base de datos de igual manera pueden almacenar XML, sin embargo, se tiene que seguir un procedimiento un tanto complicado, esto puede resultar en dificultades al momento de intentar recuperar el documento, así como en la lentitud del sistema a la hora de realizar una consulta.

Tanto las características de las bases de datos orientadas a objetos como las características de bases de datos de XML son dos opciones importantes para el almacenamiento de un objeto de aprendizaje, las bases de datos orientadas a objetos presentan un diseño que se hace ideal para el manejo de los objetos en su formas nativa, de igual forma permiten el manejo jerárquico, el cual es muy importante dentro de la estructura de XML, ya que esto define la forma en la

que está compuesto el documento. Es también importante destacar que las bases de datos orientadas a objetos cuentan con una interrelación en sus datos y datos con longitud variable, lo cual es un detalle crítico ya que XML maneja varios tipos de datos vinculados dentro del contenido de su estructura, sin embargo, la desventaja principal de este tipo de base de datos es la posibilidad de generar una incompatibilidad entre el sistema que maneje la base de datos y el modelo que sea utilizado para almacenar el documento, esto debido a que se presenta el modelo de datos en un LOO.

De igual forma las bases de datos de XML al contar con una estructura netamente nativa de XML, facilita tanto la consulta como el almacenamiento de los documentos de XML, no es necesario la utilización de ninguna aplicación que interprete el tipo de datos, así como también el manejo de los documento en estas bases de datos se hace de una manera sencilla, lo que proporciona rapidez en las consultas. El modelo de datos dentro es definido dentro del documento, por lo cual, al ser el documento en lenguaje de XML, no crea conflicto alguno con el sistema que se vaya a utilizar para el manejo de la base

de datos. Son sin duda alguna, de acuerdo a los resultados obtenidos de esta investigación, las bases de datos de XML la opción idónea para utilizarse dentro del repositorio de objetos de aprendizaje.

Las bases de datos de XML proporcionarían al repositorio sencillez en su almacenamiento de objetos, facilidad de entendimiento para sus consultas, así como rapidez para realizar consultas, recuperar documentos en su totalidad, y ampliar su capacidad de almacenar nuevos objetos, todo esto sin la necesidad de tener que volver a realizar un procedimiento largo y complicado, arriesgando la pérdida de la información, o la integridad de un documento.

Referencias

Aerts, J. 2003. *Bases de Datos Nativas XML*. Recuperado el 15 de abril del 2009, de <http://www.xml4pharma.com/XMLDB/index.html>.

Benítez, R. & Roa, I. & Romero D. 2002. *Bases de datos orientadas a objetos*. Recuperado el 7 de abril del 2009, de <http://www.dei.uc.edu.py/tai2002/BDOO/ventoo.htm>.

Bichindaritz, I. 2005. *Object-oriented databases*. Recuperado el 7 de abril del 2009, de http://courses.washington.edu/tcss445/tcss445A_16.ppt#34.

Business Collaborator 2003. *Introduction to the relational database tool*. Recuperado el 2 de abril del 2009, de <http://dev-odbc.groupbc.com/bchelp/sec-8-0.html>.

Oak, M. 2008. *Advantages of relational databases*. Recuperado el 2 de abril del 2009, de

<http://www.buzzle.com/articles/advantages-of-relational-databases.html>

Downes, S. 2003. *Learning objects standards*. Recuperado el 23 de abril del 2009, de: http://community.flexiblelearning.net.au/GlobalPerspectives/content/article_4503.htm.

Guadalupe, E. 2000. *Repositorios de información*, Tesis Recuperado el 24 de febrero del 2009, de:

<http://www.fismat.umich.mx/~elizalde/tesis/node7.html>.

Harold, E. 2005. *Managing XML data: native XML databases*. Recuperado el 15 de abril del 2009, de <http://www.ibm.com/developerworks/xml/library/x-mxd4.html>.

Jinghao, L. 2004. *XML database- the future way to save your data !?*. Recuperado el 14 de abril del 2009, de http://www.cie-sea.org/2004Spring/XML_database.ppt#21.

Keller, W. & Coldewey, J. 2001. *Relational database access layers a pattern language*. Recuperado el 2 de abril del 2009, de:

http://www.objectarchitects.de/ObjectArchitects/papers/Published/ZipedPapers/plop_relzs05.pdf

Metz, M., Kumaresan, P., Gavinlertvatana, N., Keow, K. and Ramachandran, P. 2004. *Object oriented databas*. Recuperado el 7 de abril del 2009, de:

<http://www.ieor.berkeley.edu/~goldberg/courses/F04/215/215-OODB.ppt#7>.

Schaffner, B. 2003. *Clearing the confusion about xml databases*. Recuperado el 4 de marzo del 2009, de:

http://articles.techrepublic.com.com/5100-22_11-5075453.html?tag=rbxccnbt1.

Taxonomy guide Glossary (Sin fecha). Recuperado el 23 de abril del 2009, de:

<http://plc.fis.utoronto.ca/tgdemo/Glossary.asp>.

Tu, Y. 2003. *Object-relational DBMSs*. Recuperado el 2 de abril del 2009, de <http://www.cs.sjsu.edu/~lee/cs157b/Object-Relational%20DBMSs.ppt>

XML news desk 2000. *XML, RDBMS and OODBMS: peaceful coexistence?* Recuperado el 14 de abril del 2009, de <http://xml.sys-con.com/node/40047>.

PERTINENCIA DE LA FORMALIZACIÓN DE DOMINIOS SEMI-FORMALMENTE DEFINIDOS EN EL ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS

M.C. Karla Olmos Sánchez Ph.D. Jorge Rodas Osollo M.C. Luis Felipe Fernández

Centro de Ingeniería de Software

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

Descubrir Conocimiento en Dominio Semi-Formalmente Definidos es un problema no trivial que generalmente requiere de soluciones de hechura a la medida, costosas y en las que se requiere invertir un tiempo considerable, cuando éstas son encontradas. Lo anterior debido a las grandes cantidades de conocimiento tácito o implícito que dificulta la organización del conocimiento en una estructura que ayude a transitar de un estado a otro hasta alcanzar una solución. Es así que el presente artículo somete a discusión la pertinencia de llevar a cabo una caracterización, quizás mediante la propuesta de una ontología, que ayude a los buscadores de conocimiento a tener mayor claridad de la situación que establezca la naturaleza del Problema que enfrentan y que les permitiría implementar una solución que produjera resultados más útiles y significativos y, posiblemente, con un menor esfuerzo.

Palabras clave: Análisis inteligente de datos, dominios semi-formalmente definidos.

Introducción

Debido a la tecnología digital, desde hace más de quince años está presente un crecimiento exponencial de datos; como consecuencia, se han creado técnicas y herramientas para su depuración y análisis cuya finalidad es obtener provecho de los datos que se van generando convirtiéndolos en información útil, es decir conocimiento. Tal conocimiento es producto del proceso que llevan a cabo las áreas de el Análisis Inteligente de Datos (IDA, Intelligent Data Analysis) y Descubrimiento de Conocimiento en Grandes Bases de Datos

(KDD, Knowledge Discovery Data) (Fayyad et al, 1996). En ambas áreas se recurre a un proceso interactivo e iterativo de análisis de datos que involucra la preparación de los datos, la búsqueda de patrones, la evaluación y refinamiento de los patrones encontrados para determinar cuáles de ellos puedan ser considerados como nuevo conocimiento.

El KDD se ideó para trabajar con grandes cantidades de datos mientras que para el IDA esto no representa una restricción. Es así, que en lo general el KDD es utilizado para resolver Problemas

relacionados con grandes cantidades de datos y típicamente encontrados en ámbitos como: el financiero, varias ramas de ingeniería, seguridad informática, juegos, mercadotecnia... En el caso del IDA se ha utilizado para resolver Problemas Complejos e Imprecisos que por su naturaleza misma requieren de soluciones de hechura a la medida y que con mayor frecuencia se presentan en ciertos ámbitos que involucran Dominios como: medicina, biomedicina, educación, ingeniería de software, cambio climático... Una discusión detallada de las coincidencias y diferencias entre ellas se puede encontrar en (Lavrac *et al*, 2000).

Para que, tanto el KDD como el IDA brinden conocimiento es necesario tener claridad en cuanto a cómo es la relación e interacción entre las partes comprendidas en el Dominio del Problema a resolver. Esto es un problema no trivial, especialmente en los Dominios que con más frecuencia atiende el IDA, debido a que, además de tratar con conocimiento explícito del Dominio específico del Problema a resolver, es necesario contemplar grandes cantidades de conocimiento tácito o implícito por lo que, generalmente, el conocimiento en estos Problemas carece de estructura o su estructura es incompleta y no

es sencillo transitar entre estados para llegar a una solución.

Lo anterior, es bien conocido por quienes nos dedicamos a obtener conocimiento y aunque solemos salir avantes de dicha situación, sería de gran utilidad contar con algún procedimiento que estableciera una estructura donde no la hay o al menos diera mayor certeza al cómo incluir o considerar el conocimiento tácito, de forma que se pueda mejorar la definición del problema, y el desarrollo o selección de algoritmos o metodologías con el objetivo de minimizar la cantidad de intentos fallidos al tratar de obtener conocimiento.

Es así, que el presente artículo somete a discusión la pertinencia de llevar a cabo una caracterización, quizás mediante la propuesta de una ontología, que ayude a los buscadores de conocimiento a tener mayor claridad de la situación que establezca la naturaleza del Problema que enfrentan y que les permitiría implementar una solución que produjera resultados más útiles y significativos y, posiblemente, con un menor esfuerzo.

La sección 2 revisa un conjunto amplio de referencias antecedentes de los Problemas en Dominios Parcialmente Definidos. La sección 3 resalta la Importancia del Conocimiento del Dominio

y la necesidad de establecer un instrumento para la caracterización de un Problema enmarcado por un Dominio Parcialmente Definido. En la sección 4 se mencionan algunas áreas de interés donde lo señalado en la sección anterior tendría un impacto directo. Finalmente en la sección 5 se presenta la Discusión y Trabajo Futuro.

Antecedentes de los Problemas de Dominios Parcialmente Definidos

Antecedentes

Un problema es algo desconocido que resulta de cualquier situación en la cual una persona busca completar una necesidad o alcanzar una meta. Para (Cao, 2006) cuando “...no existen formas propias de clarificar o refinar un problema, el proceso de solución de éste y los esfuerzos del proceso pueden ser extremadamente largos y costosos”. Es así, que a lo largo de la historia se han realizado diversos esfuerzos por caracterizar los problemas. Por ejemplo, en el área de Inteligencia Artificial, Simon (Simon, 1973) postula que existen dos tipos de problemas: los Bien Estructurados y los Parcialmente Estructurados. Los primeros tienen una formulación correcta, se puede determinar el estado inicial y el estado meta a partir de esta formulación; y los operadores están bien definidos por lo que permiten

progresar del estado inicial al estado meta sin complicaciones. Los Problemas Parcialmente Estructurados forman parte de una categoría residual y son todos los problemas que no cumplen con alguna característica de los Bien Estructurados.

Los problemas de matemáticas y ciencias generalmente se consideran como Bien Estructurados. Por otro lado, los problemas relacionados con ética, diseño, leyes y diagnóstico médico se consideran Parcialmente Estructurados.

Jonassen (1997) propone que los problemas se clasifiquen en Problemas Tipo Rompecabezas, Bien Estructurados y Parcialmente Estructurados. Para él “Los problemas parcialmente estructurados poseen múltiples soluciones y rutas de solución, pocos parámetros manipulables, y existe incertidumbre acerca de cuáles conceptos, reglas y principios son necesarios para la solución o cómo se organizan, y acerca de cuál solución es la mejor”. Por otro lado, la diferencia de los Problemas de Acertijos con los Bien Estructurados es que los primeros son problemas descontextualizados, diseñados para manifestar procesos de pensamiento y razonamiento. Tales como el problema de las Torres de Hanoi y el acertijo de los Misioneros y Caníbales.

Rittel y Webber (1973) proponen otra clasificación de los problemas. Para ellos los problemas se clasifican en Rutinarios (tame) y Complicados (wicked). Los primeros son los relacionados a las matemáticas y al ajedrez (ejemplos similares que se mencionan para los Bien Estructurados).

Los Problemas Complicados son incompletos, contradictorios y sus requerimientos son variables. Las soluciones de estos problemas frecuentemente son difíciles de alcanzar e incluso de reconocer debido a la compleja interdependencia entre una gran cantidad de variables. El término Wicked Problem se ha utilizado recientemente en trabajos relacionados con los Sistemas de Soporte de Decisiones y Soft Computing (Zannier et al, 2007), (Klashner y Sabet, 2007) (Petkov et al, 2006).

Los Problemas se enmarcan en un Dominio, entendiendo éste último como un Universo del Discurso. Así como los problemas, los Dominios también se han intentado clasificar. Para Lynch y Alevan (2006) los Dominios típicamente connotan un área de estudio tal como la física, o un conjunto de problemas y hace un estudio exhaustivo de los Dominios Parcialmente Definidos. Para estos autores un Dominio

Parcialmente Definido se caracteriza por 1) La falta de estándares para verificar la solución de los problemas 2) Las Teorías Formales en estos Dominios generalmente son consensuadas, típicamente usadas para guiar intuiciones y no para dictar resultados, 3) La Estructura de la Tarea es parcialmente definida y para resolver un problema se requiere determinar qué leyes o teorías se deben aplicar a la situación actual. 4) Los conceptos en estos dominios carecen de una definición absoluta, y 5) La división de los problemas en subproblemas no reduce la complejidad, ya que los subproblemas se restringen unos a otros, y ninguno de ellos puede ser resuelto sin considerar los efectos de los otros.

Sin embargo considera que los términos Parcialmente Estructurado y Parcialmente Definido son intercambiables y, para efectos de su trabajo, no establece una distinción entre los Problemas y Dominios.

Otros autores, sin embargo, han diferenciado entre Problemas y Dominios y han estudiado su relación. Por ejemplo, para Jonassen (1997) un problema tradicionalmente se define por un Dominio del Problema, un Tipo de Problema, un Proceso de Solución del Problema y una Solución. El Dominio del Problema consiste

del contenido (conceptos, reglas y principios) que definen los elementos del problema. En un trabajo posterior, Jonassen y Hung (2008) propone un modelo para la clasificación de problemas, donde la dificultad del problema se analiza y evalúa en términos de su naturaleza y nivel al examinar sus Dimensiones de Complejidad y Estructuración. La Dimensión de Complejidad se conforma de cuatro parámetros: la Amplitud del Conocimiento requerido para resolver el problema, el Nivel de Dificultad del Conocimiento del Dominio, la Complejidad de los Procedimientos de Resolución del problema, y la Complejidad Relacional. La Dimensión de Estructuración consiste de cinco parámetros: el desconocimiento del Espacio del Problema, la heterogeneidad de interpretaciones, la interdisciplinariedad, la dinámica del proceso de solución del problema y la cantidad de soluciones posibles.

Por otra parte en (Fournier-Viger et al, 2008) los autores consideran los Problemas Parcialmente Estructurados de acuerdo a Simon (1973) y argumenta que los Dominios que incluyen estos problemas y en los cuales los objetivos de enseñanza se enfocan en habilidades de resolución de

problemas, se consideran Parcialmente Definidos.

En el trabajo de Mitrovic y Weerasinghe (2009), situado en el ámbito de los Tutoriales Inteligentes, se propone la necesidad de considerar dos dimensiones ortogonales cuando se trabaja con Problemas Indefinidos: el Dominio y la Tarea Instruccional. Los Dominios varían en términos de las Teorías del Dominio y pueden ser Bien o Parcialmente Definidos. Sin embargo, si el Dominio es Bien Definido no significa que las Tareas Instruccionales también lo sean. Como ejemplo, se considera la tarea de realizar un modelo de bases de datos de entidad relación. El Dominio es Bien Definido ya que los conceptos son claros y existe una sintaxis formal para elaborar los diagramas. Por otro lado, la Tarea es Parcialmente Definida ya que no hay un camino único para determinar la solución.

Por último, nos interesa resaltar los trabajos en el área de Descubrimiento de Conocimiento que han puesto especial atención a la caracterización de los problemas que trabajan. En particular el grupo Knowledge Engineering and Machine Learning Group (KEMLG) clasifica los problemas que atiende como Dominios Poco Estructurados (Gibert y Cortés, 2004)

y los caracteriza por: 1) Los elementos del dominio vienen descritos por conjuntos heterogéneos de variables, 2) Existe un conocimiento a priori adicional sobre la estructura del dominio, y 3) La complejidad inherente al dominio hace que el conocimiento que de él se tiene sea parcial (en este dominio existe gran cantidad de conocimiento implícito y grandes incógnitas) y no homogéneo (el grado de especificidad del conocimiento disponible es distinto para distintas partes del dominio).

De acuerdo a esta revisión referencial se puede observar que existe una necesidad de clasificación de los Problemas y que una forma de clasificarlos es de acuerdo a las características del Dominio en el que se enmarcan. Sin embargo, a pesar de las coincidencias, se puede observar una divergencia de opiniones. Lo anterior lo atribuimos a la visión que de estos Problemas y sus Dominios tienen los autores de acuerdo a su área de investigación. Por lo que es necesario establecer una postura que permita construir una argumentación.

Problemas Enmarcados en Dominios Semi-Formalmente Definidos

La figura 1 muestra un modelo conceptual como una propuesta para establecer una

postura inicial acerca de los Problemas y los Dominios que toma como base la información referencial de la sección anterior (El modelo conceptual está creado de acuerdo a la sintaxis y semántica de los Diagramas de Clase de UML). Las líneas simples indican una relación de asociación, las líneas que finalizan en triángulos indican una relación de herencia y las líneas que finalizan en rombos rellenos indican una relación de agregación.

Para nosotros un Problema se compone de un Planteamiento, una o varias Soluciones y uno o varios Algoritmos de solución. El Planteamiento puede ser completo o incompleto. Cuando un Planteamiento no es completo consideramos que el Problema es Impreciso pero no necesariamente por su naturaleza. Por otro lado, la Solución tiene el atributo booleano de verificable dependiendo de si, como su nombre lo indica puede ser verificable o no. Aunque algunos autores proponen clasificar los problemas en más de dos categorías, nosotros consideramos que sólo es necesario dividirlos en dos: con Estructura y con Estructura Parcial. Los Problemas con Estructura Parcial pueden tener diversos niveles de “estructuración” y esto daría lugar a las diversas clasificaciones que proponen los autores. Un Problema se

asocia con un Conocimiento del Problema que sería todo el conocimiento que se tiene del Problema. Este Conocimiento se enmarca en un Dominio como Área de Conocimiento. Esta relación es uno a muchos ya que un Problema puede necesitar de diversas áreas para ser resuelto. El Dominio como área de conocimiento puede ser Formalmente Definido o Semi-

Formalmente Definido. Definir los Dominios de esta forma y no de la generalmente encontrada en la literatura como Bien Definidos o Parcialmente Definidos obedece a la concepción de los Sistemas Formales. Más adelante se establece una definición a detalle de estos conceptos.

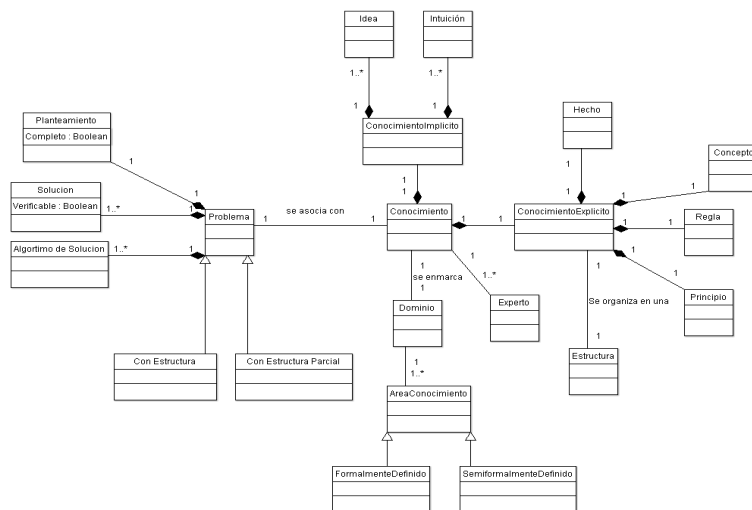


Figura 1. Modelo Conceptual Problemas y Dominios

El Conocimiento del Problema puede ser Explícito o Implícito. El primero se refiere a Hechos, Conceptos, Reglas y Principios, que puede ser representado de alguna forma tal que es posible compartirlo. El Conocimiento Implícito tiene que ver más con ideas e intuiciones, se adquiere por experiencia y no es

susceptible de ser representado. Generalmente existen uno o varios Expertos que tienen el conocimiento o acceso a éste para resolver el Problema. Considerando que una Estructura es la forma en la cual algo se ordena u organiza, la estructura de un problema por lo tanto es la forma en que se organizan u

ordenan los Conceptos, Hechos, Reglas y Principios que nos permita un andamiaje para llegar a una solución. Depende del conocimiento explícito.

A continuación se establecen las definiciones para efectos de nuestro trabajo de Sistema Formal, Dominios Formalmente Definidos e Informalmente Definidos. Las definiciones propuestas recuperan gran parte de las ideas del trabajo de Lynch pero diferencia entre Dominio y Problema e incorpora explícitamente el conocimiento tácito como en el trabajo de Gibert.

Sistema Formal. Sistema axiomático compuesto de símbolos que se unen entre sí formando cadenas que a su vez pueden ser manipuladas según reglas para producir otras cadenas. El sistema formal es capaz de representar cierto aspecto de la realidad. Se llama formalización al acto de pretender capturar y abstraer la esencia de determinadas características del mundo real, en un modelo conceptual expresado en un determinado lenguaje formal. Un sistema así es la reducción de un lenguaje formalizado a meros símbolos, lenguaje formalizado y simbolizado sin contenido material alguno.

Dominios Formalmente Definidos. Una esfera de actividad, interés o función cuyos componentes explícitos (conceptos, hechos, reglas y principios) así como sus relaciones tienen una sintaxis y semántica bien definida y donde existen algoritmos determinísticos que garantizan soluciones finitas y verificables. Para resolver problemas en estos dominios generalmente no se requiere ninguna interpretación de la persona que resuelve el problema. El conocimiento para resolver problemas en estos dominios es en su mayoría explícito, por lo que se puede determinar la estructura de los problemas sin complicaciones. Algunos ejemplos de estos Dominios son la Física, Matemática, Química, etc.

Dominios Semi- Formalmente Definidos. Una esfera de actividad, interés o función cuyos componentes (conceptos, hechos, reglas y principios) así como sus relaciones tienen una sintaxis y semántica definidas de acuerdo a un consenso. Las soluciones de los problemas en estos dominios suelen ser diversas ya que dependen de la interpretación de la persona que resuelve el problema. Se puede construir una estructura parcial de los problemas con el conocimiento explícito que permita conducir a una

solución, aunque se requiere de grandes cantidades de conocimiento tácito para llegar a ella, el cual no es susceptible de representarse en la estructura. Algunos ejemplos de estos Dominios son la Medicina, la Ética, la Política, el área de Diseño en general como la Arquitectura o el Desarrollo de Software.

Por último, nos interesa resaltar la relación que existe en el Conocimiento Implícito y Explícito dependiendo de las

características del Dominio, entre mayor definido se encuentre un Dominio mayor será la cantidad de conocimiento explícito que se tenga de los problemas y viceversa entre menos definido se encuentre el Dominio mayor será la cantidad de conocimiento implícito que se requiere para solucionarlos. Como puede apreciarse en la Figura 2.

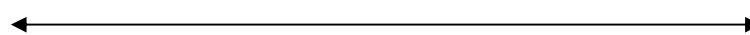
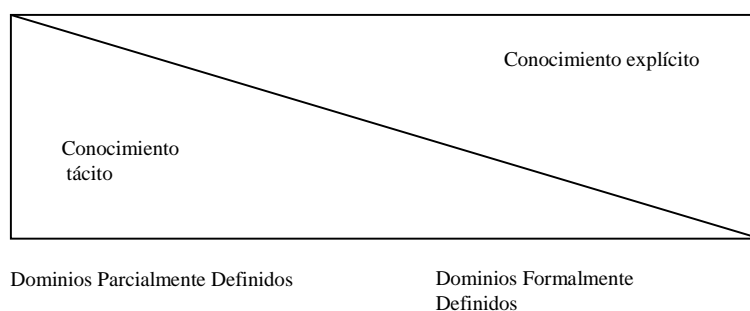


Figura 2. Relación entre Dominio y Conocimiento

Necesidad de Caracterización de Dominios: Importancia del Conocimiento del Dominio

Una de las discusiones actuales de la comunidad de IDA tiene que ver con que los trabajos presentados en esta área se están enfocando más al análisis de algoritmos de minería de datos, cuando la esencia original de la disciplina era

generar nuevo conocimiento para automatizar algunas de las habilidades de razonamiento de los analistas de datos.

Es así que una corriente actual del IDA es orientarse a resolver problemas prácticos de valor para la sociedad en ámbitos como: el cambio climático, la pérdida de hábitat, educación y medicina (Cohen y Addams, 2009). Según estos

autores para responder efectivamente a estos retos se deben replantear las siguientes actividades: el origen de los datos, los metadatos y la búsqueda de datos, el razonamiento acerca del contenido o el significado de los datos, las interfaces de usuario, la visualización de resultados e incluso considerar temas de privacidad y ética. Además, el conocimiento descubierto debe ser validado no sólo con mediciones técnicas sino también por el grado de valor que tiene para los expertos en el área de interés.

Como puede observarse, lo anterior implica incluir el Conocimiento del Dominio en el proceso de Descubrimiento de Conocimiento. El Conocimiento del Dominio se refiere al conocimiento que es válido y directamente utilizado en un Dominio preseleccionado de un desafío humano o una actividad de cómputo autónomo. Los especialistas y expertos utilizan y desarrollan su propio conocimiento del dominio. Siguiendo a (Viademonte y Burstein, 2006) el Conocimiento del Dominio puede ser clasificado en dos tipos, el conocimiento fáctico y el conocimiento relativo a la experiencia. El conocimiento fáctico consiste de

conocimiento explícito del dominio, tal como hechos, datos, contexto y relaciones relevantes al problema de decisión; mientras que el conocimiento relativo a la experiencia consiste de conocimiento implícito del dominio que poseen los expertos.

El Conocimiento del Dominio incluye información acerca de las relaciones entre los objetos, tipos de atributos y otros aspectos semánticos; esto comprende el alcance de los valores y el significado de valores espaciales como los valores por defecto o las excepciones.

Diversos autores coinciden en la importancia del Conocimiento del Dominio como estrategia para mejorar los resultados del proceso de Descubrimiento de Conocimiento, en particular en Dominios cuyas características se asemejan a las de los Semi-Formalmente Definidos.

Por ejemplo, en (Redpath y Srinivasan, 2004) se argumenta que para automatizar un proceso de KDD con éxito se requiere capturar el Conocimiento del Dominio de tal forma que de soporte a los diferentes estados del proceso. Para estos autores algunos temas que requieren resolverse son a) El establecimiento una

clasificación general de Conocimiento del Dominio que pueda ser aplicable en diferentes dominios y b) La adopción de un lenguaje formal y notación que permita manipular las clases del Dominio del Conocimiento que sean reconocidas como estándares.

Por otro lado, Cao et al (2010) va más allá y sugiere la inclusión de la Inteligencia del Dominio en el proceso de minería de datos para salir avantes en el análisis de problemas de la vida real. La Inteligencia del Dominio consiste en el Dominio del Conocimiento y de los expertos, la consideración de restricciones, y el desarrollo de patrones difíciles de visualizar. Para Cao es el usuario o el experto, quien dice “sí” o “no” a los resultados obtenidos.

Existen otras áreas como la biomedicina donde las características propias de los datos en estos dominios complican el proceso de extracción de conocimiento. Para enfrentar estos problemas, uno de las alternativas que se plantea es la necesidad de desarrollar métodos que sean capaces de utilizar alguna forma del conocimiento médico existente en las actividades de descubrimiento de conocimiento, ya que estas actividades sólo son significativas

cuando consideran el conocimiento existente en el área de aplicación (Peek et al, 2009).

Por último, citando a Deng y Purvis (2009) “Sin el uso propio y suficiente del Conocimiento del Dominio en las aplicaciones de minería de datos se corre el riesgo de: a) elegir los algoritmos o modelos equivocados o sub-óptimos, b) malinterpretar los resultados del análisis de datos, y por lo tanto c) reducir la confianza del usuario en el uso de estos métodos”.

Necesidad de Caracterización de Dominios

Como hemos mencionado anteriormente, actualmente existen grandes volúmenes de datos y una creciente necesidad de manipularlos para transformarlos en conocimiento. Sin embargo, mucho del trabajo en las áreas de KDD e IDA se ha enfocado en evaluar la eficiencia de los algoritmos con poco o nulo valor para las personas interesadas en la estructura de los datos, como el médico, el inversionista, el ambientalista, el ingeniero de software... Por tal motivo, diversos autores concuerdan que es necesario orientarse a resolver problemas de valor para la sociedad como el cambio

climático, la pérdida de hábitat, educación y medicina, entre otros.

Sin embargo, las técnicas o métodos convencionales para descubrir conocimiento en estos Dominios generalmente no generan resultados satisfactorios. La revisión referencial nos indica que en parte lo anterior es consecuencia de las características inherentes del Dominio al que pertenecen estos problemas. Lo que implica la utilización de grandes cantidades de conocimiento implícito para solucionarlos. Por lo que muchas ocasiones es preciso soluciones de hechura a la medida en las que se consume mucho tiempo para idearlas, ya que generalmente se realizan a prueba y error, y es probable que los métodos encontrados no funcionen para otros tipos de problemas, incluso con características similares.

A pesar de los diversos trabajos encontrados acerca de la importancia de considerar el Conocimiento del Dominio para extraer conocimiento, a excepción de los trabajos del grupo KEMLG, en el ámbito de Descubrimiento de Conocimiento, no se encontraron referencias dónde se mencionen explícitamente los término de Dominio

Mal Estructurado, Dominio Mal Definido o algún concepto similar que evidencie que se intenta clasificar los Problemas de acuerdo al Dominio al que pertenecen.

Aunque no se descarta la idea que Problemas que pertenecen a estos Dominios están siendo analizados por otros grupos de investigación. Por ejemplo en el trabajo de Hassanien et al (2008) se analizan las relaciones entre variables psicosociales y niños con diabetes utilizando Rough Sets. Hassanien menciona que “el análisis de datos médicos frecuentemente concierne con el tratamiento de conocimiento incompleto, con el manejo de piezas inconsistentes de información y con la manipulación de varios niveles de representación de los datos”. Como puede observarse este problema pueda ser caracterizado como Semi-Formalmente Definido pero en el trabajo no se hace ninguna mención explícita del término como tal. Lo anterior puede ser debido a que no existe un parámetro que permita a los analistas identificar el tipo de Dominio que enmarca el Problema que atienden.

Aunado a esto, cabe mencionar que la definición propuesta en (Gibert y Cortés, 2004) Gibert y utilizada en

diversos trabajos del grupo KEMLG describe a grosso modo los Dominios Mal Estructurados y, aunque se ha utilizado con éxito en situaciones particulares (Gibert y Cortés, 2006), (Gibert y Pérez-Bonilla, 2005), (Rodas y Rojo, 2005), (Vazquez, 2008), consideramos que la enumeración de características es insuficiente para ayudar a los analistas de datos a definir el tipo de problema al que se enfrentan, lo cual les permitiría seleccionar los algoritmos o metodologías más apropiados para producir resultados más útiles y significativos y, posiblemente, minimizar la cantidad de intentos fallidos al tratar de obtener conocimiento.

Área de incidencia: Ingeniería de Software

Las áreas de incidencia de esta propuesta serían aquellas cuyos Dominios empaten con la definición propuesta de Semi-Formalmente Definidos como el diagnóstico médico, el cambio climático, educación, desarrollo de software... A continuación se analiza el impacto en Ingeniería de Software.

En Ingeniería de Software no sólo existe la necesidad de gestionar el conocimiento de la organización, sino que

también es necesario entender el dominio para el cual el software será desarrollado. En este sentido Brooks (Brooks, 1987) señala que "... la dificultad del desarrollo de software es la especificación, diseño y prueba de sus constructos conceptuales y no la tarea de representar y probar la fidelidad de su representación".

Lo anterior implica que se debe poner especial cuidado en entender el dominio para definir debidamente los requerimientos del sistema para que el producto final se apegue en lo posible a las especificaciones del cliente. De igual forma, mucho del conocimiento de las organizaciones donde se implementaría el sistema de software, es conocimiento tácito difícil de describir y transformar en información que el analista pueda manipular (Friedrich y Var Der Poll, 2007).

En esta área, en (Deng y Purvis, 2009) se exponen un caso de estudio para estimar los esfuerzos de software en un proceso de desarrollo de software que combina el uso de algoritmos de minería de datos y Conocimiento del Dominio. Se propone una propuesta integral de minería de datos, donde la visualización, selección de características y modelos se conducen de acuerdo al Conocimiento del

Dominio. Este conocimiento también ayuda a validar el modelo de predicción así como asistir la interpretación de los resultados finales.

Dentro de la Ingeniería de Software existen otros Dominios como la Ingeniería de Requerimientos, en los que las características del problema como información de alta dimensión, dispersa y con errores, proveniente de expresiones cortas y ambiguas de los stakeholders, así como la necesidad de incluir a éstos en diferentes estados del proceso hace que las técnicas estándares de agrupamiento de minería de datos como K-means, agrupamiento aglomerativo jerárquico, y las técnicas probabilísticas no generen resultados satisfactorios (Duan, 2008). Descubrir conocimiento en estos Dominios requiere generalmente de soluciones de hechura a la medida que permita lidiar con la complejidad del problema en sí mismo y que incluyan el Conocimiento del Dominio.

Discusión

Una vez que se ha establecido el panorama general de los Dominios Semi-Formalmente Definidos y la necesidad de caracterizarlos, es importante discutir algunas cuestiones.

Primero, como puede observarse existe divergencia de opiniones y no hay mucho acuerdo en cuanto a la terminología utilizada en este tema y a las definiciones que dan soporte a esta temática. Por lo que es evidente la necesidad de una formalización de estos Dominios. La idea es transitar del Modelo Conceptual propuesto en la sección 2.2 a una Ontología formal que intente poner orden a las ideas de los diversos autores.

Otro punto es la necesidad de caracterizar los Problemas y Dominios desde el punto de vista del KDD o del IDA. Gran parte de las referencias encontradas acerca de los Problemas y Dominios se relacionan con el área educativa. Por ejemplo, Jonassen y Hung, (2008) caracterizan los Problemas para determinar que Dominios son factibles de ser enseñados utilizando el método de Aprendizaje Basado en Problemas. Sin embargo, hemos notado diferencias en el contexto del Descubrimiento de Conocimiento con la Educación, por lo que valdría la pena analizar este tema desde esta perspectiva. Por ejemplo, en el área educativa generalmente se enfocan en desarrollar habilidades para un Dominio como área de estudio en

particular, por lo que su interés es trabajar con Problemas de Dominio específicos.

En el área de Descubrimiento de Conocimiento generalmente el proceso es inverso, el Problema se genera de acuerdo a una necesidad de una o un grupo de personas interesadas en descubrir conocimiento en un Dominio en cual tienen cierta expertis. Otra diferencia es que cuando en el área educativa generalmente se enfocan a un Dominio, en el área de Descubrimiento de Conocimiento resolver un Problema puede necesitar conocimiento de diversos Dominios como área de estudio.

Por último, es importante hacer notar la necesidad de considerar explícitamente el conocimiento tácito en la definición de los Dominios Semi-Formalmente Definidos y analizar a detalle la forma en que afecta la caracterización de los Problemas y el grado en que se debe involucrar al experto en el Proceso de Descubrimiento de Conocimiento.

Trabajo Futuro

Por lo anterior anotado, es evidente que falta mucho trabajo por realizar. Sin embargo, consideramos que el siguiente paso es el desarrollo de una Ontología

que proporcione una especificación explícita de la conceptualización de estos Dominios que permita poner orden a esta temática y que sea realizada desde el punto de vista del KDD y del IDA.

Una vez desarrollada la ontología se puede determinar de una manera más formal cuál es la relación específica entre los Problemas y los Dominios, además estudiar con mayor exactitud de qué forma las características del Dominio determinan las características del Problema.

Un trabajo a mediano plazo es explorar de qué forma las características del Dominio ayuden a seleccionar algoritmos o metodologías que minimicen el proceso de Descubrimiento de Conocimiento que permita enfocar los esfuerzos en solución de Problemas de valor para la humanidad y no solo en la evaluación de eficiencia de los diversos algoritmos.

Referencias

- Brooks, F. 1987. No Silver Bullet - Essence and Accidentals of Software Engineering. *IEEE Computing*, 20, 10 - 19.
- Cao, L., Yu, P., Zhang, C., y Zhao, Y. 2010. *Domain Data Mining*. New York: Springer.
- Cohen, P., y Addams, N. 2009. Intelligent Data analysis in the 21 st Century. *Proceedings of the 8th International Symposium*

on *Intelligent Data Analysis: Advances in Intelligent Data Analysis VIII*. Lyon, France.

Deng, J., y Purvis, M. 2009. Software Effort Estimation: Harmonizing Algorithms and Domain Knowledge in an Integrated Data Mining Approach.

Duan, C. 2008. *Clustering and its Applications in Software Engineering*. DePaul University. USA: DePaul University.

Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., y Smith, P. (1996). *From Data Mining to Knowledge Discovery: an Overview*. The AI Magazine , 17 (3), 37-54.

Fournier-Viger, P., Nkambou, R., y Mephu Nguito, E. 2008. A Sequential Pattern Mining Algorithm for Extracting Partial Problem Spaces from Logged User Interactions. *3rd International Workshop on Intelligent Tutorial Systems in Ill-Defined Domains*, (págs. 46-55). Montreal Canada.

Friedrich, W., y Var Der Poll, J. 2007. Towards a Methodology to Elicit Tacit Knowledge Domain Knowledge to Users. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge and Management*, 179-193.

Gibert, K., y Cortés, U. 2006. Clustering based on rules and Knowledge Discovery in ill-structured domains. *Computación y Sistemas*.

Gibert, K., y Cortés, U. 2004. Técnicas Híbridas de Inteligencia Artificial y Estadística para el Descubrimiento de Conocimiento y Minería de Datos. *Tendencias de la Minería de Datos en España* , págs. 119-130.

Gibert, K., y Pérez-Bonilla, A. 2005. *Fuzzy box-plot based induction rules. Towards automatic generation of classes-interpretation*. EUSFLAT. Barcelona.

Hassanien, A., Abdelha, M., y Own, H. 2008. Rough Sets Data Analysis in Knowledge Discovery: A Case of Kuwait Diabetic Children Patients. *Advances in Fuzzy Systems*, 8, 1-13.

Jonassen, D. H. 1997. Instructional design models for well-structured and Ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 45 (1), 65-94.

Jonassen, D., y Hung, W. 2008. All Problems are not Equal: Implications for Problem-Based Learning. *The Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning* , 2 (2), 6-28.

Klashner, R., y Sabet, S. 2007. A DSS Design Model for Complex Problems: Lessons from Mission Critical Infrastructure. *Decision Support Systems*, 43 (3), 990-1013.

Lavrac, N., Keravnou, E., y Zupan, B. 2000. Intelligent Data Analysis in Medicine. *Encyclopedia of Computer and Technology*, 9, 113-157.

Lynch, C., y Alevan, V. 2006. Defining "Ill-Defined Domains; A literature survey". *8th Conference on Intelligent Tutoring System*. Jhongli, Taiwan.

Mitrovic, A., y Weerasinghe, A. 2009. Revisiting Ill-Definedness and the Consequences for ITSs. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications* , 200, 375-382.

Peek, N., Combi, C., y Tucker, A. 2009. Biomedical Data Mining. *Journal Methods of Information in Medicine*, 48, 225-228.

Petkov, D., Petkova, O., Andrew, T., y Nepal, T. 2006. Mixing Multiple Criteria Decision Making with Soft Systems Thinking Techniques for Decision Support in Complex Situations. *Decision Support Systems*, 43 (4), 1615-1629.

Redpath, R., y Srinivasan, B. 2004. A Model for Domain Centered Knowledge Discovery in Database. *Proceedings of the IEEE 4th International Conference on Intelligent Systems Designs and Applications*. Budapest, Hungary.

Rittel, H. W., y Webber, M. M. 1973. Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences*, 4 (2), 155-169.

Rodas, J., y Rojo, E. 2005. Knowledge Discovery in Repeated Very Short Serial Measurements with a Blocking Factor. Application to a Psychiatric Domain. *International Journal of Hybrid Intelligent Systems*, 2 (1/2005), 57-87.

Simon, H. 1973. *The Structure of Ill Structured Problems*. *Artificial Intelligence* , 4 (3-4), 181-201.

Vázquez, F. 2008. Caracterización e Interpretación Automática de Descripciones Conceptuales en Dominios Poco Estructurados. México, México: *Centro de Investigación en Computación del IPN*.

Viademonte, S., y Burstein, F. 2006. From knowledge discovery to computational intelligent: A Framework for Support Decision Systems. *En Intelligent Decision-making Support Systems Foundations, Applications and Challenges* (págs. 57-78).

Zannier, C., Chiasson, M., y Maurer, F. 2007. A Model of Design Decision Making Based on Empirical Results of Interviews with Software Design. *Information and Software Technology*, 49 (6), 637-653.

RECONOCIMIENTO DE ROSTROS CON VISIÓN POR COMPUTADORA Y OPTIMIZACIÓN BASADA EN CÚMULOS DE PARTÍCULAS

Mitzel Avilés Quintero

Estudiante de Maestría en Ing. en Manufactura

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

En la actualidad la solución a diversos problemas como el reconocimiento de rostros, demandan un sin fin de recursos para el análisis exhaustivo de una población. Una de las ramas que se encargan de resolver tales problemas mediante las llamadas técnicas heurísticas, es el cómputo evolutivo a través de los algoritmos evolutivos. La optimización basada en cúmulo de partículas, es una técnica que responde de manera eficiente en la búsqueda de soluciones óptimas, que está inspirada en el comportamiento de las parvadas de aves. Esta investigación describe el algoritmo PSO aplicado en el reconocimiento de rostros con visión por computadora.

Palabras clave: PSO, algoritmo, optimización, visión, procesamiento.

Introducción

Un problema común en computación es encontrar información dentro de un conjunto de datos siguiendo un criterio determinado. Una de las principales dificultades en dicho problema es que no siempre se puede realizar una búsqueda en todo el espacio para seleccionar la mejor solución (Holland, 1992).

Una forma de encontrar soluciones en el espacio de búsqueda es la optimización combinatoria discreta, que trata de seleccionar una secuencia de números discretos que satisfagan un determinado criterio. La secuencia de

números es de tamaño variable y el criterio depende totalmente del problema que se desea resolver (Olague, 2007)

Recientemente, la computación evolutiva se ha enfocado a la solución de problemas de procesamiento de información digital (imágenes) por medio de una computadora, con el objetivo de ofrecer capacidades de visión cercanas a aquellas encontradas en la naturaleza. El objetivo buscado es resolver tareas que requieren un desempeño de optimización robusto en campos como la visión por computadora, para ofrecer capacidades de percepción muy

cercanas a las que tienen los seres humanos de forma natural (Olague et al, 2006).

La visión por computadora evolutiva es una nueva área de investigación que se centra en el estudio de la visión artificial por medio de enfoques computacionales tanto genético como evolutivo (Agnelli *et al*, 2002).

Un algoritmo que forma parte del cómputo evolutivo es el conocido como optimización basada en cúmulos de partículas, del término inglés Particle Swarm Optimization (PSO). Para el PSO cada solución o partícula es un ave en el espacio de búsqueda que está siempre en continuo movimiento y nunca muere (Engelbrecht, 2005). El cúmulo de partículas puede ser considerado como un sistema multiagente. Las partículas son agentes simples que se mueven por el espacio de búsqueda y que guardan la mejor solución que han encontrado. Cada partícula tiene una aptitud, una posición y un vector de velocidad que dirige su vuelo.

Antecedentes

El algoritmo PSO se basa en una población que evoluciona a través de un algoritmo computacional que resuelve problemas. La optimización por cúmulos de partículas es un tipo de inteligencia basada en la

psicología social y provee un comportamiento social que contribuye a aplicaciones ingenieriles (Marczyk, 2009). El algoritmo de optimización por cúmulo de partículas fue descrito por primera vez por James Kennedy y Ruessell C. Eberhart en el año de 1995 (Engelbrecht, 2005).

El PSO representa conductas artificiales tales como el vuelo de una parvada de aves, el conjunto de una especie de peces, una comunidad de hormigas, un enjambre de abejas, entre otros. De tal forma que para ello se fundamenta en la evolución computacional y los algoritmos genéticos (Muñoz *et al*, 2008).

Entre sus características se destaca que el PSO es un atractivo prototipo donde se tienen partículas en el espacio, las cuales son puestas a volar buscando una solución que las deposite en el mejor lugar de acuerdo a la solución esperada.

Por otro lado, el PSO es un método que busca máximos y mínimos de funciones, basándose en cada uno de los entes que trabajan en conjunto con el fin de encontrar la solución. El método para trabajar con PSO se basa en realizar un espacio multidimensional que depende del número de incógnitas requeridas, donde las partículas se colocan en un tipo de enjambre de manera aleatoria (Lima y Barán, 2006).

En tal método, cada partícula se moverá a través del espacio multidimensional, donde cada movimiento se encontrara evaluado por la función a resolver, para ello es importante ir identificando que posiciones le han favorecido a las partículas en algún segmento del espacio, entonces estos segmentos serán guardados obteniendo así el mayor valor del máximo global de dicha función (Acevedo, 2007).

En el PSO existen dos modelos básicos que dependen de su tamaño (Aragón *et al.*, 2006):

- El algoritmo de optimización por cúmulo de partículas global (gbest) que toma en cuenta al cúmulo de cada partícula a la totalidad.
- El algoritmo de optimización por cúmulo de partículas local (lbest) que tiene diferentes topologías dentro del cúmulo total.

Otra forma de definir al PSO es a través de dos topologías, las cuales son en anillo y en estrella (Carlisle y Dossier, 2001). En la Figura 1 y Figura 2, se presenta un ejemplo de las topologías en anillo y estrella respectivamente.

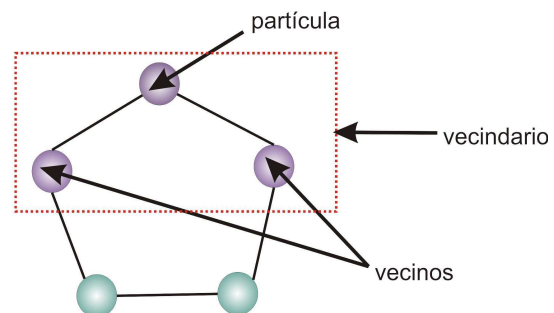


Figura 1. Ejemplo de una topología de anillo [Fuentes, 2008].

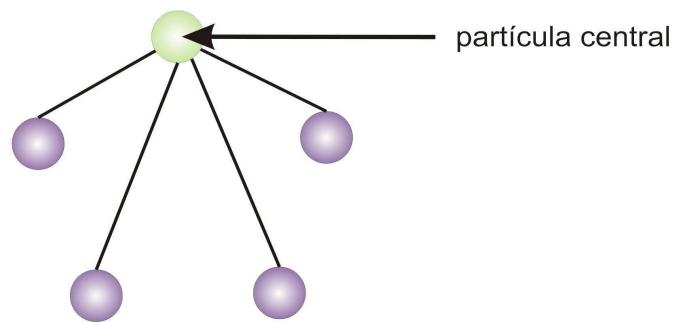


Figura 2. Ejemplo de una topología de estrella [Fuentes, 2008].

En la Tabla 1, se muestran algunos conceptos empleados en el algoritmo básico de optimización por enjambre de partículas. El algoritmo de optimización por cúmulo de partículas tiene como base una población con la cual se realizará un proceso de búsqueda, cada ente es una partícula que está dentro de un enjambre o nube (un ave, dentro de una parvada). Dentro del enjambre cada partícula representa una solución al problema que se requiere optimizar.

Tabla 1. Conceptos del algoritmo

Partícula/ Agente	Un individuo de la nube.
Localización/ Posición	Coordenadas de un agente en un espacio N -dimensional que presenta una solución para el problema.
Nube	Toda una colección de agentes. Una población de individuos.
Fitness (Aptitud)	Un número que indica la calidad de una solución dada (representada por una localización en el espacio de soluciones).
Lbest (Local best)	Es la mejor localización obtenida por un determinado agente a lo largo del proceso.
Gbest (Global best)	Es la mejor localización en toda la nube de partículas.
Vmax	Es la velocidad máxima permitida en una dirección dada.

Objetivos

La tarea de reconocimiento es un problema clásico en visión por computadora, el objetivo es decidir cuándo una imagen contiene algún objeto específico o una característica particular.

La idea principal es utilizar las técnicas de cómputo evolutivo para ayudar a tomar las decisiones cruciales en la solución de problemas de visión artificial.

La investigación propone una metodología para el análisis y diseño de un

algoritmo, que realice el reconocimiento de rostros en imágenes digitales, utilizando optimización basada en cúmulo de partículas. El estudio se llevará a cabo en una población de distintos individuos, con un ambiente diferente para la captura de las imágenes digitales.

Materiales y métodos

Descripción del algoritmo PSO

Los siguientes pasos describen el mecanismo de optimización al utilizar el algoritmo por cúmulo de partículas:

- a) Inicialmente se tiene una población de partículas en un espacio multidimensional, con velocidades y posiciones aleatorias que corresponden al problema de análisis.
- b) Las partículas son evaluadas con la función objetivo.
- c) El valor de la función (fitness) es comparado con el lbest de la partícula. Cuando el valor de fitness es mejor que el lbest, este sustituye al lbest y el que tenía el lbest se intercambia a la posición actual del espacio multidimensional.
- d) Luego el valor de la función fitness se compara con el mejor valor

obtenido de toda la población (gbest).

- e) La velocidad para cada posición de cada partícula se modifica.
- f) Los pasos se vuelven a ejecutar desde el inciso b hasta que el criterio de parada se cumpla y comúnmente se utiliza la variable t_{max} . Donde el criterio de parada se encuentra definido por el número de partículas a evaluar en el espacio multidimensional de la población.

Definición matemática del algoritmo

La parte principal del algoritmo de optimización por cúmulo de partículas son las partículas, las cuales representan un ave en el espacio de búsqueda, matemáticamente dichas partículas se encuentran definidas por:

- Tres vectores
 - El **vector** x que pertenece a la posición actual de la partícula en un estado t .
 - El **vector** $lbest$, que almacena la mejor solución encontrada.
 - El **vector** V que indica la velocidad y dirección con que dicha partícula se

moverá en el espacio de búsqueda.

- Valores de aptitud
 - El valor $x_fitness$ que almacena el valor de la función aptitud del vector x .
 - El valor $l_fitness$ que almacena el valor de la función aptitud del vector $lbest$.

Una vez definidas las partículas en el espacio de búsqueda, se puede expresar el movimiento de cada una de ellas con las siguientes ecuaciones:

$$v_{i(t+1)} = w * v_i(t) + c_1 * rand() * [lbest(t) - x_i(t)] + c_2 * rand() * [gbest(t) - x_i(t)]$$

$$x_{i(t+1)} = x_i(t) + \Delta t * v_i(t + 1)$$

Donde:

- $x_{i(t+1)} = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]^T$ guarda la posición de cada partícula.
- $v_{i(t+1)} = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}]^T$ guarda la velocidad para cada partícula.
- $lbest_{i(t+1)} = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in}]^T$ representa el mejor valor de la función aptitud de cada partícula.
- w ponderación de inercia.

- c_1 , c_2 son las ponderaciones de aprendizaje que controlan los componentes cognitivo y social respectivamente e influyen a cada partícula en dirección de los valores ***gbest*** y ***lbest***.
- $rnd()$ son números aleatorios generados.

Desarrollo del algoritmo

El desarrollo del algoritmo basado en optimización por cúmulo de partículas, se basa en la definición del vector inicial \mathbf{x} que es igual al número de partículas y a la vez es la entrada del algoritmo mediante el cual se busca la solución a un problema.

Una de las características más importantes para el algoritmo es introducir las ecuaciones (1) y (2), ya que mediante el vector velocidad \mathbf{v} , las partículas se mueven a través del vector \mathbf{x} .

El desarrollo del pseudocódigo del PSO es la clave para definir la función de cada una de las variables que definen el algoritmo, con ello se posibilita implementarlo en un problema primeramente trivial, capaz de identificar que su solución sea óptima.

En el algoritmo 1 se muestra el algoritmo original del PSO. Éste requiere como entrada el número de partículas que

constituyen el cúmulo y el número de iteraciones.

El pseudocódigo del PSO muestra en primera instancia que se inicializa la población de partículas, las cuales se encuentran definidas por el problema, posteriormente se crea el vector velocidad de forma aleatoria pues es necesario para empezar con el algoritmo.

Luego el algoritmo del PSO necesita la creación de los vectores ***lbest*** y ***gbest***, haciendo posible la ejecución de las ecuaciones (1) y (2) dentro del pseudocódigo.

Finalmente, se obtiene como salida la mejor solución al ejecutarse el algoritmo con un número finito de iteraciones. Las iteraciones en la mayoría de los casos son una entrada al algoritmo ya que dependen del espacio de búsqueda que es proporcional al número de partículas, es decir, entre mayor sea el número de partículas mayor será la búsqueda de soluciones para una mejor optimización.

Algoritmo 1: Pseudocódigo del PSO

Entrada: Número de partículas, número de generaciones

Salida: Mejor solución

begin

Inicializar una población de partículas con posiciones y velocidades aleatorias.

repeat

for i = 1 to num partículas do

if $G(x_i) > G(lbest_i)$ then

for d = 1 to num dimensiones do

$lbest_i = x_i$; //

pb_{id} es el mejor

hasta el

momento

end

end

$g = i$; // Valor arbitrario

for j = índices de los vecinos do

if $G(gbest_j) >$

$G(gbest_g)$ then

$g = j$; //g es

el índice del

mejor

individuo en

el vecindario

end

end

for d = 1 to num dimensiones do

$v_{id} = w * v_{id} + c_1 * rnd() * [$

$lbest_{id} - x_{id}] + c_2 * rnd() * [gbest_{id} -$

$x_{id}]$;

$x_{id} =$

$x_{id} + v_{id}$;

end

end

until número máximo de generaciones

Reportar la mejor solución.

End

Resultados y discusión

Implementación del algoritmo PSO con fotografías bajo un ambiente no controlado

Con el algoritmo PSO se creó un sistema para el reconocimiento de rostros, donde las pruebas se realizaron en un ambiente poco controlado, para ello se tomaron fotografías de 200x150 píxeles, entre ellas hombres de distintas edades, mujeres y niñas.

La siguiente fase para la implementación del algoritmo fue crear una base de datos con las fotografías obtenidas, en la figura 3 se observan esas fotografías con las cuales se hace la búsqueda en el espacio de población para PSO.

Debido a que dentro de la aplicación para el reconocimiento de rostros mediante PSO, aún no tiene un mecanismo de captura de fotografías para realizar el reconocimiento de rostros con la base de datos ya integrada al sistema, se optó por

realizar una base de fotografías de donde se elegirá una de esas fotos para hacer las pruebas pertinentes.

Esta base de datos contiene a las mismas personas que la base de datos de reconocimiento, con la diferencia de que se les pidió a los participantes hacer una expresión diferente y muy marcada para probar la eficiencia tanto de la función aptitud como la del algoritmo.

La figura 4, muestra las fotografías adquiridas para hacer las diferentes pruebas en el algoritmo PSO de reconocimiento de imágenes, tales fotografías podrán ser elegidas una a una dependiendo del rostro que se desea buscar en la base de datos.

Tanto las fotografías de la Figura 3 como las de la Figura 4, muestran diferencias en el fondo, por ejemplo el color, las sombras, la iluminación, etc.

Tales diferencias pueden afectar el funcionamiento y la eficiencia del algoritmo PSO, ya que se evalúa a las imágenes en su totalidad. Sin embargo, se tiene la ventaja de que los participantes se colocaron en el mismo lugar para la sesión de fotografías en un lapso de tiempo que oscilaba entre 5 y 10 minutos.

Pruebas del algoritmo

Se iniciaron las pruebas eligiendo la fotografía número 2 de la base de datos donde los individuos presentan una emoción de enojados. De la fotografía número 2 de la figura 4 se observa que el individuo tiene mucha similitud al individuo 3 ya que las características del fondo, la camisa y el color de piel son similares.

En la figura 5, se observa el rostro elegido (fotografía 2 de la figura 4) y como resultado se obtuvo en primer lugar al mismo individuo que se encuentra dentro de la base de datos de reconocimiento con la diferencia de que su rostro tiene la emoción de enojado. En segundo plano el sistema es capaz de mostrar al segundo individuo más parecido dentro de la base de datos de reconocimiento, y como anteriormente se había planteado el individuo tres era el probable más parecido, dando como resultado él mismo en el sistema de reconocimiento mediante PSO.

Análisis de resultados y discusión

Las pruebas acerca del algoritmo de reconocimiento de rostros mediante PSO, acertaron de manera eficaz a los individuos requeridos.

El sistema, fue capaz de comparar y mostrar a los sujetos requeridos a pesar de

que las gesticulaciones en el rostro dentro de la base de datos de reconocimiento eran distintas a las fotografías de las pruebas. Por otro lado, el sistema responde muy bien frente a la necesidad de ampliar las soluciones cuando un individuo no es

encontrado dentro de la base de datos de reconocimiento, es decir, entre más amplío sea el rango de diferencias entre las fotografías encontradas más individuos serán presentados como posible solución.



Figura 3. Base de datos para la búsqueda de rostros.



Figura 4. Base de datos para la elección de la fotografía a reconocer.

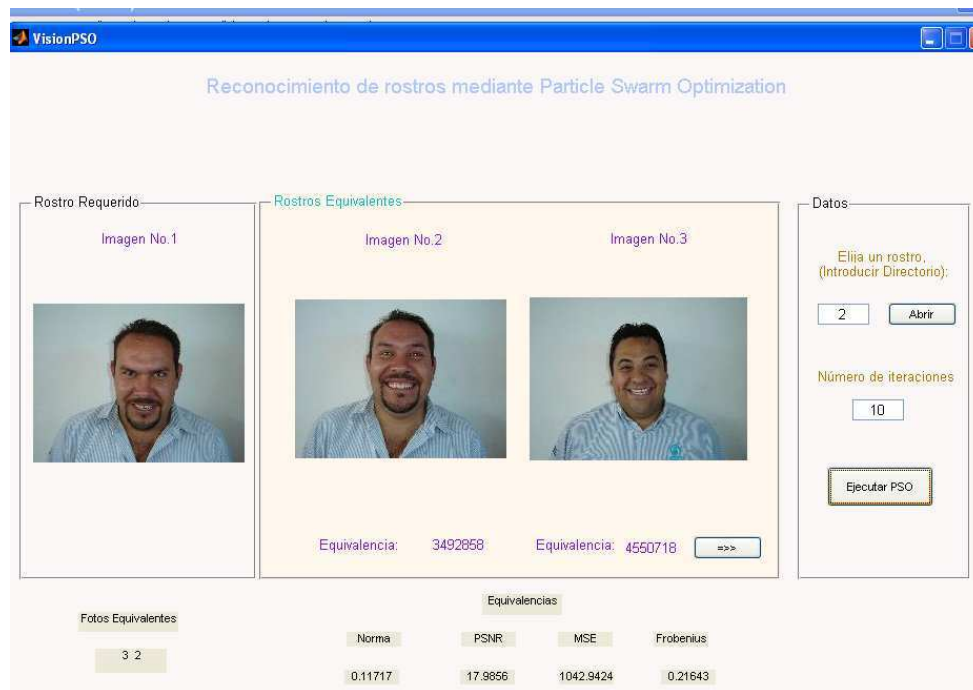


Figura 5. Prueba del reconocimiento de rostros mediante PSO.

Conclusiones

La técnica de PSO, se encuentra diseñada para responder a problemas donde el espacio de búsqueda es muy grande, y el intentar encontrar la solución perfecta es casi imposible demandando muchos recursos computacionales. Tal motivo, impulsó la creación de un algoritmo basado en esta técnica.

Un gran desafío dentro de la visión por computadora, es el reconocimiento de rostros, para llevar ese problema desde su aplicación común a un algoritmo de computación evolutiva, fue indispensable identificar los puntos

exactos y variables donde se debía atacar el problema, para ello se redefinió cada variable dentro de PSO con el reconocimiento de rostros y se creó la aplicación dentro de Matlab 7.5.

El algoritmo PSO fue sometido a un ambiente con fotografías dentro de un marco poco controlado, con lo que se demostró la eficiencia y optimización que se da el crear algoritmos basados en la computación evolutiva, mejorando por mucho las aplicaciones comunes de un sistema no creado para grandes poblaciones.

Referencias

Carlisle, A. and Dossier, G. 2001. An off-the-shelf PSO, Indianapolis, IN, *Proceedings of the Particle Swarm Optimization Workshop*, pp. 1-6.

Marczyk, A. 2009. *Algoritmos genéticos y computación evolutiva*, [En línea] disponible: <http://the-geek.org/docs/algen>, Octubre de 2010.

Engelbrecht, A. P. 2005. *Fundamentals of computational swarm intelligence*, Sudáfrica, John Wiley & Sons, LTD.

Agnelli, D., Bollini, A. y Lombardi, L. 2002. Image classification: an evolutionary approach, Estados Unidos, *Pattern Recognition Letters*, vol. 23, no. 1-3, pp. 303-309.

Acevedo, D. L. 2007. *Aprendizaje y comportamiento social y emergente en sociedades artificiales*, Universidad Nacional de Colombia, Seminario de investigación, Maestría en Ingeniería, pp.1-9.

Olague, G., Cagnoni, S. y Lutton, E. 2006. Introduction to the special issue on evolutionary computer vision and image understanding, Estados Unidos, *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, no. 11, pp. 1161-1163.

Olague, G. 2007. *Evolutionary computer vision, survey on the state of the art*, Londres, Inglaterra, Tutorial of the Genetic and Evolutionary Computing Conference (GECCO).

Fuentes Cabrera, J. C. 2008. *Un nuevo algoritmo de optimización basado en optimización mediante cúmulos de partículas utilizando tamaños de población muy pequeños*,

Tesis de Maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Zacatenco, Departamento de Computación, México, D. F.

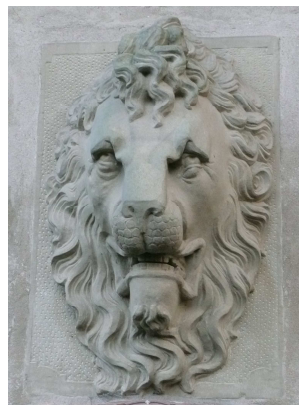
Holland, J. 1992. *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*, Cambridge, MA., second ed. MIT Press.

Kennedy, J. y Eberhart, R. 1995. Particle swarm optimization", Piscataway, NJ, *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, vol. 6, pp. 1942-1948.

Lima, J. Q. M. y Barán, B. 2006. Optimización de enjambre de partículas aplicada al problema del cajero viajante bi-objetivo, *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, vol. 10, no. 32, pp. 67-76.

Muñoz, M., López, J. y Caicedos, E. 2008. Inteligencia de enjambres: sociedades para la solución de problemas (una revisión), *Revista de Ingeniería e Investigación*, vol. 28, no. 2, pp. 119-130.

Aragón, V., Cagnina, L. y Esquivel, S. 2006. Metaheurísticas basadas en inteligencia computacional aplicadas a la resolución de problemas de optimización restringidos, *Anales del VIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC)*, pp. 195-201.



ESTIMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CANAL DE COMUNICACIÓN WIMAX

Víctor Hinostraza y Guillermo César López Caden
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

Uno de los sistemas de comunicación de próxima generación más promisorios es el estándar IEEE 802.16e (WiMAX). Este trabajo trata sobre la simulación en computadora de un sistema con el estándar WiMAX, se describen; la propagación de las señales a través del aire y la caracterización del canal de comunicación inalámbrica; el sistema WiMAX; y se presenta el sistema utilizado para realizar las simulaciones, los circuitos utilizados y los resultados de las mismas. Los resultados se enfocan en el efecto de varios parámetros en la probabilidad de error (BER y el FER) del sistema.

Palabras clave: Canal de comunicación, propagación de señales, BER, FER, WiMAX

Introducción

WiMAX es un sistema de comunicación que permite a dispositivos móviles conectarse a redes de datos de alta velocidad (Internet), usando ondas de radio como medios de transmisión, con transmisión de datos que pueden llegar a los 120 Mbps (WiMAX fijo, IEEE802.16d) o hasta 63 Mbps (WiMAX Móvil, IEEE802.16e/m). Las bandas de frecuencia en VHF, UHF y otras frecuencias arriba de éstas, son comúnmente usadas en aplicaciones para comunicaciones inalámbricas; el funcionamiento de estas señales está dominado por una serie de procesos y mecanismos tales como la reflexión, la difracción, desvanecimiento,

etc. Estos efectos son causados normalmente por características ambientales cercanas a la MS en algunos casos, también se puede presentar en la otra parte del enlace, la BS o AP, puede estar rodeada por algunas características locales que afectan las características de propagación.

El comportamiento del canal de comunicación inalámbrico puede ser descrito en términos de las funciones del sistema que dan una percepción de los mecanismos físicos los cuales dominan el comportamiento del canal. En canales de comunicación reales, las ondas de radio recibidas llegan a través de varias

trayectorias simultáneamente, formando una situación multi-trayectoria. Estas ondas se combinan vectorialmente para dar una señal oscilatoria resultante; las variaciones de amplitud de la señal son conocidas como el efecto de desvanecimiento.

En un modelo ideal de comunicaciones inalámbricas, la señal que se envía por el transmisor llegara al receptor por un sólo camino, por línea de vista o LOS; en la realidad esto no es cierto, una vez que la señal a transmitir deja la fuente ésta viaja a través de caminos múltiples y llega al receptor después de pasar por varios fenómenos; reflexión, refracción/difracción, dispersión o línea de vista o una combinación de estos. A esta diversidad de distintos trayectos se le llama propagación multi-trayectoria.

Generalmente cada camino que toma la señal tiene características muy diferentes lo que provoca que al receptor lleguen copias de la señal con distintas amplitudes, fases y retardos. Una vez que el receptor recibe todas esas copias de la misma señal realiza una suma vectorial, el resultado de esta suma es un efecto denominado desvanecimiento. Esta suma vectorial puede dar un resultado positivo, lo que nos indica que coinciden las fases de todas las señales y la señal resultante es de mayor potencia que

todas las señales recibidas. O la suma vectorial puede dar un resultado negativo, esto significa que las fases de las señales recibidas no coinciden y la señal resultante es de una potencia baja menor que la de las señales recibidas.

Existen dos tipos de desvanecimiento: Desvanecimiento a pequeña escala: este tipo de desvanecimiento es el resultado de la suma algebraica provocado por el efecto multi-trayectoria. Sus variaciones de potencia son súbitas, pueden ser de hasta 30dB en un movimiento de unas pocas longitudes de onda. Desvanecimiento de gran escala: este desvanecimiento es provocado por la antena receptora, y es el resultado de la pérdida de potencia provocado por la distancia. Uno de los mayores problemas que enfrentan las comunicaciones inalámbricas móviles es el desvanecimiento por multi-trayectoria. Las ecuaciones para evaluar el medio ambiente del radio son las que veremos a continuación.

$$s_0(t) = a_0 e^{j(\omega_0 t + \phi_0)} \quad (1)$$

Donde la frecuencia angular ω_0 es igual a $2\pi f_0$; f_0 es la frecuencia transmitida. La señal transmitida $s_0(t)$ proviene de N trayectorias, las cuales se pueden expresar con la siguiente ecuación:

$$s(t) = \sum_{i=1}^N a_i s_0(t - t_i) \quad (2)$$

El tiempo de propagación para la i -ésima trayectoria es:

$$\tau_i = \bar{\tau} + \Delta\tau_i \quad (3)$$

Donde $\bar{\tau}$ es el tiempo de propagación promedio y $\Delta\tau_i$ es el incremento debido a las variaciones del canal. Lo que nos da:

$$s(t) = \alpha_0 \left[\sum_{i=1}^N \alpha_0 e^{j(2\pi f_c \Delta\tau_i)} \right] \quad (4)$$

Esta ecuación aplica cuando la antena no se encuentra en movimiento. Cuando el receptor se encuentra en movimiento tenemos:

$$s(t) = \alpha_0 e^{j(\omega_c t + \phi_0 - \beta v_r \cos \theta)} \quad (5)$$

Donde $\beta = 2\pi/\lambda$, y λ la longitud de onda de la señal. El término adicional es debido el efecto *Doppler*, este efecto tiene una frecuencia de:

$$fD = fm \cos \theta \quad (6)$$

Donde $fm = V/\lambda$, es la máxima frecuencia *Doppler*; la frecuencia puede ser positiva o negativa, eso va a depender de la dirección relativa del móvil con respecto al transmisor con respecto al transmisor.

Si colocamos una antena transmisora en el espacio libre, alejado de la tierra y libre de obstrucciones, si tiene una ganancia G_T en dirección de la antena receptora, la densidad de potencia a una distancia d en la dirección elegida es:

$$W = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad (7)$$

Donde P_T es la potencia de transmisión. La potencia disponible en la antena receptora, la cual tiene un área efectiva A es:

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} A = \frac{P_R G_T}{4\pi d^2} \left(\frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \right) A \quad (8)$$

donde G_R es la ganancia en la antena receptora. De donde obtenemos

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (9)$$

esta ecuación muestra que la propagación de espacio libre sigue la ley inversa cuadrada con rango d , así la potencia recibida cae 6dB cuando el rango se dobla (o se reduce 20dB por década) [Parsons, 2000].

La pérdida de trayectoria y nivel de la señal es causado por la potencia irradiada por el transmisor así como por los efectos de la propagación del canal. Los modelos de pérdida de trayectoria generalmente asumen que es el mismo en una distancia dada entre receptor y transmisor. Las variaciones de la señal debido a la pérdida de trayectoria sobre distancias relativamente largas son denominadas como efectos de propagación a gran escala; y las variaciones por multi-trayectoria sobre distancias cortas son comúnmente denominadas efectos de propagación de pequeña escala.

Pérdida de trayectoria, sombreado y multi-trayectoria
 Pérdida de trayectoria y sombreado
 Pérdida de trayectoria

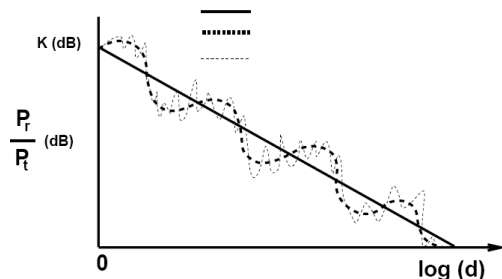


Figura 1. Pérdida de trayectoria contra distancia.

Suponga que se transmite una señal $s(t)$ con potencia P_t a través de un canal dado, con su señal recibida correspondiente $r(t)$ de potencia P_r . Se define la pérdida de trayectoria lineal como la relación entre la potencia de la señal transmitida entre la potencia de la señal recibida [Goldsmith, 2005].

$$P_L = \frac{P_t}{P_r} = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} \text{ dB} \quad (10)$$

La pérdida de trayectoria en espacio libre, es un modelo de canal mejor conocido como LOS, la señal recibida es [Goldsmith, 2009]:

$$r(t) = \Re \left\{ \frac{u(t) \sqrt{G_t} \lambda e^{j2\pi d / \lambda}}{4\pi d} \right\} e^{j(2\pi f_c t + \phi_0)} \quad (11)$$

con potencia recibida:

$$P_r = P_t \left[\frac{\sqrt{G_t} \lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (12)$$

la pérdida de trayectoria en espacio libre:

$$P_L \text{ dB} = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} = -10 \log_{10} \left[\frac{\sqrt{G_t} \lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (13)$$

En este modelo, la potencia cae proporcionalmente a la relación de la longitud de onda sobre la distancia al cuadrado. La potencia cae proporcionalmente a la ganancia neta de la antena G_t . Este modelo no es preciso en todos los ambientes. En el modelo de trazado de rayo, se asume un número finito de reflectores con ubicación y propiedades dieléctricas conocidas. Los modelos más simples sólo determinan las reflexiones. La difracción y la dispersión pueden ser incluidas.

El modelo de dos rayos cuando una sola reflexión domina el efecto multi-trayectoria, es decir, la señal recibida consiste en la componente LOS y una componente reflejada.

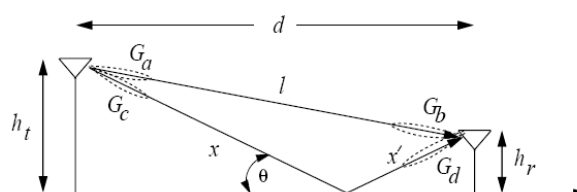


Figura 2. Modelo de dos rayos

La señal recibida por el modelo de dos rayos es:

$$r_{2rayos}(t) = \Re \left\{ \frac{\lambda}{4\pi} \left[\frac{\sqrt{G_1} u(t) e^{-j2\pi l/\lambda}}{i} + \frac{R \sqrt{G_1} u(t-\tau) e^{-j2\pi(x+x')/\lambda}}{x+x'} \right] e^{j2\pi f_c t} \right\} \quad (14)$$

Donde $\tau = (x + x' - l)/c$ es el retardo de tiempo de la reflexión relativa de la tierra respecto al rayo LOS, y la potencia recibida es:

$$P_r \approx P_t \left[\frac{\sqrt{G_1} h_t h_r}{d^2} \right]^2 \quad (15)$$

En el trazado de rayo general se incorporan todas las componentes de la señal (reflexiones, dispersión y difracción); los rayos reflejados tienen una caída de potencia proporcional a d^2 por el modelo de pérdida de trayectoria en espacio libre. La mayoría de los paquetes computacionales para simulación de canal para ambientes interiores/exteriores utiliza la pérdida de trayectoria por trazado de rayos general [Goldsmith, 2005].

El desvanecimiento puede ser dividido en dos componentes, el desvanecimiento lento y el desvanecimiento rápido. El desvanecimiento rápido o a

pequeña escala es debido al efecto multi-trayectoria que provoca a la señal variación en magnitudes y fases. El desvanecimiento lento de gran escala, es generado por los cambios de señal debido al cambio de distancia entre el transmisor y el receptor. Generalmente, el receptor no tiene la capacidad de detectar componentes en cuadratura, tiene la capacidad de responder a la envolvente y/o la fase de la señal compleja $E(t)$. La envolvente $r(t)$ de la señal compleja $E(t)$ esta especificada por:

$$r(t) = \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)} \quad (16)$$

Y la PDF de la señal recibida $r(t)$ es:

$$P_r(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\left(\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (17)$$

Que es la función de PDF de Rayleigh, donde σ^2 es la potencia media y $\frac{r^2}{2}$ es la potencia de la señal, la probabilidad de que la envolvente no exceda un valor especificado R esta dado por:

$$\text{prob} [r \leq R] = P_r(r) = \int_0^R P_r(r) dr = 1 - e^{-\left(\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (18)$$

Por otro lado, existen algunas condiciones en las cuales hay un componente *LOS* o un componente dominante. Aquí las condiciones de propagación varían un poco de las condiciones descritas en las pasadas secciones. La PDF conjunta del envolvente y la fase de la señal recibida que concuerdan con la situación descrita arriba en la cual hay un componente dominante r_s es

$$p(r, \theta) = \frac{r}{2\pi\sigma^2} e^{\left[r^2 + r_s^2 - \frac{2rr_s \cos\theta}{\sigma^2} \right]} \quad (19)$$

La PDF de la envolvente es el resultado de integrar en θ .

$$p(r, \theta) = \frac{r}{2\pi\sigma^2} e^{\left[\frac{r^2 + r_s^2}{2\sigma^2} \right]} I_0 \left[\frac{rr_s}{\sigma^2} \right] \quad (20)$$

Donde $I_0[.]$ es la función de *Bessel* modificada. Esta ecuación es conocida como la distribución *Rician*; a menudo esta distribución se describe relacionada a un parámetro K y descrita como:

$$K(dB) = 10 \log \left(\frac{r_s^2}{2\sigma^2} \right) \quad (21)$$

Simulación del sistema WiMAX

El software usado para simulación del proyecto fue el ADS (Advanced Design System) de Agilent Technologies. Este software tiene todos los componentes para el análisis, caracterización, simulación y prueba de componentes y sistemas en altas

frecuencias. ADS es el software líder en diseño electrónico automatizado (*EDA*) para RF, micro-ondas y aplicaciones de integración de señales [23]. Para aplicaciones WiMAX, LTE, enlaces de datos de altas velocidades (varios giga bits por segundo), radar y satélite, ADS provee diseño y verificación basados en estándares con librerías inalámbricas y co-simulación de sistemas de circuitos electromagnéticos en una sola plataforma. ADS es pionero en la industria *EDA* para RF con las tecnologías más innovadoras y exitosas comercialmente.

Los bloques de sistema y parámetros usados en la simulación del sistema WiMAX, son todos partes componentes de ADS. Para la construcción de un sistema ADS permite agregar bloques de módulos, sub-sistemas y componentes según se requiere. Cada uno de estos módulos puede tener a su vez sub-bloques y componentes dentro de sí mismos. De tal manera que se puede iniciar el análisis, diseño y la simulación con partes pequeñas del sistema e ir agregando partes y sub-partes según se requiera hasta formar el sistema completo. Esto permite probar los sub-sistemas por separado y luego probar el sistema completo. Enseguida se describen algunas de estas partes y sub-sistemas y se

proporciona una explicación breve de sus parámetros principales.

Los modelos de canal pueden ser clasificados en dos categorías, estadístico y empírico.

Los modelos empíricos están basados en mediciones realizadas en ambientes reales, mientras que los modelos estadísticos estiman sus características del canal a través de relaciones matemáticas. Para describir un sistema *WiMAX*, generalmente son usados dos modelos empíricos: el modelo de canal *SUI*, el cual es usado para la simulación de los sistemas *WiMAX* fijo (IEEE802.16-2004); el modelo de canal *ITU-R*, el cual fue desarrollado de acuerdo a la recomendación *ITU-R M.1225*, es usado para la simulación de los sistemas *WiMAX* Móvil (IEEE802.16e). Este último modelo de canal, inicialmente fue desarrollado para las tecnologías IMT-2000, es usado para modelar los sistemas *WiMAX* Móvil dado que adopto esta tecnología en noviembre de 2007 como una de las tecnologías IMT-2000. El modelo de canal de banda ancha ITU es descrito en base a un modelo *tapped delay line*, con un número máximo de 6 *taps*. En [30] se especifican 3 ambientes diferentes de prueba: interiores, pedestre y vehicular, especifica dos diferentes perfiles de retardo extendido para

cada uno de los ambientes de prueba; perfil de retardo extendido bajo (se denota con A), retardo extendido RMS de hasta 100 ns; perfil de retardo extendido medio (se denota con B), retardo extendido RMS de unos cientos de nano segundos.

Aunque *WiMAX* Forum recomienda usar solo dos de los seis modelos, los cuales son Pedestre B y Vehicular A. En las 3 simulaciones realizadas se utilizaron 3 sistemas, canal *AWGN*, modelo de canal *ITU-R* SISO y modelo de canal *ITU-R* MIMO. La figura 3 muestra el modelo utilizados en las simulaciones realizadas para este trabajo.

Basándonos en los resultados de la simulación mostrados en la figura 4, podemos observar que podemos usar una modulación mayor (por ejemplo 64-QAM) cuando la relación E_b/N_0 aumenta, esto representa realizar una transmisión de bit mayor por símbolo (por ejemplo, 6 bits por símbolo para una modulación 64-QAM) [29] lo que nos da como resultado una velocidad de transmisión de datos mayor, la desventaja es que esta modulación es más susceptible a la interferencia. Este tipo de modulación es más utilizado cuando el usuario esta cerca de la *BS*. Por otro lado, la modulación QPSK nos permite una transmisión de datos más baja que la

modulación 64-QAM, teniendo solo 2 bits por símbolo, pero es más robusta a la interferencia; necesita solo un

$E_b/N_0 = 7$ para alcanzar un $BER = 10^{-6}$, el cual es suficiente para tener una aplicación VoIP.

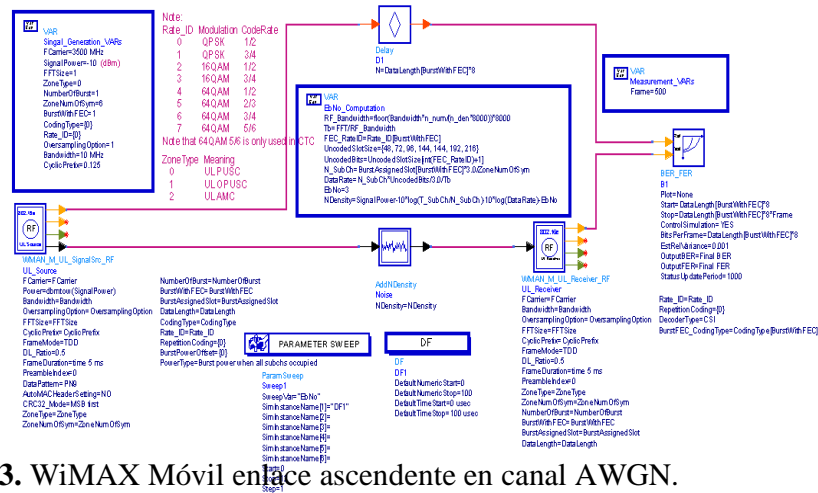


Figura 3. WiMAX Móvil enlace ascendente en canal AWGN.

En la tabla 1 se muestran los parámetros de la simulación.

Tabla 1. Parámetros de simulación para canal AWGN

Parametro	Valor
Frecuencia de Portadora	3500 MHz
Tipo de Zona	UL PUSC
Tamaño de FFT	1024
Ancho de Banda	10MHz
Duración de la trama	5 ms
Opción de Sobre muestreo	Ratio 2
Prefijo ciclico	1/8
Longitud del paquete en una trama (longitud de datos)	410 Bytes
Tipo de codificación	Codificación Convolutacional (CC)
Modulación	QPSK 1/2, QPSK 3/4, 16QAM 1/2, 16QAM 2/3, 64QAM 1/2, 64 QAM 5/6
Tipo de Decodificador	CSI

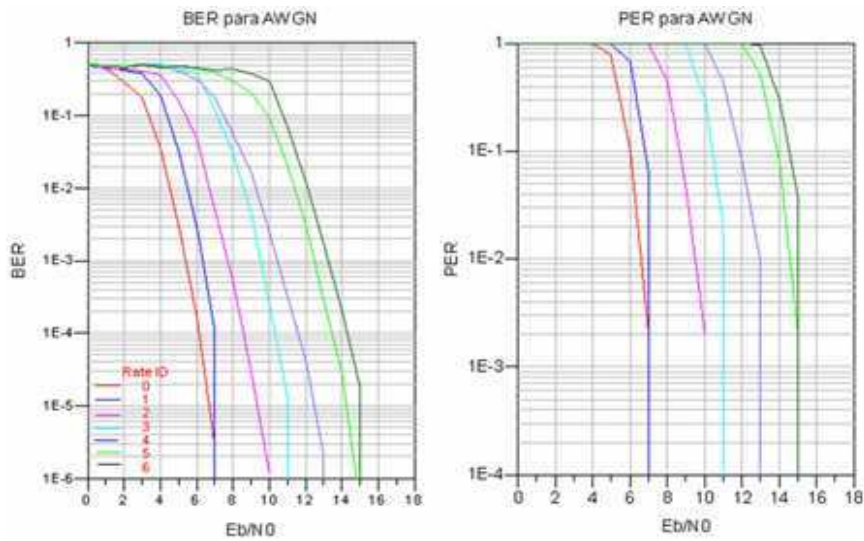


Figura 4. Resultados de simulación para canal AWGN.

WiMAX Móvil DL SISO en canal ITU Pedestre B con desvanecimiento.

Para llevar a cabo la simulación, se utilizó el modelo citado en la figura 5, similar al utilizado en la simulación descrita anteriormente, agregando, al modelo

utilizado en la simulación 1, el modelo de canal ITU-R, considerando un movilidad pedestre considerando una velocidad de 3km/h; a continuación los parámetros de simulación son similares a los mostrados en la tabla 1.

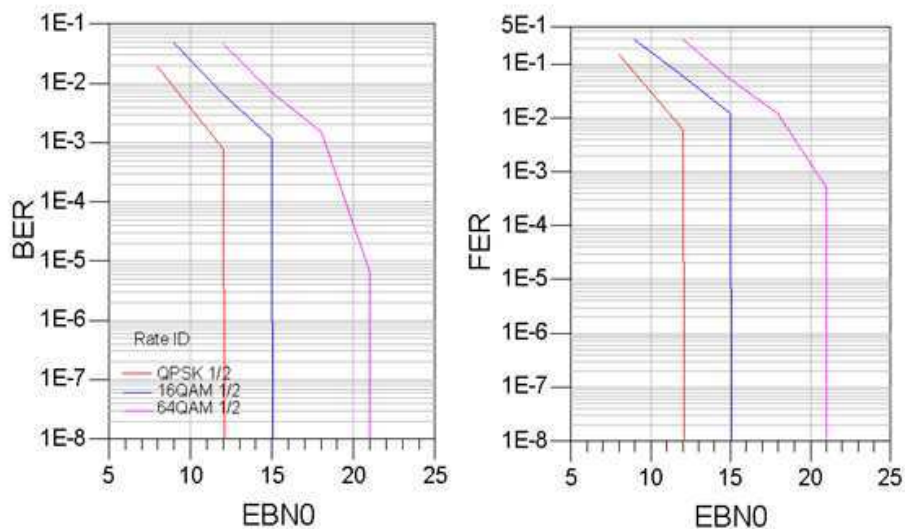


Figura 5. Graficas BER y FER para canal ITU Pedestre B

En la figura 6, se muestran dos imágenes con tres gráficas en una misma figura, estas tres graficas corresponden a tres tipos de modulación a los cuales se somete el sistema, las modulaciones son; QPSK, 16-QAM y 64-QAM. El eje coordenado X esta en escala logarítmica y representa el BER (la relación de bit en error) o el PER o FER que son la misma relación pero para la trama completa o un paquete de datos. El eje coordenado Y representa la potencia relativa de cada bit (E_b/N_0), este valor resulta de dividir la potencia de total entre la velocidad en bits y también está en una escala logarítmica (decibeles), este es un parámetro

importante para comunicaciones digitales y puede considerado como SNR normalizado, es muy útil cuando se compara el desempeño del BER para diferentes esquemas de modulación. Esta graficas se pueden interpretar de la siguiente manera; Entre más rápido caiga la pendiente de la grafica mejor., es decir, a menor valor de BER , menor probabilidad de tener un error. O alternativamente si tenemos menor a misma probabilidad de error, menos potencia es necesaria para procesar la señal y posiblemente podemos tener mayor velocidad o más alcance.

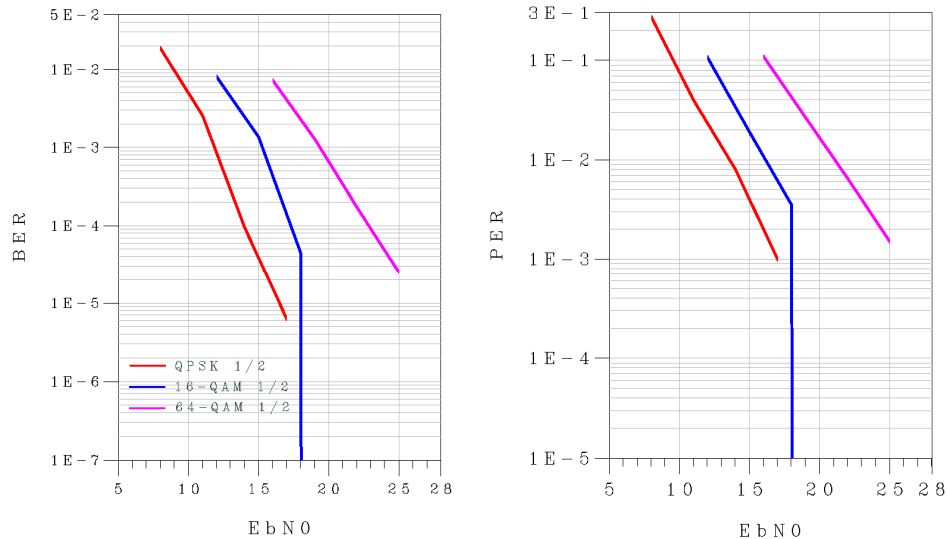


Figura 6. Graficas BER y FER para canal ITU vehicular.

En la figura 6 se observa que por lo general al usar modulación de menor nivel, por ejemplo QPSK, se tiene una menor

probabilidad de error, con la misma potencia. podemos observar que para llegar a un BER de aproximadamente 10^{-5}

se necesita un $E_b/N_0 \cong 17dB$, en el caso de una modulación QPSK $\frac{1}{2}$, en comparación a los 7dB que se necesitan en un canal con AWGN, de acuerdo a la figura 7.16; de la misma manera, para alcanzar esa misma especificación de BER, utilizando una modulación 16-QAM es necesario contar con un $E_b/N_0 \cong 18dB$ y un $E_b/N_0 > 25dB$ para una modulación 64QAM $\frac{1}{2}$, estos resultados son mayores que los obtenidos en la simulación con canal AWGN.

WiMAX Móvil DL SISO en canal ITU Vehicular A con desvanecimiento

La figura 7 nos muestra el modelo utilizado para la tercera simulación, utilizando un canal de comunicación WiMAX SISO, cabe mencionar que el modelo es muy similar al utilizado para AWGN, con la diferencia que se agrega el canal de desvanecimiento. El canal con desvanecimiento utilizado en esta simulación está basado en el ITU-R M.1225 soportando tanto ambiente vehicular como pedestre. También, es posible modificar un modo específico del canal de desvanecimiento por medio de los parámetros *Delay*, *Power* y *Ricean Factor*. En los resultados de la simulación, de canal *WiMAX SISO* con movilidad vehicular a 60 km/h, comparamos estos resultados con los

obtenidos en la simulación anterior observamos que con un $E_b/N_0 \cong 17dB$, podía alcanzar un $BER = 10^{-5}$, en la simulación actual se alcanza un $BER \cong 10^{-4}$, para una modulación QPSK $\frac{1}{2}$, para alcanzar la misma tasa de error con usando modulación 16-QAM $\frac{1}{2}$ es necesario incrementar el E_b/N_0 en aproximadamente $4dB$ y para una modulación 64-QAM $\frac{1}{2}$ incrementar el E_b/N_0 en mas de $10dB$, lo que nos indica que este ultimo tipo de modulación es más eficaz cuando la estación móvil se encuentra cerca de la estación base.

WiMAX Móvil DL en canal ITU MIMO Vehicular A con desvanecimiento

Analizamos el comportamiento del canal MIMO utilizando los parámetros mostrados en la tabla1, después se realizo una modificación a los parámetros, cambiando el tipo de codificación, originalmente propusimos código convolucional (CC), a turbo código convolucional (CTC), para realizar comparaciones entre estas dos utilizando un mismo modelo MIMO.

Los resultados de esta simulación nos permiten observar que el comportamiento del canal tiene una pequeña mejora cuando cambiamos en un esquema multi-antenas el tipo de codificación (de CC a CTC), utilizando una modulación QPSK $\frac{1}{2}$ hay una

diferencia de aproximadamente ½ dB siendo mejor CTC, en cambio para 16-QAM ½ el

E_b/N_0 es similar, pero en 64-QAM ½ CTC se encuentra 1dB delante de CC.

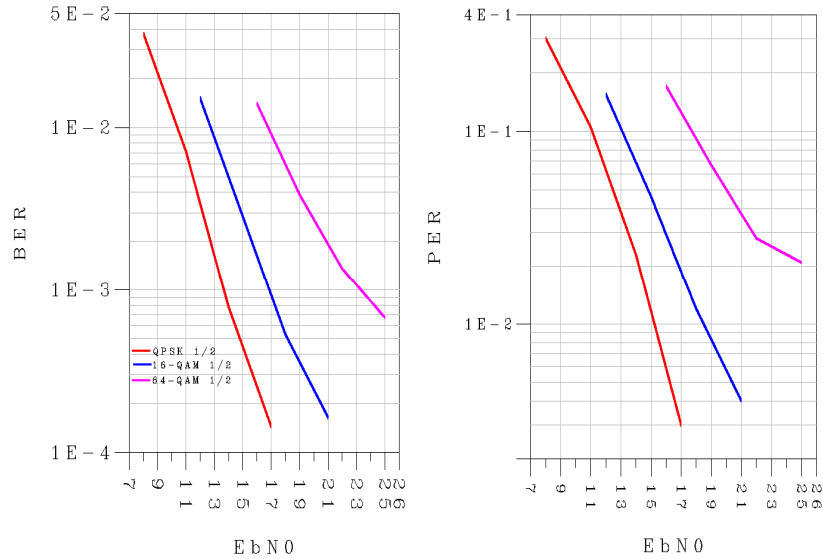


Figura 7. Graficas BER y FER para canal ITU Vehicular A.

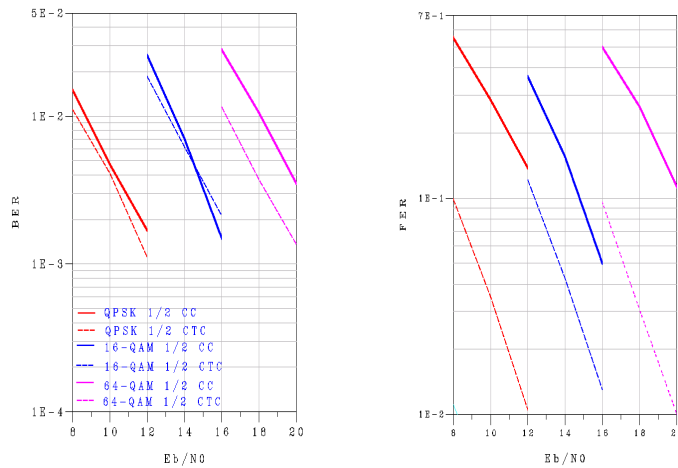


Figura 8. Graficas BER y FER para canal ITU MIMO vehicular A.

Conclusiones

Se realizaron 5 simulaciones utilizando 3 diferentes sistemas WiMAX móvil, con canales AWGN, ITU-R SISO e ITU-R

MIMO, modificando las características del sistema, basándonos en los perfiles de movilidad pedestre B (a 3 km/h) y vehicular A (a 60 km/h). En los resultados de las

simulaciones se puede observar que el sistema que tiene menor E_b/N_0 para un menor BER es el que solo se involucra AWGN en el canal de comunicación; en un canal ITU SISO un perfil de movilidad pedestre tiene mejor comportamiento que uno de movilidad vehicular; se realizaron simulaciones en un canal MIMO para movilidad vehicular, teniendo como resultado un mejor desempeño del sistema modificando el tipo de codificación de CC a CTC. Podemos considerar el problema de cómo mejorar el desempeño de cada uno de los esquemas de modulación uno de los ambientes propuestos, es decir, mejorar el BER vs E_b/N_0 para, por ejemplo, un canal móvil utilizando múltiples antenas, modificando los parámetros de uno de los sistemas expuestos en este documento, al igual podemos considerar una campaña de mediciones en varios ambientes para colaborar con los resultados aquí descritos.

Referencias

Advanced design systems key features, (en línea) fecha de consulta: noviembre de 2009, URL:

<http://www.home.agilent.com/agilent/editorial.jsp?cc=US&lc=eng&cckey=1608816&nid=-34346.0.00&id=1608816>

Agilent Advanced Design System 2008 - Mobile WiMAX Design Library, August 2008.

AddNDensity, (en línea) fecha de consulta: noviembre de 2009, URL:

<http://edocs.soco.agilent.com/display/ads2008U1/AddNDensity>

Quintero, A. G. 2009. *Modulaciones M-ARIAS*, (en línea) fecha de consulta: octubre de 2009, URL:

http://logos.upb.edu.co/~alexander.galvis/index_archivos/ModDig_M-arias.pdf

Goldsmith, Andrea 2005. *Fundamentals of wireless communications*, USA, Cambridge University Press, p.196

Goldsmith, Andrea 2009. *Signal Propagations. Path Loss Model*, (en línea) fecha de consulta: octubre de 2009, URL: http://www.stanford.edu/class/ee359/lecture09/lecture2_sum.pdf

BER_FER, (en línea) fecha de consulta: noviembre de 2009, URL:

<http://edocs.soco.agilent.com/display/ads2008U2/BER+FER>

Sklar, Bernard 2001. *Digital communications, Fundamentals and applications*, New Jersey, USA, Prentice Hall, p. 57.

Vucetic, Branka 2004. *Space-time coding*, England, Ed. Wiley, p. 117.

Delay, (en línea) fecha de consulta: noviembre de 2009, URL:

<http://edocs.soco.agilent.com/display/ads2008U1/Delay>

Documento ITU, 1997, Rec.ITU-R M.1225 – *Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000*, ITU-R.

Federation of American Scientists, *Frequency modulation*, (en línea) fecha de consulta: octubre de 2009, URL: <http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/FM.htm>

Shin, Hyundong 2004. On the capacity of wireless MIMO channels, Massachusetts USA, *IEICE Transactions*, Vol. E87-B, No. 3, Ed. The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, p. 671-677.

IEEE Standard 802.16-2004. *Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access system*. October 2004.

Andrews, Jeffrey G. 2007. *Fundamentals of WiMAX*, Ed. Prentice Hall, New Jersey USA.

Parsons, John 2000. *The mobile radio propagation channel*, England, Ed. John Wiley and Sons, p.16.

Kamran, Etemad 2008. Overview of Mobile WiMAX Technology and Evolution, *IEEE communications magazine*, Vol. 46, No. 3, Ontario Ca.,

Katz, D. Marcos 2009. *WiMAX evolution emerging technologies and applications*, Ed. Wiley, Torquay UK,

Faúndez, Zanuy, Marcos 2001. *Sistemas de comunicación*, Marcombo, Barcelona España, p. 155.

Jankiraman, Mohinder 2004. *Space-time codes and MIMO systems*, Ed. Artec House, Massachusetts USA, p.200.

Colda, Rebecca M. 2009. Transmission Performance of Mobile WiMAX Pedestrian Environments, *17th Telecommunications forum TELFOR 2009*.

Vaughan. Rodney 2003. *Channel propagations and antennas for mobile communications*, United Kingdom, The Institution of Electrical Engineers, p. 205.

Textos científicos, *Modulación de amplitud*, (en línea) fecha de consulta: octubre de 2009, URL: <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/amplitud>

Textos científicos, *Modulation en fase*, (en línea) fecha de consulta: octubre de 2009, URL: <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/fase>

Rappaport, Theodore S. 2002. *Wireless communications principles and practice*, New Jersey USA, Ed. Prentice Hall, p.263, 264, 313, 314.

VAR, (en línea) fecha de consulta: noviembre de 2009, URL:

<http://edocs.soco.agilent.com/display/ads2008U1/VAR+%28Variables+and+Equations+Component%29>

Hinostroza, Victor. 2009. *Unidad IV. Comunicaciones inalámbricas*, (en línea) fecha de consulta: octubre 2009, URL:

<http://docentes.uacj.mx/vhinostr/Nuevo%20Formato/CLASES/ComII.htm>

WiMAX Forum, August 2006, *Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation*”, USA.

WiMAX Network Reference Model, (en línea) fecha de consulta: 19 de noviembre de 2009, disponible en:

http://www.juniper.net/techpubs/software/aaa_802/sbr/sbr70/sw-sbr-admin/html/WiMAX_Overview3.html

CULCyT

SELECCIÓN DE PROVEEDORES USANDO EL MÉTODO MOORA

Jorge Luis García Alcaráz¹, Jaime Romero González², Ismael Canales Valdivieso³

¹Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura

²Departamento de Ciencias Básicas. Departamento de Eléctrica y Computación

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

Actualmente existen muchas técnicas de evaluación que auxilian en el proceso de selección de proveedores, sin embargo no existe consenso sobre cuál de ellas es mejor que otra o bajo qué circunstancias usarlas. En este artículo se analiza un caso de estudio reportado en la literatura y que fue primeramente resuelto con el modelo lineal aditivo, mismo que se resuelve ahora con la técnica MOORA, realizándose un análisis comparativo de las dos técnicas. El problema consiste en seleccionar un proveedor de un empaque que une dos corazas de bombas sumergibles y los atributos evaluados son el precio, la calidad del producto, la calidad del servicio por parte de proveedor, las horas de duración continuas de servicio del empaque, la administración y organización del proveedor y la tecnología que posee en sus procesos de producción. Después de la evaluación se observó que las dos técnicas proponen la misma solución al problema de selección.

Palabras clave: Selección de proveedores, MOORA, evaluación subjetiva.

Introducción

En la mayoría de las industrias, el costo por materias primas y las piezas componentes de sus productos constituye la mayor de las inversiones realizadas, llegando a representar hasta el 70% de costo. Por ello, el departamento de compras tiene una gran importancia en la reducción de costos totales de producción, y una de las funciones que se realizan frecuentemente es la selección de proveedores para todos los tipos de

productos que ofrezca la empresa (Ghodsypour y O'Brien 1998).

Dada la importancia que tiene el problema de selección de proveedores, esto ha llamado la atención de académicos e investigadores, quienes han buscado un entendimiento sistemático del problema en las últimas tres décadas (Weber *et al.* 1991; De Boer *et al.* 2001), por lo que se han desarrollado muchas técnicas de aplicación, metodologías y procedimientos de selección y se ha

determinado qué atributos evaluar, según el sector al que pertenezcan las empresas. Algunos ejemplos de esas técnicas son ubicadas dentro de la teoría de la decisión multiatributos, programación matemática y de minería de datos.

Algunos autores establecen que el problema de selección de un proveedor puede consistir en cuatro etapas (Boer et al., 2001), las cuales son: a) definición del problema, b) determinación de los atributos a evaluar, c) evaluación de los proveedores mediante una técnica y, d) selección final de un proveedor. Estas etapas se definen a continuación brevemente.

Definición del problema: se afirma que tradicionalmente, los responsables del proceso de evaluación de proveedores suelen omitirla, centrándose solamente en la última etapa, relacionada con la selección de uno de éstos, por lo que frecuentemente se cometen errores. Por ejemplo, algunos autores hacen énfasis en algunas etapas del proceso de selección, inclusive las cuatro (De Boer, et al. 2001), mientras que otros se focalizan específicamente en solo algunas (Weber, et al. 1991; Holt, 1998; Degraeve et al. 2000).

Atributos a evaluar: es posible encontrar mucha información en la literatura, los cuales enfocan el análisis y determinación de los atributos desde diferentes enfoques (Min, 1994; Barbarosoglu y Yazgac, 1997; Krause y Ellram, 1997; Ghodsypour y O'Brien, 1998; Motwani et al., 1999; Masella y Rangone, 2000; De Boer et al., 2001; Humphreys et al. 2001; Liu y Hai, 2005). Se acepta que se tienen dos tipos de atributos que caracterizan a los proveedores, los cuales son cuantitativos y cualitativos. Los atributos cuantitativos se pueden medir por una dimensión concreta o escala, tales como el costo y el tiempo de abastecimiento; sin embargo, los cualitativos no pueden ser expresados por una unidad o escala de medición y se requiere de la evaluación y experiencia de personas conocedoras en el tema.

Algunas veces se complica la selección de un proveedor debido a que existen muchos atributos, y algunos de ellos pueden estar en conflicto. Por ejemplo, es posible que el proveedor que ofrece el mejor precio, no ofrezca la mejor calidad en la parte o material solicitado; además, es posible que aquel proveedor con la mejor calidad no se sea quien está en capacidad de realizar las

entregas y abastos en tiempo (Wind y Robinson, 1968). Consecuentemente, es necesario hacer una compensación entre estos atributos en conflicto mediante técnicas compromiso en las que no se optimice una función, sino que se satisfaga una necesidad.

En relación los procesos de selección de atributos, se reportan solamente dos aplicaciones relacionadas con la identificación de éstos (De Boer, 2001). Otros, proponen el modelado estructural interpretativo como técnica para identificar atributos, el cual se basa en la opinión y juicio de personas expertas para identificar y resumir relaciones entre los atributos escogidos, mismo que tiene un enfoque gráfico (Mandal y Deshmukh, 1994).

Evaluación de proveedores mediante una técnica: se han propuesto y desarrollado métodos para la selección de proveedores; por ejemplo, se ha desarrollado un sistema experto que cubre múltiples fases en el proceso de selección del proveedor, entre éstas se encuentra la determinación de los mejores atributos (Vokurka et al., 1996). Otros han realizado encuestas y analizado respuestas de gerentes para determinar los principales atributos a evaluar, los cuales pueden ser genéricos y

subdividirse en otros más específicos (Tam y Tummala, 2001). Asimismo, se han propuesto modelos de selección interactivos basados en AHP (Chan, 2003). Una descripción de las técnicas empleadas puede ser consultada en muchos trabajos (De Boer et al. 2001).

Sin embargo, debe decirse que existen otras técnicas menos cuantitativas, tales como comparación del precio, inspección de muestras, visita a fábricas de proveedores, encuestas en el sitio, certificaciones obtenidas (ISO 9000 o QS 9000) y capacidad de proceso (Ourkovic y Handfield, 1996). De la misma manera, otros autores recomiendan técnicas de selección de proveedores en situaciones especiales, tales como la incertidumbre en la demanda, donde se sugiere usar la capacidad de proceso del proveedor y el tiempo de respuesta como atributos a integrarse en métodos de selección (Asokan y Unnithan, 1999; Boyles, 1996; Chan *et al.*, 1991; Chen, 1990; Liu, 1993; Pearn y Chen, 1997-98; Pillet *et al.*, 1997-98; Singhal, 1990; Taam *et al.*, 1993). De la misma manera, otros autores apuestan por la evaluación multatributos, ya que integra varias características en la evaluación y no se

limita solamente a la capacidad de respuesta del proveedor.

Selección final de un proveedor: En esta etapa se selecciona un proveedor de acuerdo a una regla o criterio de decisión. Generalmente cada una de las técnicas usadas en el proceso de selección de proveedores incluye una regla de decisión que se usa para seleccionar la alternativa deseada.

Así, según lo anterior, se puede observar que existen varios atributos y métodos para la selección de proveedores. En este artículo se hace toma un caso de estudio reportado en la literatura, el cual fue resuelto por García *et al.* (2010) usando un modelo lineal aditivo. El objetivo de este trabajo es resolver el mismo problema mediante la técnica MOORA ((Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) y analizar la eficiencia de ambas técnicas.

Descripción del Método

García et al. (2010) siguió la metodología propuesta por De Boer (2001) para la selección de los proveedores, misma que está dividida en cuatro etapas y que describen a continuación de manera

breve. Para una definición más amplia, refiérase al artículo original.

Definición del problema

Una empresa que se dedica a la fabricación de bombas sumergibles tiene que ensamblar varios componentes en su línea de producción. Dentro de ese proceso debe emplear un empaque que une dos corazas que mantienen un sistema eléctrico funcionando bajo el agua. La falla del empaque se detecta por el corto circuito que se genera e inhabilita a la bomba, dejándola fuera de servicio. Para repararla, la bomba debe ser extraída para llevar a cabo el cambio de empaque, con una inversión de \$28,5083.89 por cada bomba dañada y actualmente el 9% de los equipos vendidos reclaman esta garantía.

Se habló con el proveedor en relación al problema y se propusieron planes de reparación conjunta para compartir gastos de reparaciones, sin que se tuviera una respuesta favorable por parte de éste, por lo que se ha decidido buscar proveedores alternos.

Se realizó un rastreo tecnológico para determinar a los posibles proveedores. Se encontró que existen 23 proveedores del mismo empaque, pero se

determinó que solamente seis podían tener fácil abasto del material en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Los diferentes proveedores serán denotados por PR¹, PR²..... PR⁶.

Identificación de los atributos

Se investigó qué atributos podían representar mejor las características de los proveedores que serían evaluados. Se determinó realizar el análisis en base a los siguientes atributos.

Costos (CO, \$). Está expresado en unidades monetarias y los valores mínimos son deseados. Cabe mencionarse que algunos proveedores son extranjeros, por lo que su producto se cotiza en dólares, entonces se realizó una conversión para todos los proveedores al tipo de cambio que se presentaba en un día específico.

Calidad del producto (CA, %). Se refiere a la calidad del producto y es medido por la cantidad de defectos que el cliente reporta en sus procesos. Para ello se requiere de la realización de visitas a las plantas de los diferentes proveedores; sin embargo, se confió en la información proporcionada por éstos dado que todos tienen un sistema de calidad implantado y han sido certificados por ISO. Los valores

más altos de calidad son deseados, o sea, los porcentajes mínimos de defectos.

Servicio (SE). Este atributo es subjetivo y se refiere a aspectos como la rapidez del servicio, capacidad para enfrentar pedidos urgentes, rapidez para hacer validas las garantías, etc. La estimación de un valor numérico estuvo en función de las opiniones dadas por clientes de esos proveedores, los cuales fueron investigados mediante encuestas.

Confiabilidad (CN, Horas). Para la determinación de este atributo, se realizaron pruebas de vida acelerada a los productos, sometidos a humedad y temperaturas elevadas, simulando los ambientes de trabajo en el cual se desempeñarían. La prueba se realizó a una muestra adquirida para tales propósitos en los laboratorios de la propia empresa, dada la importancia que tiene este atributo. Se estimaron las horas que duraban en promedio los diferentes empaques, sometidos todos a las mismas condiciones de trabajo. Valores altos en este atributo son deseados.

Administración y Organización (AO). Este atributo es subjetivo y para la determinación del mismo se realizaron análisis de la similitud cultural de la empresa, sistemas de comunicación al

interior de la empresa y con los clientes, reputación y posición en el sector de la fabricación de empaques y velocidad de desarrollo e innovación en sus productos. Valores altos en este atributo son deseados.

Tecnología (TE). Este atributo es subjetivo y se refiere a las tecnologías usadas en los procesos de producción usados por los proveedores, la capacidad de proceso, la capacidad de desarrollo de nuevos equipos en base a necesidades propias, capacidades futuras de producción y capacidad de diseño de nuevas tecnologías. Valores altos en este atributo son deseados.

Para la determinación de los atributos subjetivos o cualitativos se contó con la ayuda de tres personas, los cuales emitieron sus calificaciones en una escala del uno al nueve. El uno representaba la ausencia del atributo en el proveedor y el nueve, la máxima presencia; sin embargo, en este trabajo solo se expone los valores obtenidos, por lo que se recomienda que para un mejor entendimiento de la metodología seguida para su obtención, debe leerse el artículo original de García *et al.* (2010).

Evaluación de los proveedores mediante una técnica

Para el análisis de los proveedores se empleó la técnica denominada MOORA, misma que se expone brevemente a continuación.

Método MOORA

El método inicia con una matriz de respuestas, frecuentemente conocida como matriz de decisión final (**MDF**), la cual contiene k filas que representan a las alternativas y en $J+L$ columnas que representan a los diferentes atributos que se están evaluando (J atributos objetivos y L atributos subjetivos). Así, una matriz de este tipo puede ser representada como se ilustra en la ecuación (1), Brauers (2008).

$$MDF = [VO, VST] = \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^k \end{matrix} \begin{bmatrix} x^1_1 & \dots & x^1_J & x^1_{J+1} & \dots & x^1_{J+L} \\ x^2_1 & \dots & x^2_J & x^2_{J+1} & \dots & x^2_{J+L} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ x^k_1 & \dots & x^k_J & x^k_{J+1} & \dots & x^k_{J+L} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde:

A^i representa a las alternativas, para $i=1, \dots, k$.

x^i_j representa la respuesta o entrada de la alternativa i con respecto al atributo j .

Sin embargo, es posible que los atributos en evaluación se encuentren

expresados en diferentes unidades o escalas de medición, por ello, se realiza una normalización de cada uno de éstos, donde cada una de las columnas se divide entre la norma euclidiana que tienen, la cual puede ser obtenida de acuerdo a la ecuación (2) para el atributo X_n y el proceso de normalización de cada entrada en la **MDF** se realiza de acuerdo a la ecuación (3).

$$|X_n| = \sqrt{\sum_1^x x_i^2} \quad (2)$$

$$Nx_{ij} = \frac{x_{ij}}{|X_n|} \quad (3)$$

Así, dado que la norma euclidiana de cada uno de los atributos, $|X_n|$, está expresado en las mismas unidades en que están las entradas x_j^i de la **MDF**, al realizar la operación indicada en la ecuación (3), los resultados en Nx_{ij} son valores adimensionales, es decir, carentes de escala, lo cual permite realizar operaciones aditivas entre los atributos (Kalibatas y Turkis, 2008).

Sin embargo, frecuentemente las personas no tienen los mismos niveles de preferencia sobre los atributos, por lo que la siguiente actividad consiste en ponderar los atributos de la matriz normalizada. A este respecto, conviene decir que existen muchas técnicas de ponderación y en esta artículo solo se exponen los pesos de cada uno de los atributos y para mayor detalle sobre la obtención de los mismos, refiérase al trabajo original en García *et al.* (2010). Así, para este artículo se asumen los niveles de ponderación que se ilustran en la Tabla 1.

Cabe señalar que no multiplicar la **MDF** normalizada por los niveles de ponderación que tiene cada uno de los atributos, es sinónimo de asumir que se tienen los mismos niveles de preferencia para cada uno de éstos. Por ello, cada columna o atributo se multiplica por su respectivo peso o nivel de importancia, obteniéndose así una matriz de valores normalizados y ponderados.

Tabla 1. Ponderación de los atributos

Atributo	CO	CA	SE	CN	AO	TE
w	0.1520	0.1716	0.1716	0.1520	0.1716	0.1814

Después de ello, es conveniente identificar los atributos que deben minimizarse y los que se desean maximizar. Por ejemplo, en el caso de estudio aquí analizado, el costo es un atributo que se desea minimizar, pero la capacidad tecnológica se desea maximizar. Así, los atributos que se desean maximizar tendrán signo positivo y los que se desean minimizar, tendrán signo negativo. El índice de decisión de cada alternativa se obtiene de acuerdo a la ecuación (4) (Brauers y Kazimieras, 2006).

$$Ny_j = \sum_{i=1}^g Nx_{ij} - \sum_{i=g+1}^n Nx_{ij} \quad (4)$$

Donde:

Ny_j representa la contribución de la alternativa $j=1, \dots, k$

$i= 1, \dots, g$ son los atributos que se desean maximizar

$i=g+1, g+2, \dots, n$ son los atributos que se desean minimizar

Finalmente, es conveniente señalar que el criterio de decisión que se emplea en MOORA es elegir la

alternativa con el mayor valor en la contribución de la alternativa, Ny_j , ya que es posible que se encuentren valores de tipo negativo en algunas evaluaciones, lo cual puede deberse a que existen más atributos que deseen ser minimizados a aquellos que deseen ser maximizados.

Resultados

La matriz de decisión final que se usó en García *et al.* (2010) es la que se ilustra en la Tabla 2. Obsérvese que en el último renglón se ha agregado el objetivo de cada uno de los atributos, según sea el caso y según se ha definido en la metodología antes descrita cuando se definieron los atributos, según se deseen maximizar o minimizar.

Para la obtención de la norma euclidiana de cada uno de los atributos se usó la ecuación (2) y el proceso se ilustra en la Tabla 3, donde cada uno de los elementos de cada atributo se elevó al cuadrado, se sumaron dichos cuadrados y se extrajo la raíz cuadrada a dicha suma. Cabe mencionarse que las operaciones de

evaluación del método MOORA son fácilmente realizadas en Excel o en cualquier otra hoja de cálculo y que el nivel de dominio requerido es mínimo. Específicamente, en Excel, es posible obtener la norma de un vector mediante el

uso de las funciones de RAIZ y SUMA.CUADRADOS, las cuales ya están integradas en el software y su posible sintaxis puede ser RAIZ(SMA.CUADRADOS(RANGO DE CELDAS)).

Tabla 2. Matriz de decisión final

Alternativa	CO	CA	SE	CN	AO	TE
PR ¹	185	6.5	7.4	12850	7.6	7.4
PR ²	290	7.5	5.8	13695	6	7.4
PR ³	310	7.6	7.4	12870	7	5.6
PR ⁴	245	6.5	7	11385	7.4	6.4
PR ⁵	325	7.55	7	11235	7.6	7.6
PR ⁶	235	6.85	6.2	12585	6.6	6.2
	Min	Min	Max	Max	Max	Max

Tabla 3. Obtención de la norma euclidiana

Alternativa	CO	CA	SE	CN	AO	TE
PR ¹	34225	42.25	54.76	1.7E+08	57.76	54.76
PR ²	84100	56.25	33.64	1.9E+08	36	54.76
PR ³	96100	57.76	54.76	1.7E+08	49	31.36
PR ⁴	60025	42.25	49	1.3E+08	54.76	40.96
PR ⁵	105625	57.0025	49	1.3E+08	57.76	57.76
PR ⁶	55225	46.9225	38.44	1.6E+08	43.56	38.44
Suma	435300	302.435	279.6	9.33E+08	298.84	278.04
Raíz o Norma	659.773	17.3907	16.7212	30537.5	17.287	16.6745

Una vez obtenida la norma, se procedió a aplicar la ecuación (3) para generar los

valores normalizados y eliminar con ello las dimensiones de los atributos. Los

resultados obtenidos se ilustran en la Tabla 4, mientras que la ponderación de los valores normalizados se ilustra en la Tabla 5, donde los atributos que se desean minimizar se han expuesto en letra itálica. Además, en la penúltima columna se expone el valor de Ny_i o contribución

total de la alternativa y finalmente, la última columna contiene el orden de las alternativas, así se observa que aquella representada por PR¹ debe ser elegida.

Tabla 4. Normalización de la MDF

Alternativa	CO	CA	SE	CN	AO	TE
PR ¹	0.2804	0.37376	0.44255	0.42079	0.43964	0.44379
PR ²	0.43955	0.43127	0.34686	0.44847	0.34708	0.44379
PR ³	0.46986	0.43702	0.44255	0.42145	0.40493	0.33584
PR ⁴	0.37134	0.37376	0.41863	0.37282	0.42807	0.38382
PR ⁵	0.49259	0.43414	0.41863	0.36791	0.43964	0.45578
PR ⁶	0.35618	0.39389	0.37079	0.41212	0.38179	0.37182

Tabla 5. Ponderación de la MDF normalizada

Alternativa	CO	CA	SE	CN	AO	TE	Ny_i	Orden
PR ¹	<i>0.04262</i>	<i>0.06414</i>	0.07594	0.06396	0.07544	0.0805	0.18909	1
PR ²	<i>0.06681</i>	<i>0.07401</i>	0.05952	0.06817	0.05956	0.0805	0.12694	5
PR ³	<i>0.07142</i>	<i>0.07499</i>	0.07594	0.06406	0.06949	0.06092	0.12400	6
PR ⁴	<i>0.05644</i>	<i>0.06414</i>	0.07184	0.05667	0.07346	0.06962	0.15101	2
PR ⁵	<i>0.07487</i>	<i>0.0745</i>	0.07184	0.05592	0.07544	0.08268	0.13651	4
PR ⁶	<i>0.05414</i>	<i>0.06759</i>	0.06363	0.06264	0.06552	0.06745	0.13750	3

Conclusiones

La evaluación del caso de estudio aquí presentado indica que la alternativa PR¹ debe ser elegida, lo cual concuerda con los resultados encontrados por García *et*

al. (2010) mediante el método lineal aditivo. Por ello ante estos resultados, se concuerda con Kalibatas y Turkis (2010) en relación a que el método MOORA tiene muchas ventajas en al ser

comparado con AHP, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE y PRMETHHEE, tales como:

- Menor tiempo de cómputo
- Simplicidad
- Cálculos matemáticos requeridos
- Estabilidad
- Integración de datos cualitativos y cuantitativos

Referencias

Asokan, M. V. and Unnithan, V. K. G. 1999. Estimation of vendor's process capability from the lots screened to meet specifications, *Quality Engineering*, vol. 11(4), pp 537-540.

Barbarosoglu, G. and Yazgac, T. 1997. An application of the analytic hierarchy process to the supplier selection problem, *Prod. Invent. Manage. J.*, vol. 38(1), pp 14-21.

Brauers, W. K., Zavadskas, K., Peldschus, F. and Turskis, Z. 2008. Multi-objective decision-making for road design, *Transport*, 23(3), pp 183-193.

Boyles, R. A. 1996. Multivariate process analysis with lattice data, *Technometrics*, vol. 38(1), pp 37-49, 1996.

Chan, F. S. T. 2003. Interactive selection model for supplier selection process: an analytical hierarchy process approach, *Int. J. Prod. Res.*, vol. 41(15), pp 3549-3579, 2003.

Chan, L. K., Cheng S. W. and Spring, F. A. 1991. A multivariate measure of process capability, *International Journal of Modelling and Simulation*, vol. 11(1), pp 1-6.

Chen, H. 1990. A multivariate process capability index over a rectangular solid tolerance zone, *Statistica Sinica*, vol. 4, pp 49-758.

Degraeve, Z. and Roodhooft, F. 2000. A mathematical programming approach for procurement using activity based costing, *J. Business Finance & Acc.*, vol. 27(1-2), pp 69-98.

Garcia, J.L, Abril, L. y Hernandez J. L. 2010. Selección de proveedores usando un modelo lineal aditivo ponderado, *II Encuentro*

Iberoamericano de Investigación Operativa y Ciencias Administrativas. Monterrey, N.L., México, pp 173-184.

Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C. 1998. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming, *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 56/57, pp 199-212, 1998.

Ghodsypour, S.H. and O'Brien, C. 1998. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming, *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 56/57, pp 199-212.

Holt, G. D. 1998. Which contractor selection methodology?, *Int. J. Proj. Manage.*, vol. 16(3), pp 153-164.

Humphreys, P., Shiu, W. K. and Lo, V. H. Y. 2003. Buyer-supplier relationship: Perspectives between Hong Kong and the United Kingdom, *J. Mater. Proc. Tech.*, vol. 138, pp. 236-242.

Kalibatas, D. and Turkis, Z. (2008). Multicriteria evaluation of inner climate by using MOORA method, *Information Technology and Control*, 37(1), pp 79-83.

Krause, D.R. and Ellram, M. 1997. Success factors in supplier development, *Int. J. Physic. Distrib. Logist. Manage.*, vol. 27, pp 39-52, 1997.

De Boer, L., Labro, E. and Morlacchi, P. 2001. A review of methods supporting supplier selection, *Euro. J. Purch. & Supply Manage*, vol. 7, pp 75-89.

Liu, F.F. and Hai, H.L. 2005. The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier, *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 97(3), pp 308-317.

Liu, M. C. 2008. An investigation of multivariate process capability index, *Proceedings of 2nd Industrial Engineering Research Conference*, Norcross, GA, Institute of Industrial Engineers, pp. 644-648.

Mandal, A. and Deshmukh, S. G. 1994. Vendor selection using interpretive structural modeling (ISM), *Int. J. Op. Prod. Manage* vol. 14(6), pp 52-59.

Masella, C. and Rangone, A. 1995. Managing supplier/customer relationships by performance measurement systems, in

Proceedings of the 2nd International Symposium on Logistics, pp 95–102.

Min, H. 1994. International supplier selection, *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manage.*, vol. 24(5), pp 24–33, 1994.

Motwani, J. M. Youssef, Y. Kathawala and E. Futch. 1999. Supplier selection in developing countries: A model development, *Integ. Manuf. Syst.*, vol. 10/3, pp 154–161.

Ourkovic, S. and Handfield, R. 1996. Use of ISO 9000 and Baldrige award criteria in evaluation of supplier quality, *International Journal of Purchasing and Materials Management*, vol. 32(2), pp 2–11.

Parkan, C. and Wu, L. 1999. Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 36(3), pp 503–523, 1999.

Pearn W. L. and Chen, K. S. 1998. Multiprocess performance analysis: a case study, *Quality Engineering*, vol. 10(1), pp 1–8.

Pillet, M., Rochon, S. and Duclos, E. 1998. SPC—generalization of capability index

Cpm: Case of unilateral tolerances, *Quality Engineering*, vol. 10(1), pp 171–176.

Singhal, S. C. 1990. A New Chart for analyzing multiprocess performance, *Quality Engineering*, vol. 2(4), pp 379–390.

Taam, W., Subbaiah, P. and Liddy, J. W. 1993. A note on multivariate capability indices, *Journal of Applied Statistics*, vol. 20(3), pp 339–351.

Tam, M. C. Y. and Tummala, V. M. R. 2001. An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system, *Omega*, vol. 29, pp 171–182.

Vokurka, R. J., Choobineh, J. and Vadi, L. 1996. A prototype expert system for the evaluation and selection of potential suppliers, *Int. J. Op. Prod. Manage.*, vol. 16(12), pp 106–127.

Weber, C. A., Current, J. R. and Benton, W. C. 1991. Vendor selection criteria and methods, *Euro. J. Op. Res.*, vol. 50, pp 2–18, 1991.

Wind, Y. and Robinson, P. J. 1968. The determinants of vendor selection: The evaluation function approach, *J. Purch. Mater. Manage.*, vol. 8, pp 29–41, 1968.



MODELACIÓN DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA DE MASA EN COLUMNAS DE LECHO FIJO DE LA BIOADSORCIÓN DEL Cr(VI) USANDO TRANSFORMADAS DE LAPLACE

Jaime Romero González, Jorge Luis Garcia Alcaraz, Gilberto Velázquez Angulo, Aidé Aracely Maldonado Macías, Ismael Canales Valdivieso, Jaime Romero Rodríguez
Rosana Ramírez Martínez

Instituto de Ingeniería y Tecnología
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

La bioadsorción dinámica en columnas de lecho fijo con biomásas naturales ha adquirido gran importancia en la separación y recuperación de componentes de mezclas acuosas. Una etapa fundamental en el diseño de estos sistemas de separación es la modelación de la transferencia de masa. El presente trabajo fundamenta ampliamente y muestra de manera detallada una metodología rápida para la solución numérica de las ecuaciones en derivadas parciales que describe el proceso de transferencia de masa y modelan el complejo proceso de bioadsorción del Cr(VI) mediante la aplicación de columnas de lecho fijo. La metodología descrita se basa en la transformación de las ecuaciones originales del tiempo-dominio en el dominio de Laplace, donde se lleva a cabo la integración numérica y posterior transformación inversa numérica de la solución final. Los resultados obtenidos mediante el modelo generado mediante esta técnica muestran una gran similitud con los resultados experimentales. Lo que valida la aplicación del modelo propuesto.

Palabras clave: Modelación, transferencia de masa, bioadsorción, Cr(VI), transformadas de Laplace

Introducción

Algunos suelos y aguas de ciertas zonas de la República Mexicana, principalmente localizadas en los estados de Guanajuato, Zacatecas y Chihuahua, se caracterizan por los altos niveles de cromo originados en las actividades mineras y algunas industrias tales como producción de acero, cemento y curtido de pieles. El uso

de lodos de aguas negras o de fertilizantes con diferentes concentraciones del cromo, en algunas prácticas agronómicas, son otros de los factores contribuyentes a la contaminación ambiental por este metal.

El cromo se encuentra presente en agua y suelo principalmente en dos formas de oxidación: Cr(III) o Cr(VI), pero también puede encontrarse como

óxido de cromo, sulfato de cromo, trióxido de cromo, ácido crómico y dicromato (Zouboulis et al., 1995). En presencia de la materia orgánica, el Cr(VI) presente en aguas y suelos es reducido por reacción química a Cr(III); sin embargo, las altas concentraciones del metal en estado hexavalente, Cr(VI) pueden sobrepasar esta capacidad de reducción a Cr(III), lo que impediría su adecuada eliminación (Cervantes et al., 2001).

Pese a que el cromo es un elemento esencial para hombres y animales, niveles elevados de este metal (15 mg en agua de ríos y 0.10 mg /L en agua potable) resultan tóxicos en estos seres vivos. Particularmente, el Cr(VI) tiene efectos carcinogénicos en animales (Losi et. al., 1994) y mutagénicos en humanos y bacterias (Viti et. al., 2003). El Cr(VI), se encuentra en solución como CrO_4^{2-} (Cotton y Wilkinson, 1980), puede removerse por reducción, por precipitación química, por adsorción y por intercambio iónico (Cervantes et al., 2001). Actualmente, el proceso más utilizado es la adición de un agente reductor que convierta el Cr(VI) a Cr(III), posteriormente se le precipita con

soluciones básicas a $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (Campos et al., 1995).

Se ha estudiado el uso de metodologías alternativas, como la reducción de Cr(VI) a Cr(III) por *Pseudomonas* sp (McLean y Beveridge, 1991), *Desulfobrivio desulfuricans* (Mabbett et. al. 2004), *Candida maltosa* (Ramírez-Ramírez et. al. 2004), la recuperación de Cr(VI) por lirio acuático (Álvarez, et. al., 2004). Una alternativa novedosa y para el tratamiento de efluentes contaminados con Cr(VI) es la bioadsorción, algunos ejemplos del uso de esta técnica son el uso de biomasa fúngicas (Acosta et.al., 2004) y agave lechuguilla (Romero-González et.al. 2006).

Bioadsorción

La bioadsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua y la bioadsorción es una tecnología alternativa para remover los metales pesados de las soluciones acuosas diluídas basadas en la capacidad de una biomasa de acumular en sus tejidos inertes los agentes contaminadores a través de los mecanismos tales como la micro-precipitación, la bioadsorción física, el

intercambio de iones en su superficie Atkinson et al. 1998; Veglio y Beolchini, 1997; Volesky, 2001. Los adsorbentes naturales usados generalmente en estudios del biosorción, incluyendo las plantas naturales, las basuras agrícolas, e industriales, son materiales inagotables, baratos y no tóxicos ni peligrosos. Además estos materiales pueden ser selectivos y específicos para la remoción metales tóxicos de efluentes industriales acuosos. Debido a los peligros para la salud del Cr(VI), los estudios numerosos referentes a su retiro de soluciones acuosas se han realizado usando biomasa tales como el aserrín Garg, 2004 y la cáscara del arroz Bishnoi, 2004. Algunos estudios han considerado la bioadsorción y la reducción del Cr(VI) por la misma biomasa Kratochvil et al. 1998; Gardea-Torresdey et al. 2000 sin embargo, estos estudios no han analizado el efecto de la reducción del Cr(VI) al Cr(III) sobre el proceso de la bioadsorción.

Descripción del proceso de bioadsorción

El agua contaminada es bombeada dentro de una columna que contiene el filtro

elaborado con la biomasa seleccionada, esta agua deja la columna a través de un sistema de drenaje en el fondo de la columna. La capacidad de bioadsorción de la columna depende de las condiciones de operación y de la naturaleza de las sustancias. El agua pasa a través de la columna constantemente, con lo que produce una acumulación de sustancias en el filtro al paso del tiempo, la concentración del soluto contaminante se va concentrando en la superficie de las partículas del filtro al paso del tiempo hasta que el empaque se satura y la concentración con la que entra el soluto en la parte inicial de la columna (filtro) será igual a la concentración de salida. La parte más importante que debe modelarse matemáticamente es la Zona de Transferencia de Masa (MTZ), Figura 1.

La zona de transferencia de masa se va desplazando en función del tiempo y la posible reacción del soluto con la biomasa del adsorbente (ejemplo, reducción del Cr(VI); Cr(VI) a Cr(III). Además la capacidad de bioadsorción del empaque se va reduciendo hasta que se satura totalmente. $q/q_r = 1.$, Figura 2.

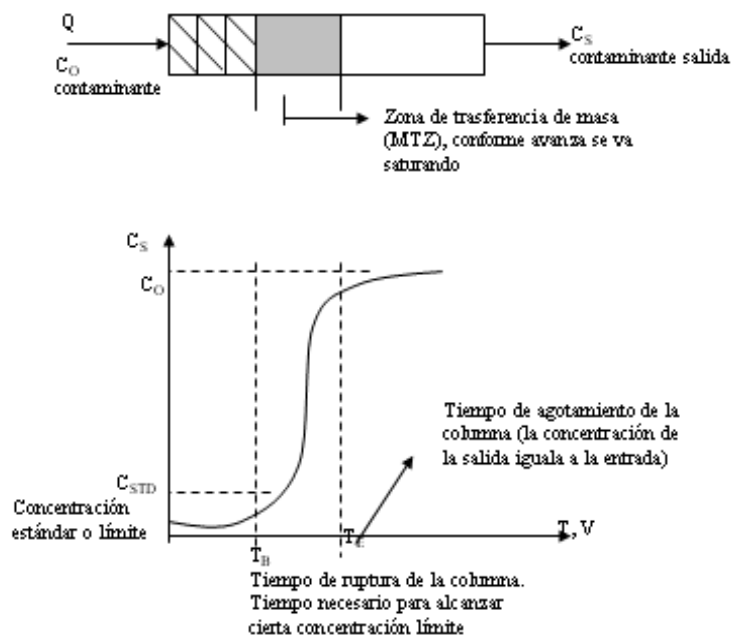


Figura 1. Descripción de la operación de una columna de bioadsorción.

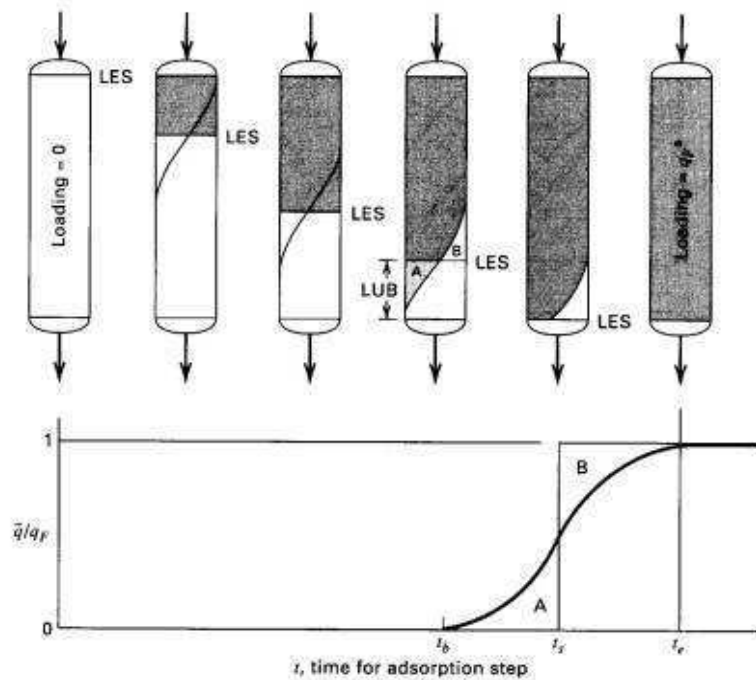


Figura 2. Capacidad de bioadsorción de una columna de lecho fijo para la remoción de un soluto contaminante.

Importancia del modelado de la bioadsorción

Varios de los retos y desafíos importantes implicados en el uso adecuado del proceso de bioadsorción incluyen la selectividad del bioadsorbente y el desarrollo de un proceso continuo. Una comprensión más profunda de los mecanismos físicos y químicos que funcionan en la transferencia de masa en el proceso de bioadsorción del metal podría facilitar la optimización de las condiciones de funcionamiento y de las configuraciones de la del sistema de bioadsorción Volesky, 2003. Los modelos matemáticos de tal proceso serían una excelente herramienta para su adecuado diseño, operación y mantenimiento. Además de favorecer su posible escalación a un nivel industrial. La validación modelo propuesto y su solución analítica se puede lograr por experimentos de laboratorio bien diseñados. Es por ello que el desarrollar un modelo matemático para la bioadsorción de Cr(VI) que considere la mayor cantidad de variables que afectan la transferencia de masa en un proceso continuo en una columna de lecho fijo, incluyendo la reducción química de Cr(VI) a Cr(III), resulta una excelente

aplicación de las matemáticas. El presente trabajo tiene el propósito de modelar matemáticamente el proceso de transferencia de masa en columnas de lecho fijo utilizadas para la bioadsorción y reducción química de Cr(VI).

Modelación matemática de la bioadsorción

La bioadsorción dinámica en columnas empacadas con sólidos porosos ha adquirido gran importancia en la separación y recuperación de componentes diluidos de mezclas fluidas. Una etapa fundamental en el diseño de estos procesos es la modelación del sistema para el cálculo de las curvas de ruptura o respuestas dinámicas de las columnas de bioadsorción en un cambio escalón en la entrada. Ruthven (1987) y Ynag (1985) proporcionan revisiones cuidadosas de las soluciones para las curvas de ruptura de los diversos modelos matemáticos reportados en la referencia.

Rasmuson y Neretnieks (1980) reportaron un modelo isotérmico que incluye dispersión axial, resistencia externa de película a la transferencia de masa, difusión dentro de la partícula adsorbente y una isoterma lineal de bioadsorción. Durante la última década,

ese modelo ha recibido considerable atención en la referencia y, hasta ahora, se han propuesto cuatro algoritmos diferentes para resolverlo: (a) Rasmuson y Neretnieks (1980), usando las técnicas de la transformada de Laplace y de la transformada inversa en el dominio complejo, obtuvieron una solución semianalítica que requiere una rutina eficiente para la integración numérica de una integral infinita oscilatoria de lenta convergencia. (b) Raghavan y Ruthven (1983) usaron el método de colocación ortogonal para discretizar las dos ecuaciones diferenciales parciales parabólicas acopladas del modelo y obtener un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) de primer orden, que resolvieron usando una rutina de integración estándar. (c) Brian et al. (1987) Propusieron el método de líneas para reducir ambas ecuaciones diferenciales parciales a un sistema acoplado de EDO's en el dominio del tiempo, que integraron usando el Método de Gear. Finalmente, (d) Chen y Hsu (1987) emplearon un algoritmo basado en la transformada rápida de Fourier para calcular las respuestas transientes cromatográficas del sistema, las cuales deben ser integradas numéricamente para

obtener las curvas de ruptura del adsorbedor.

Una vez revisadas y analizadas estas alternativas se decidió desarrollar la modelación del proceso de transferencia de masa en columnas de lecho fijo usando transformadas de Laplace en la bioadsorción del Cr(VI), ya que resultaba una opción que permite identificar todas las variables que se deseaban evaluar en el proceso de bioadsorción, especialmente el considerar la reducción química del Cr(VI).

Aplicación de la transformada de Laplace en la modelación de transporte de solutos

Los métodos de transformación son ampliamente usados para la solución de ecuaciones diferenciales parciales. La selección de la apropiada transformación depende del tipo de las condiciones de frontera y dominio del medio des finitas, infinito o semiinfinito. Esta sección describe el uso de las transformadas de Laplace, con énfasis sobre su rol en resolver las ecuaciones diferenciales parciales que frecuentemente se aplican en la modelación de transporte de solutos.

Definición de la transformada y su inversa

La Transformada de Laplace es una herramienta de gran alcance formulada para solucionar una variedad amplia de problemas de la inicial-valor. La estrategia es transformar las ecuaciones diferenciales difíciles en los problemas simples del álgebra donde las soluciones pueden ser obtenidas fácilmente. Entonces se aplica La Transformada Inversa de Laplace para recuperar las soluciones de los problemas originales.

Es un procedimiento desarrollado por el matemático y astrónomo francés Pierre Simón Marques de Laplace (1749 - 1827) que permite cambiar funciones de la variable del tiempo t a una función de la variable compleja s .

Las características fundamentales de la Transformada de Laplace son:

- Es un método operacional que puede usarse para resolver ecuaciones diferenciales lineales.
- Las funciones senoidales, senoidales amortiguadas y exponenciales se pueden convertir en funciones algebraicas lineales en la variable S .
- Sirve para reemplazar operaciones como derivación e integración,

por operaciones algebraicas en el plano complejo de la variable S .

- Este método permite usar técnicas gráficas para predecir el funcionamiento de un sistema sin necesidad de resolver el sistema de ecuaciones diferenciales correspondiente.

Esta transformada integral tiene una serie de propiedades que la hacen útil en el análisis de sistemas lineales. Una de las ventajas más significativas radica en que la integración y derivación se convierten en multiplicación y división. Esto transforma las ecuaciones diferenciales e integrales en ecuaciones polinómicas, mucho más fáciles de resolver.

Otra aplicación importante en los sistemas lineales es el cálculo de la señal de salida. Ésta se puede calcular mediante la convolución de la respuesta impulsiva del sistema con la señal de entrada. La realización de este cálculo en el espacio de Laplace convierte la convolución en una multiplicación, habitualmente más sencilla.

Transformación que a una función de variable real $f(t)$, definida en todo el campo de los números reales, le hace corresponder una nueva función $L(f)$,

llamada transformada de Laplace, definida por la expresión:

$$L[f(t)] = F[s] = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt \quad (1)$$

La Transformada de Laplace de muchas funciones puede ser obtenida por directa integración. Una extensa cantidad de tablas están disponibles y pueden ser consultadas para esos casos donde la integración es muy compleja. Una lista completa de estas tablas está disponible en manuales tales como el de Abramowitz y Stegun, 1964.

La Transformada Inversa es el proceso de recobrar la función $f(t)$ de la transformada $F(s)$ y es definida como:

$$f(t) = L^{-1}[F(s)] = \frac{1}{2\pi j} \int_{\gamma-j\infty}^{\gamma+j\infty} F(s) s^{st} ds \quad (2)$$

Donde γ es una constante positiva, y $j = \sqrt{-1}$.

Un ejemplo de la gran utilidad de las transformadas y sus inversas es el aplicado al transporte de soluto por simple dispersión, cuya expresión se define como:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (3)$$

Donde D es el efectivo coeficiente de dispersión. Si nosotros consideramos la dispersión sobre las siguientes condiciones de frontera y suponiendo una fuente constante de flujo.

$$c(x,0) = 0 \quad (4)$$

$$c(\infty, t) = 0 \quad (5)$$

$$c(0, t > 0) = c_0 \quad (6)$$

Definiendo $\bar{c}(x, s)$ como la transformada de Laplace de $c(x, t)$.

$$\bar{c} = \bar{c}(x, s) = \int_0^{\infty} e^{-st} c(x, t) dt \quad (7)$$

Y tomando la transformada de Laplace de (3), nosotros obtenemos

$$\frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} - \lambda^2 \bar{c} = 0 \quad (8)$$

Donde $\lambda = \sqrt{s/D}$, de (4) nosotros tenemos

$$\bar{c}(\infty, s) = 0 \quad \bar{c}(0, s) = \frac{c_0}{s} \quad (9)$$

La ecuación (8) es una ecuación diferencial de segundo orden con coeficientes constantes y tiene una solución general.

$$\bar{c}(x, s) = Ae^{-\lambda x} + Be^{\lambda x} \quad (10)$$

Donde A y B son constantes (independientes de x) que pueden ser determinadas por las condiciones finales (8). Desde $\lambda > 0$, la condición para $x \rightarrow \infty$ requiere que B = 0.

La condición para $x = 0$ nos da $A = c_0 / s$ tal que

$$\bar{c}(x, s) = \frac{c_0}{s} \exp(-\lambda x) \quad (11)$$

La Inversa de la Transformada de Laplace no da

$$c(x, t) = c_0 \operatorname{erfc} \left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right] \quad (12)$$

Donde el error complementario (erfc) es definido como:

$$\operatorname{erf}(z) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\xi^2} d\xi = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^\infty e^{-\xi^2} d\xi \quad (13)$$

En matemáticas, la función error (también conocida como función error de Gauss) es una función no-elemental que se utiliza en el campo de la probabilidad, la estadística y las ecuaciones diferenciales parciales. La función queda definida por la expresión:

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (14)$$

La **función error complementario**, llamada erfc, se define a partir de la función error:

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt \quad (15)$$

Rol de las condiciones de frontera

La importancia de identificar claramente el flujo y la concentración mediante las condiciones de frontera han sido enfatizados en varios estudios (Kraft y Zuber, 1978; Parker y van Genuchten, 1984). Aquí nosotros examinamos como la naturaleza de la solución de la ecuación de advección dispersión es influenciada por los diferentes tipos condiciones de

frontera. Solo pocos casos son descritos aquí, y los lectores son referidos a van Genuchten and Aves (1982) para una más compleja lista de soluciones. Nosotros definimos la ecuación gobernante como:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = +V \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (16)$$

Donde D expresa los efectos combinados de la difusión molecular y la dispersión mecánica. En (16), $c(x, t)$ expresa el flujo o concentración residente esta sección, nosotros principalmente examinaremos varias de las soluciones matemáticas a diferentes condiciones de frontera.

Consideremos una columna empacada de longitud L a lo largo del movimiento promedio del agua.

Especificar alguna particular condición a la salida $x = L$ para el soluto en movimiento es difícil. Es acostumbrado la imposición de la condición de frontera a $x = \infty$, y examinar la solución en $x = L$. La evaluación de $c(L, t)$ en esta manera permite determinar ambos el flujo de la advección dispersión mecanismos.

Para una semiinfinita columna, una simple entrada puede ser $x=0$ es impuesta como una condición de frontera de primer tipo:

$$c(0, t) = c_0 \quad (17)$$

Donde c_0 podría ser la concentración del soluto en la fuente de entrada. Ogata and Banks (1961) provee la siguiente solución para este caso como:

$$c(x, t) = \frac{c_0}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left(\frac{x-Vt}{\sqrt{4Dt}} \right) + \exp \left(\frac{xV}{D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x+Vt}{\sqrt{4Dt}} \right) \right\} \quad (18)$$

Se debe notar que la contribución del segundo término del lado derecho de (18) es despreciable cuando xV/D es grande (ejemplo para $xV/D > 500$, el error es menos del 3%)

Considerando un caso de una infinita columna ($-\infty < x < \infty$) donde la masa del soluto es continuamente inyectada en la columna en la localización $x = 0$. Aquí otra vez, nosotros interpretamos $c(x, t)$ como una concentración residente y es expresada como:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \eta c(x, t) dx = qc_0 t \quad (19)$$

En este caso debemos considerar que es constante el efecto advectivo en la dirección de x , el efecto de la dispersión está distribuyendo masa de soluto en ambas negativa y positivas direcciones. Sauty (1980) presenta la solución para este caso como:

$$c(x,t) = \frac{c_0}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x-Vt}{\sqrt{4Dt}} \right) - \exp \left(\frac{xV}{D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x+Vt}{\sqrt{4Dt}} \right) \right] \quad (20)$$

Cabe señalar que en (18) y (20). tiene la misma solución para valores grandes de xV/D

Las condiciones de un flujo muy bien mezclado corriente a bajo en una columna es presentado por Cauchy (o tercer tipo) condiciones de frontera para una concentración residente $c(x, t)$

$$qc_0 = \left[qc - \eta D \frac{\partial c}{\partial x} \right] \Big|_{x=0} \quad (21)$$

Luego el flujo del soluto corriente debajo de vida solamente a la advección esta determinándose. Lindstrom et al.

(1967) provee la solución para este caso como:

$$c(x,t) = \frac{c_0}{2} \left\{ \begin{aligned} & \operatorname{erfc} \left(\frac{x-Vt}{\sqrt{4Dt}} \right) + \sqrt{\frac{4V^2t}{\pi D}} \exp \left[-\frac{(x-Vt)^2}{4Dt} \right] \\ & - \left(1 + \frac{Vx}{D} + \frac{V^2t}{D} \right) \exp \left(\frac{Vx}{D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x+Vt}{\sqrt{4Dt}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Es claro que solo las variables que aparecen en la ecuación son $c(x, t)$, c_0 , x , t , y D . Al conocer la concentración de una columna de longitud L de flujo continuamente alimentado se puede conocer la concentración residente en cualquier punto de la columna en función del tiempo de operación.

Desarrollo del modelo

El balance general de material del soluto en la fase líquida en un volumen de control de una columna empacada de sección transversal (A) y un diferencial de longitud (dz) en la dirección de flujo (Figura 3) es descrito por la ecuación 23, Hamed, 2002.

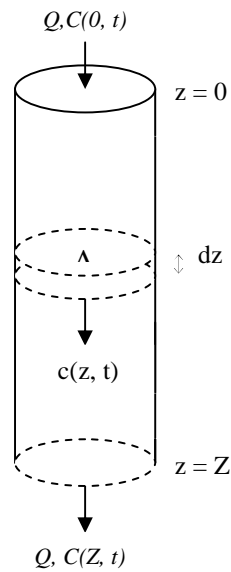


Figura No. 3. Representación esquemática del volumen de control para equilibrio total en una columna de la adsorción. Q representa el flujo; A para el área seccionada transversalmente; z representa la longitud de la cama; c representa la concentración del metal, y t representa el tiempo.

|

Adsorción

Velocidad del cambio de la masa del soluto en el volumen de control	=	Entrada neta del soluto vía flujo	+	Entrada neta del soluto vía dispersión	-	Velocidad neta de la pérdida del soluto vía adsorción	+	Velocidad neta de creación y/o destrucción del soluto por reacción química
---	---	-----------------------------------	---	--	---	---	---	--

$$\epsilon A dz \frac{\partial c}{\partial t} = -Q dz \frac{\partial c}{\partial z} + D \epsilon A dz \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} dz - dW \frac{\partial q}{\partial t} + \epsilon A (dz) r_n \quad (23)$$

Análisis dimensional de la ecuación (23):

$$\left(\frac{m}{t}\right) \left(\frac{\ell^3}{t}\right) = -\left(\frac{\ell^3}{t}\right) \left(\frac{m}{\ell}\right) + \left(\frac{\ell^3}{(m)(t)}\right) \left(\frac{m}{\ell^2}\right) - \left(\frac{m}{t}\right) \left(\frac{w}{t}\right) + \left(\frac{m}{t}\right) \left(\frac{\ell^3}{t}\right)$$

$$\frac{m}{t} = -\frac{m}{t} + \frac{m}{t} - \frac{m}{t} + \frac{m}{t}$$

donde ε , porosidad de la cama, es la fracción vacía de la sección empacada de la columna, D es considerado como el coeficiente de dispersión del soluto, y dW es la masa del soluto en un diferencial del volumen de control. Dividiendo por εAdz la ecuación 1 y considerando el coeficiente Q/A como la velocidad de flujo (U_o) de la solución acuosa se obtiene la siguiente ecuación.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{U_o}{\varepsilon} \frac{\partial c}{\partial z} + D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \frac{1}{\varepsilon} \frac{dW}{Adz} \frac{\partial q}{\partial t} + r_n \quad (24)$$

El producto Adz es igual al volumen del espacio de control, dV_R , así la relación $\frac{dW}{Adz}$ es la masa del adsorbente por unidad de volumen de la sección de control. Esta relación es la misma a través de la columna y es llamada la densidad de empaque, ρ_p . La densidad de empaque no es la densidad

de las partículas adsorbentes (ρ_{ads}), pero relaciona la masa de adsorbente por litro de columna empacada, incluyendo el volumen de los espacios intraparticulares. Estos dos parámetros son expresados por $\rho_p = \rho_{ads}(1-\varepsilon)$.

Expresando $\frac{dW}{Adz}$ en términos de ρ_p o ρ_{ads} , tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{U_o}{\varepsilon} \frac{\partial c}{\partial z} + D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \frac{\rho_p}{\varepsilon} \frac{\partial q}{\partial t} + r_n \quad (25)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{U_o}{\varepsilon} \frac{\partial c}{\partial z} + D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \frac{\rho_{ads}(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \frac{\partial q}{\partial t} + r_n \quad (26)$$

La mayoría de los trabajos relacionados con la bioadsorción del Cr(VI) aplican modelos tales como los propuestos por Bohart y Adams Bohart, 1920, Clark, 1987, y Zhang y Cheng, 2000 los cuales, con el propósito de facilitar la solución analítica de la ecuación (26) suponen que el efecto el coeficiente de dispersión D en la transferencia de masa es insignificante

(situación que solo es verdadera cuando la transferencia se efectúa en un sistema gas-sólido), de esta manera estos modelos simplifican la ecuación (26) como sigue:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{U_o}{\varepsilon} \frac{\partial c}{\partial z} - \frac{\rho_{ads}(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \frac{\partial q}{\partial t} + r_n \quad (27)$$

Además, muchos estudios relacionados con la bioadsorción del Cr(VI) consideran erróneamente al Cr(VI) como especie no-reactiva con la biomasa utilizada, así que ellos suponen la velocidad de reacción $r_n = 0$ Lehmann et al., 2001; Sağ, y Aktay, 2001. Así, esos investigadores simplificaron aun más la ecuación (27) como sigue:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{U_o}{\varepsilon} \frac{\partial c}{\partial z} - \frac{\rho_{ads}(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \frac{\partial q}{\partial t} \quad (28)$$

Estos modelos no pueden ofrecer la modelación satisfactoria del efecto del proceso de la bioadsorción sobre transporte del soluto. De hecho en la Modelación del transporte de masa se ha demostrado que el coeficiente de dispersión es muy importante en las resistencias de la transferencia que están presentes en el las fases líquido-sólidas

Jonson y Kapner, 1990; van Zee et al., 1995.

Por estas razones, en el actual estudio, el efecto de la dispersión y de la velocidad de la reacción será considerado como partes principales del desarrollo del modelo.

En reacciones redox, como es el caso de las de el Cr(VI), la bioadsorción es a menudo un paso dominante. El efecto de tales reacciones sobre el comportamiento total puede ser evaluado modificando la ecuación de equilibrio total para considerar la reacción superficial. Si se asume que estas reacciones son decaimiento de primer orden con respecto a la concentración disuelta del adsorbato, y eso en la fase líquida pudo ser una producción de cero-orden, las expresiones de la velocidad de reacción pueden ser expresadas como sigue:

$$r_1 = -\mu c \quad (29)$$

$$r_0 = \gamma \quad (30)$$

donde μ es el coeficiente de la reacción de primer orden y γ es el coeficiente de orden cero en la fase líquida. Por lo tanto la ecuación (26) puede ser escrita como sigue:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{U_o}{\varepsilon} \frac{\partial c}{\partial z} + D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \frac{\rho_{ads}(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \frac{\partial q}{\partial t} - \mu c + \gamma \quad (31)$$

La distribución del equilibrio entre la fase sólida y la fase líquida se puede describir por un isoterma lineal de la forma:

$$q = K_d c \quad (32)$$

y el derivado parcial puede ser substituido por el coeficiente de distribución K_d y el derivado parcial.

$$\text{Entonces, } \frac{\partial q}{\partial t} = K_d \frac{\partial c}{\partial t} \quad (33)$$

Y substituyendo la ecuación (33) en la ecuación (31) obtuvimos la expresión siguiente:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{U_o}{\varepsilon} \frac{\partial c}{\partial z} + D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \frac{\rho_{ads}(1-\varepsilon)}{\varepsilon} K_d \frac{\partial c}{\partial t} - \mu c + \gamma \quad (34)$$

$$\left(1 + \frac{\rho_{ads}(1-\varepsilon)}{\varepsilon} K_d\right) \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{U_o}{\varepsilon} \frac{\partial c}{\partial z} + D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \mu c + \gamma \quad (35)$$

Entonces, la ecuación general de la advectivo-dispersión-reacción puede ser escrita como sigue:

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - v \frac{\partial c}{\partial z} - R \frac{\partial c}{\partial t} = \mu c - \gamma \quad (36)$$

donde el factor del retraso, R , se define cerca:

$$R = \left(1 + \frac{\rho_{ads}(1-\varepsilon)}{\varepsilon} K_d\right) \quad (37)$$

y la velocidad del poro, se define cerca:

$$v = \frac{U_o}{\varepsilon} \quad (38)$$

Para encontrar la alternativa más descriptiva con un mínimo de variables de la operación para un tratamiento teórico acertado de datos experimentales y la simulación de la brecha del bioadsorción curva, varias soluciones analíticas de la ecuación de la advección-dispersión, con la primera reacción de la orden era analizado Ataie-Ashtiani et al., 1999; Hossain, 1999; Serrano, 2001. Después de los análisis, la solución analítica de van Genuchten, 1981 fue modificada y aplicada al modelo. Las ecuaciones, las condiciones, y las variables usadas eran los siguientes: La ecuación (36) fue solucionada usando las condiciones siguientes de la inicial y de límite:

Solución analítica del modelo

Para encontrar la más descriptiva con un mínimo de variables de operación para un tratamiento teórico satisfactorio de datos experimentales y simulación de las curvas de ruptura de la adsorción del Cr(III), diversas soluciones analíticas de la ecuación advección-dispersión, fueron analizadas (Ataie-Ashtiani, et al., 1999; Hossain and Barber, 2000; Hossain and Taha, 2000). Después el análisis, la solución analítica propuesta por van Genuchten, 1981 fue modificada y aplicada al modelo.

Las ecuaciones, condiciones, y variables usadas fueron las siguientes: Ec. (36) fue resuelta usando las siguientes condiciones límite:

$$c(z,0) = C_i \quad (39)$$

$$\left(-D \frac{\partial c}{\partial z} + vc\right)_{z=0} = \begin{cases} vC_0 & 0 < t \leq t_0 \\ 0 & t > t_0 \end{cases} \quad (40)$$

$$\frac{\partial c}{\partial z}(\infty, t) = 0 \quad (41)$$

donde C y C_0 son constantes.

Aplicación de las transformadas de Laplace para la solución analítica

La bioadsorción dinámica en columnas empacadas con sólidos porosos ha adquirido gran importancia en la separación y recuperación de componentes diluidos de mezclas fluidas. Una etapa fundamental en el diseño de estos procesos es la modelación del sistema para el cálculo de las curvas de ruptura o respuestas dinámicas de las columnas de bioadsorción en un cambio escalón en la entrada. Ruthven y Yng proporcionan revisiones cuidadosas de las soluciones para las curvas de ruptura de los diversos modelos matemáticos reportados en la referencia.

En este apartado se da una derivación de la solución analítica del siguiente conjunto de ecuaciones y condiciones de frontera:

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - v \frac{\partial c}{\partial z} - R \frac{\partial c}{\partial t} = \mu c - \gamma \quad (42)$$

$$c(z,0) = C_i \quad (43)$$

$$\left(-D \frac{\partial c}{\partial z} + vc\right)_{z=0} = \begin{cases} vC_0 & 0 < t \leq t_0 \\ 0 & t > t_0 \end{cases} \quad (44)$$

$$\frac{\partial c}{\partial z}(\infty, t) = 0 \quad (45)$$

La solución puede ser obtenida por medio de la transformada de Laplace. La Transformada de Laplace de c con respecto a t es definida por:

$$\bar{c} = \bar{c}(z, s) = \int_0^{\infty} \exp(-st)c(z, t)dt \quad (46)$$

La Transformada de Laplace de (42) la cual satisface la condición inicial (43) es:

$$\frac{D\partial^2 \bar{c}}{R\partial z^2} - \frac{v\partial \bar{c}}{R\partial z} - \left(s + \frac{\mu}{R}\right)\bar{c} = -\frac{\gamma}{Rs} - C_i \quad (47)$$

Las Transformadas de las ecuaciones (44) y (45) toman la forma:

$$\left(-D\frac{\partial \bar{c}}{\partial z} + v\bar{c}\right)\Big|_{z=0} = \begin{cases} vC_0 \\ 0 \end{cases} \quad (48)$$

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial z}(\infty, s) = 0 \quad (49)$$

La solución directa de las ecuaciones (47), (48) y (49) es:

$$\bar{c}(z, s) = \frac{\frac{v}{D}\left(C_0 - \frac{\gamma}{\mu}\right)\exp\left[\frac{vz}{2D} - z\left(\frac{v^2}{4D^2} + \frac{s + \mu/R}{D/R}\right)^{1/2}\right]}{s\left[\frac{v}{2D} + \left(\frac{v^2}{4D^2} + \frac{s + \mu/R}{D/R}\right)^{1/2}\right]}$$

$$+ \frac{\frac{vC_0}{D}\exp(-t_0s)\exp\left[\frac{vz}{2D} - z\left(\frac{v^2}{4D^2} + \frac{s + \mu/R}{D/R}\right)^{1/2}\right]}{s\left[\frac{v}{2D} + \left(\frac{v^2}{4D^2} + \frac{s + \mu/R}{D/R}\right)^{1/2}\right]}$$

$$\frac{\frac{v}{D} \left(\frac{\gamma}{\mu} - C_i \right) \exp \left[\frac{vz}{2D} - z \left(\frac{v^2}{4D^2} + \frac{s + \mu/R}{D/R} \right)^{1/2} \right]}{(s + \mu/R) \left[\frac{v}{2D} + \left(\frac{v^2}{4D^2} + \frac{s + \mu/R}{D/R} \right)^{1/2} \right]} + \frac{\gamma/R}{s(s + \mu/R)} + \frac{C_i}{s + \mu/R} \quad (50)$$

La Transformada Inversa de Laplace del primer término en la ecuación (50) puede ser obtenida por dejar $p = s, h = v/(2D), k = D/R$ y $\alpha = \mu/R + v^2/(4DR)$ en ecuación 31 del apéndice A de Carslaw y Jaeger (1959), y subsecuentemente usando $a = -\mu/R - v^2/(4DR)$ en ecuación (29.2.12) de Abramowitz y Stegun (1970). La siguiente expresión fue obtenida por este término:

$$I_1(z, t) = (C_0 - \gamma/\mu)A(z, t) \quad (51)$$

Donde $A(z, t)$ es dada por la ecuación (33) y (35) en el texto.

La inversa del segundo término en ecuación (50) sigue inmediatamente por el primer término y ecuación (51) por haciendo uso de la ecuación (29.2.15) de Abramowitz y Stegun (1970):

$$I_2(z, t) = \begin{cases} 0 & 0 < t \leq t_0 \\ -C_0 A(z, t - t_0) & t > t_0 \end{cases} \quad (52)$$

La Transformada Inversa en el tercer término en ecuación (50) puede ser obtenida por la primera ecuación considerada (42) sin los dos tipos de términos, i.e.:

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - v \frac{\partial c}{\partial z} - R \frac{\partial c}{\partial t} = 0 \quad (53)$$

La solución de la Transformada de Laplace de esta ecuación sujeta para alguna condición inicial y frontera como antes, pero con $C_i = 0$ en ecuación (43), y con $C_0 = 1$ y $t_0 \rightarrow \infty$ en ecuación (44) (i.e. una solución continua), está dada por:

$$\bar{c}(z, s) = \frac{\frac{v}{D} \exp \left[\frac{vz}{2D} - z \left(\frac{v^2}{4D^2} + \frac{s + \mu/R}{D/R} \right)^{1/2} \right]}{s \left[\frac{v}{2D} + \left(\frac{v^2}{4D^2} + \frac{s}{D/R} \right)^{1/2} \right]} \quad (54)$$

La solución directa de la ecuación (53) sujeta para estas algunas condiciones iniciales y de frontera, sin embargo, se sabe (Lindstrom et al., 1967):

$$c(z, t) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{Rz - vt}{2(DRt)^{1/2}} \right] + \left(\frac{v^2 t}{\pi RD} \right)^{1/2} \exp \left[-\frac{(Rz - vt)^2}{4DRt} \right] - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{vz}{D} + \frac{v^2 t}{DR} \right) \exp(vz/D) \operatorname{erfc} \left[\frac{Rz + vt}{2(DRt)^{1/2}} \right] \quad (55)$$

La ecuación (55) es por lo tanto la Transformada Inversa de ecuación (54). Aplicación de la ecuación (29.2.12) de Abramowitz y Stegun (1970) para

ecuaciones (54) y (55) principales ahora directamente para la inversa de Laplace del tercer término en ecuación (50):

$$I_3(z, t) = \left(\frac{\gamma}{\mu} - C_i \right) \exp \left(-\frac{\mu t}{R} \right) \left\{ \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{Rz - vt}{2(DRt)^{1/2}} \right] + \left(\frac{v^2 t}{\pi RD} \right)^{1/2} \exp \left[-\frac{(Rz - vt)^2}{4DRt} \right] - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{vz}{D} + \frac{v^2 t}{DR} \right) \exp(vz/D) \operatorname{erfc} \left[\frac{Rz + vt}{2(DRt)^{1/2}} \right] \right\} \quad (56)$$

La transformada inversa del cuarto y quinto termino en la ecuación (50) seguida de las ecuaciones (29.3.12) y (29.3.8) de Abramowitz y Stegun (1970):

$$I_4(z, t) = \frac{\gamma}{\mu} [1 - \exp(-\mu t / R)] \quad (57)$$

$$I_5(z, t) = C_i \exp(-\mu t / R) \quad (58)$$

La transformada inversa de la ecuación (50), la cual es la solución de las ecuaciones (42) a (45), está dada por lo tanto por (ver también ecuaciones (32)-(35):

$$c(z,t)=I_1(z,t)+I_2(z,t)+I_3(z,t)+I_4(z,t)+I_5(z,t) \quad (59)$$

Entonces finalmente la solución analítica modificada van Genuchten usando transformadas de Laplace [22] es:

$$c(z,t) = \begin{cases} (C_0 - \gamma/\mu)A(z,t) + B(z,t) & 0 < t \leq t_0 \\ (C_0 - \gamma/\mu)A(z,t) + B(z,t) - C_0 A(z,t-t_0) & t > t_0 \end{cases} \quad (60)$$

donde

$$A(z,t) = \frac{(v) \operatorname{erfc}\left(\frac{zR-ut}{\sqrt{4DRt}}\right) \exp\left(\frac{(v-u)z}{2D}\right)}{(v+u)} + \frac{(v) \operatorname{erfc}\left(\frac{zR+ut}{\sqrt{4DRt}}\right) \exp\left(\frac{(v+u)z}{2D}\right)}{(v-u)} + \frac{(v^2) \operatorname{erfc}\left(\frac{zR+ut}{\sqrt{4DRt}}\right) \exp\left(\frac{zv}{D} - \frac{t\mu}{R}\right)}{2\mu D} \quad (61)$$

$$B(z,t) = \left(\frac{\gamma}{\mu} - Ci\right) \left(\frac{\operatorname{erfc}\left(\frac{zR-ut}{\sqrt{4DRt}}\right) \left(\frac{v^2 t}{DR} + \frac{zv}{D} + 1\right) \exp\left(\frac{zv}{D}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{zR+ut}{\sqrt{4DRt}}\right)}{2} + \exp\left(-\frac{(zR-ut)^2}{4DRt}\right) \left(\sqrt{\frac{v^2 t}{\pi DR}}\right) \right) \times \exp\left(-\frac{vt}{R}\right) + \frac{\gamma}{\mu} + \left(Ci - \frac{\gamma}{\mu}\right) \exp\left(-\frac{t\mu}{R}\right) \quad (62)$$

y

$$u = v \sqrt{\frac{4\mu D}{v^2} + 1} \quad (63)$$

Las variables necesarias y aplicadas en el modelo para describir el sistema incluyen los siguientes parámetros:

- Condiciones de operación tal como Co, concentración de metal a la entrada (mg dm^{-3}); t, tiempo (minutos); Q, velocidad de flujo ($\text{dm}^{-3} \text{min}^{-1}$).

- Propiedades físicas del bioadsorbente tales como ρ_{ads} , densidad (mg dm^{-3});
- Características de la columna empacada tales como diámetro interno (dm), A, área de sección transversal (dm^2), ε , porosidad; z longitud de cama en la columna (dm); v, velocidad del agua en el poro, $v = Q/A\varepsilon$ (dm min^{-1}).

El modelo propuesto fue validado utilizando los datos experimentales de la adsorción de Cr(IV) sobre la biomasa de agave lechuguilla, utilizando el diagrama

experimental presentado en la figura 4 y bajo las condiciones experimentales que se muestran en la Tabla 1. Los datos experimentales se muestran graficados en la figura 5. Los datos generados por el modelo fueron generados mediante el uso de el programa de computación *Mathematica* 4.1 (Wolfram Research, Inc.).

La comparación de los datos experimentales y los generados por el modelo propuesto se muestran en la Figura 6.

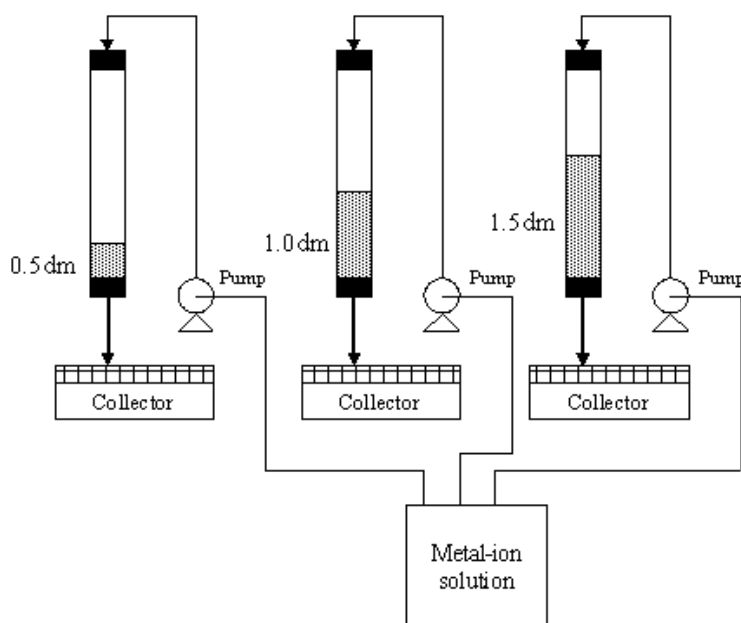


Figura 4. El diagrama esquemático del dispositivo experimental de laboratorio la validación del modelo propuesto para la bioadsorción del Cr(VI).

Tabla 1: Las condiciones operacionales de las columnas experimentales para el Cr(VI)

Metal de entrada	Cr(VI)
Bioadsorbente	Agave lechuguilla
Concentración de entrada, C_0	4.0 mg dm^{-3}
Flujos, Q	$1, 2, 3 (10^{-3}) \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$
Densidad de la lechuguilla, ρ_{ads}	$8.7 (10^5) \text{ mg dm}^{-3}$
Diámetro interno de las columnas	0.07 dm
Porosidad del lecho, ε	0.25
Longitud del lecho fijo, z	$0.5, 1, 1.5 \text{ dm}$
pH	$\text{pH } 2$

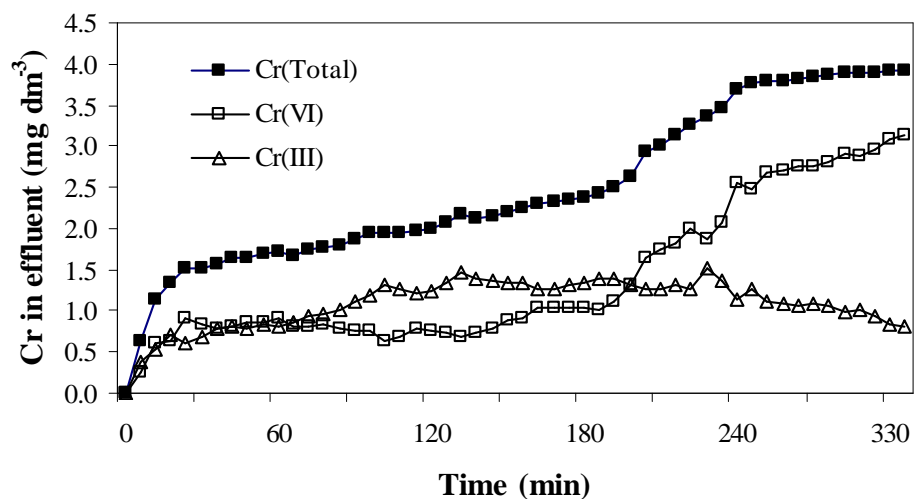


Figura 5. Curvas de bioadsorción para la especie del cromo en el efluente de la columna con una la longitud de la cama de 1.5 dm , $10^{-3} \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ el flujo, 4 mg dm^{-3} concentración y $\text{pH } 2$.

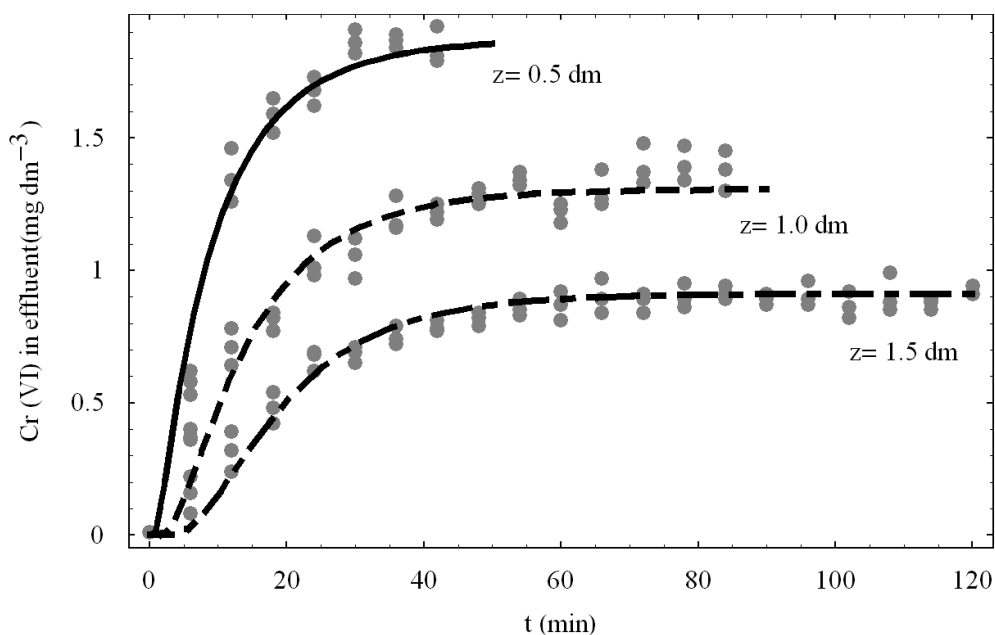


Figura 6: Comparación de los datos experimentales de la absorción del Cr(VI) por la biomasa de agave lechuguilla con los resultados experimentales. Los perfiles obtenidos con el modelo propuesto se presentan con diversas líneas y los puntos denotan los valores experimentales para las longitudes de la cama de (—) 0.5, (---) 1, y (- - -) 1.5 dm; flujo, $10^{-3} \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$; pH 2, y Co, 4 mg dm^{-3} .

La comparación de los resultados experimentales obtenidos con los generados por el modelo propuesto valida adecuadamente su efectividad.

Conclusiones

El modelo propuesto y la solución analítica del mismo mediante el uso de las transformadas de Laplace es una excelente herramienta para el futuro diseño y operación de columnas de lecho fijo para la remoción y reducción química del Cr(VI).

La habilidad desarrollada en la aplicación de conceptos matemáticos para la interpretación y generación de un modelo de transferencia de masa en el complejo proceso de la bioadsorción fue excelente. Además fortalece con ello la formación profesional del futuro profesionista del área de las matemáticas.

Referencias

- Abramowitz M. and Stegun I. 1970. *Handbook of Mathematical Functions*, Dover Publications, Inc., New York.
- Acosta, I., X. Rodríguez, C. Gutiérrez y M.G. Moctezuma-Zarate. 2004. Biosorption of Chromium (VI) from aqueous solutions onto fungal biomass, *Bioinorganic Chemistry Applications*: 2 (1,2) 1-7.
- Álvarez, S.G., M. Maldonado, M. Gerth, y P. Kusch, 2004. Caracterización de agua residual de curtiduría y estudio del lirio acuático en la recuperación de Cromo, *Inf. Tecnol*: 15 (3), 75-80.
- Atkinson, B.W. Bux F. and Kasan Hc. 1998. *Considerations for application of biosorption technology to remediate metal-contaminated industrial effluents*. Elsevier Science, Vol 24, No 2, pp. 129-135.
- Ataie-Ashtiani, B., Lockington and D.A., Volker, R.E. 1999. Truncation errors in finite difference models for solute transport equation with first-order reaction. *Journal of Contaminant Hydrology* 35, 409-428.
- Bishnoi, N. R.; Bajaj, M.; Sharma, N.; Gupta, A. 2004. Adsorption of Cr(VI) on activated rice husk carbon and activated alumina. *Bioresource Technol.*, 91 (3), 305-307.
- Bohart, G. and Adams, E.Q. 1920. Some aspects of the behavior of charcoal with respect to chlorine. *Journal of American Chemical Society* 42, 523-544.
- Brian, B.F., Zwiebel, I and Artigue, R. S. 1987. Numerical Simulation of Fixed-Bed Adsorption Dynamics by the Method of Lines, *AICHE symp. Series*, 83 (259), 80-86.
- Campos, J., M. Martínez-Pacheco y C. Cervantes. 1995. Hexavalent chromium reduction by a chromate-resistant *Bacillus* sp strain, *Antonie van Leeuwenhoek*: 68, 203-208.
- Carslaw, H.S. & Jaeger, J.C. 1959. *Conduction of Heat in Solids*. London: Oxford at the Clarendon Press.
- Chen, T.L. and Hsu J.T. 1987. Prediction of Breakthrough Curves by the application of fast fourier transform, *AICHE Journal*, 33 (8) 1387-1390.
- Cervantes, C., J. Campos-García, S. Devars, F. Gutiérrez-Corona, H. Loza-Tavera, J.C. Torres-Guzmán y R. Moreno-Sánchez. 2001. Interactions of chromium with microorganisms and plants, *FEMS Microbiology Review* 25, 333-347.
- Clark, R.M. 1987. Evaluating the cost and performance of field-scale granular activated carbon systems. *Environmental Science and Technology* 21, 573-580.
- Cotton, F.A. y G. Wilkinson. 1980. *Advanced Inorganic Chemistry*, 4^a Ed. Chichester, Uk; John Wiley&Sons.
- Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Armendáriz, V., Bess-Oberto, L., Chianelli, R.R., Rios, J., Parsons J.G. and Gamez G. 2000. Characterization of Cr(VI) binding and reduction to Cr(III) by the agricultural byproducts of *Avena monida* (Oat) biomass. *Journal of Hazardous Materials* 80, 175- 88.
- Garg, V. K., Gupta, R., Kumar, R. and Gupta, R. 2004. Adsorption of chromium from aqueous solution on treated sawdust. *Bioresource Technology* 92: 79-81.
- Hamed, A.M. 2002. Theoretical and experimental study on the transient adsorption characteristics of a vertical packed porous bed. *Renewable Energy* 27, 525-541.
- Hossain, M.A. 1999. Modeling advective-dispersive transport with reaction: an accurate explicit finite difference model. *Applied Mathematics and Computation* 102, 101-108.
- Hossain, M.A. and M.E. Barber. 2000. Optimized Petrov-Galerkin Model for Advective-Dispersive Transport, *Applied Mathematics and Computation*, 115:1-10.
- Hossain, M.A. and M.R. Taha. 2000. Simulating Advective-Dispersive Transport by Finite Elements: Criteria for Accuracy of

an Explicit Runge-Kutta Method. *Applied Mathematics and Computation*, 112:309-316.

Johnson, G.W. and Kapner, R.S. 1990. The dependence of axial dispersion on non-uniform flows in bed of uniform packing. *Chemical Engineering Science* 45, 3329-3339.

Kraft, A. y Zuber A. 1978. On the physical meaning of the dispersion equation and its solutions for different initial and boundary conditions, *Chem. Eng. Sci.* 33, 1471-1480.

Kratochvil, D., Pimentel, P. and Volesky, B. 1998. Removal of trivalent and hexavalent chromium by seaweed biosorbent. *Environmental Science and Technology* 32, 2693-2698.

Lindstrom F.T., Haque R., Freed V.H. and Boersma L. 1967. Theory on the movement of some herbicides in soils, Linear diffusion and convection of chemicals in soils, *Environ. Sci. Technol.* 1, pp. 561-565.

Lehmann, M., Zouboulis, A.I. and Matis, K.A. 2001. Modelling the adsorption of metals from aqueous solution on goethite fixedbeds. *Environmental Pollution* 113, 121-128.

Losi, M.E., C. Amrhein, y W.T. Frankenberger. 1994. Environmental biochemistry of Chromium, *Rev Environ Contam Toxicol*: 136, 91-131.

Mabbett, A., Y. Ping, J. Peter, G. Farr, y L. Macaskie. 2004. Reduction of Cr (VI) by "palladized" biomass of *Desulfovibrio desulfuricans* ATCC 29577, *Biotechnology and Bioengineering*, 87 (1), 104-109.

McLean, J. y T.J. Beveridge. 2001. Chromate reduction by a pseudomonad isolated from a site contaminated with chromated copper arsenate, *Appl Environ Microbiol*: 67, 1076-1084.

Ogata, A., and R.B. Banks. 1961. A solution of the differential equation of longitudinal dispersion in porous media,

United States Geological Survey, Professional Paper No. 411-A.

Parker J.C. y van Genuchten, M.Th. 1984. Flux-Averaged and Volume-Averaged Concentrations in Continuum Approaches to Solute Transport. *Water. Resour. Res.*, 20, 866-872.

Raghavan, N.S., and Ruthven, D.M. 1983. Numerical Simulation of a Fixed-Bed Adsorption Column by Method of Orthogonal Collocation, *AIChE Journal*, 29 (6) 922-925

Ramírez-Ramírez, R., C. Calvo-Méndez, M. A. Avila-Rodríguez, P. Lappe, M. Ulloa, R. Vázquez-Juárez y J.F. Gutiérrez-Corona. 2004. Cr(VI) reduction in a Chromate-resistant strain of *Candida maltosa* isolated from the leather industry, *Antonie van Leeuwenhoek*: 85, 63-68.

Ruthven D.M. 1985. *Principles of adsorption and Adsorption Process*, John Wiley and Sons.

Rasmuson, A. and Neretnieks, I., 1980 Exact solution of a model for diffusion in particles and longitudinal dispersion in packed beds, *AIChE Journal* 29(4), 686-690.

Romero-González J., Cano-Rodríguez I, Walton J.C., Peralta-Videa J. R., Rodríguez E.

y Gardea-Torresdey J. L.. 2005. A model to describe the adsorption and reduction of Cr (VI). From an aqueous solution by agave lechuguilla biomass. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* vol. 4 , 261-272

Serrano, S.E. 2001. Solute transport under nonlinear sorption and decay. *Water Research* 35, 1525-1533.

Sağ, Y. and Aktay, Y. 2001. Application of equilibrium and mass transfer model to dynamic removal of Cr(VI) ions by Chitin in packed column reactor. *Process Biochemistry* 36, 1187-1197.

Sauty J.P. 1980. An analysis of hydrodispersive transfer in aquifers, *Wat. Resour. Res.* 16 (1), pp. 145-158

Van Zee, G., Veenstra, R. and de Graauw, J. 1995. Axial dispersion in packed

fiber beds. *The Chemical Engineering Journal* and the *Biochemical Engineering Journal*, 58, 245-250.

Van Genuchten, M.Th. 1981. Analytical solutions for chemical transport with simultaneous adsorption, zero-order production and first-order decay. *Journal of Hydrology* 49, 213-233.

Van Genuchten, M. Th. and Alves W. J.. 1982. Analytical Solutions of the One-Dimensional Convective-Dispersive Solute Transport Equation. United States Department of Agriculture, *Agricultural Research Service, Technical Bulletin* 1661.

Veglio, F., Beolchini, F. 1997. Removal of toxic metals by biosorption: a review. *Hydrometallurgy*, 44, 301-316.

Viti, C., A. Pace, y L. Giovenetti. 2003. Characterization of Cr(VI)-resistant

bacteria isolated from Chromium-contaminated soil by tannery activity, *Current Microbiology*: 46, 1-5.

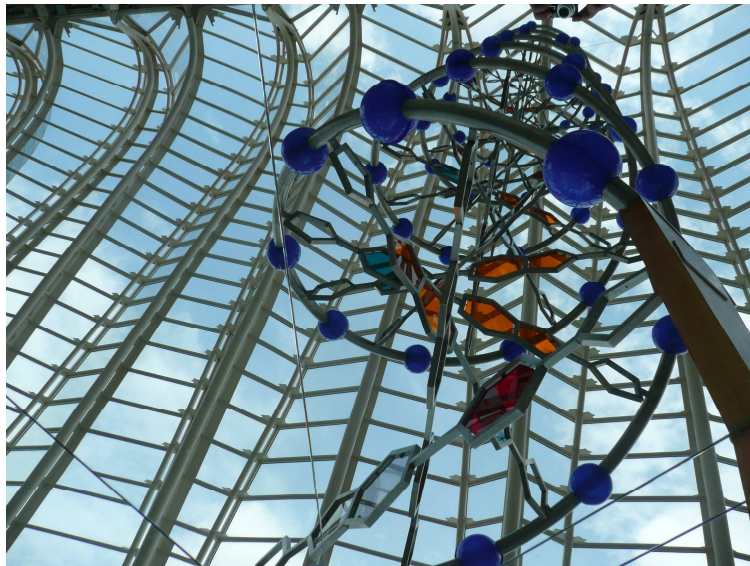
Volesky, B. 2001. Detoxification of metal-bearing effluents: Biosorption for the next century *Hydrometallurgy* 59 (2-3) , 203-216.

Volesky, B. 2003 *Sorption and Biosorption, BV Sorbex*, Montreal, Canada.

Yang, r.T. 1987. *Gas separation by adsorption processes*, Butter-worths series in Chemical Engineering.

Zhang, H., Cheng, D. 2000. Mathematical model for a fixed bed adsorptive reactor. *Carbon* 38, 877-880.

Zouboulis, A.I., K.A. Kydros y K.A. 1995. Matis. Removal of hexavalent Chromium anions from solutions by pyrite fines, *Wat Res*: 29 (7), 1755-1760.



MODELADO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE TIPO PEM

Néstor Ramírez Morales¹ Gabriel Izaguirre Maya¹ Nidia Fernanda Trujillo Sánchez²

¹ Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura
Universidad Autónoma de Cd. Juárez

²Pontificia Universidad Javeriana

Resumen

El presente trabajo muestra los resultados de un modelado de una celda de combustible tipo PEM usando el programa de MATLAB. La idea del trabajo nace de la necesidad de investigar y analizar nuevas fuentes de generación de energía para obtener electricidad. Por ello, el objetivo del trabajo consiste en generar un modelo matemático, es decir, un programa en código M que grafique el comportamiento característico de la celda de combustible, para ello se considerando las variables de temperatura de operación, densidad de corriente, presión de los reactantes y resistencia interna de la celda.

Palabras clave: Celda de combustible PEM, modelación

Introducción

Actualmente se emplean combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, los cuales arrojan a la atmósfera emisiones de gases de efecto invernadero y en consecuencia se genera contaminación del medio ambiente, es por ello que hoy en día las energías renovables y de manera muy particular las celdas de combustible son consideradas una forma alternativa de generación muy versátil, esto se debe a que una de sus principales características es que producen emisiones mínimas de contaminantes y al no ser una máquina térmica, ésta, no está limitada por el ciclo

de Carnot, que se define como un ciclo termodinámico ideal reversible entre dos fuentes de temperatura, en el cual el rendimiento es máximo y consta de cuatro etapas a saber: dos a temperatura constante (dos procesos isotérmicos), y otros dos sin absorción ni cesión de calor (dos procesos adiabáticos), lo cual favorece, porque permite tener una mayor eficacia de conversión, mucho más grande que la que puede conseguir un generador térmico (Domínguez, 2002). De ahí, que la eficiencia de las celdas de combustible varían de acuerdo a su tipo y diseño y son del 40% al 60%.

El tema encuentra justificación en el hecho que las celdas de combustible representan una gran alternativa de generación de energía eléctrica; en años recientes se ha incrementado la investigación y el desarrollo tecnológico, que sin duda vendrá a dar un giro interesante en el tema de generación de energía eléctrica. Dada la preocupación por la disponibilidad de los recursos no renovables (petróleo y sus derivados), se han realizado investigaciones con el fin de desarrollar nuevas formas de generación de energía eléctrica, que por una parte permitan seguir generando energía eléctrica de buena calidad (Ramírez, 2004).

Planteamiento del problema

La celda de combustible tipo PEM es un dispositivo capaz de generar electricidad a partir del hidrógeno (proveniente de diversas fuentes) y oxígeno de la atmósfera, produciendo como resultado calor y agua. El voltaje ideal o valor teórico de la celda de combustible es lineal, pero en la práctica el voltaje es menor de lo esperado teóricamente, dado que al comenzar su funcionamiento se produce una rápida caída de voltaje, una vez estabilizado éste, continua cayendo

lentamente, entre más demanda de corriente exista el voltaje cae rápidamente. En condiciones reales, intervienen factores que no se tomaron en cuenta en el análisis inicial, por lo tanto influyen en la salida de voltaje de la celda de combustible.

Los factores son básicamente pérdidas que se denominan polarizaciones a saber: Polarización de Activación, Polarización Ohmica o Resistiva y Polarización de Concentración. Es por ello que para resolver lo anterior es muy útil el modelado para entender el funcionamiento de la celda de combustible.

Antecedentes

El científico galés Sir William Robert Grove (1811-1896), considerado generalmente el padre de la celda de combustible, usando sus propios recursos monetarios y gran cantidad de platino, desarrolló un sistema basado en celdas de combustible/electrólisis usando electrodos de platino. La manera en que operaba su sistema fue la siguiente: inicialmente se sometió el sistema a un proceso de electrólisis, aplicando electricidad a una solución electrolítica de

ácido sulfúrico y agua, mediante el cual obtuvo hidrógeno y oxígeno.

Cuando se dejó de suministrar corriente eléctrica, el proceso de electrólisis se detuvo y el sistema se conectó a las terminales de unas celdas dispuestas en arreglo serie y el hidrógeno y oxígeno reaccionaron y el resultado fue la obtención de corriente eléctrica y agua. La figura 1 muestra la celda desarrollada por Grove. (Larminie, 2003; Castillo, 1999).

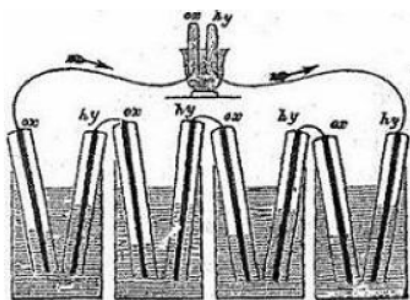


Figura 1. Celda Experimental de Grove

En 1898 W. Nernst sugirió que el sistema de celda de combustible, se basara en una reacción electroquímica tipo REDOX (oxidación - reducción), la cual puede tener más flexibilidad y más opciones de reactivos. Posteriormente en 1930 Francois Bacon de la Universidad de Cambridge en Inglaterra, utilizó sistemas alcalinos que no usaban metales nobles como catalizadores. En sus

experimentos encontró que los electrodos elaborados de níquel eran buenos catalizadores de las reacciones electroquímicas del hidrógeno y oxígeno, además observó que el desempeño de la celda se mejoraba mediante el incremento en la presión de alimentación de los reactivos, todo esto lo obtuvo por medio de pruebas que realizó a 40 atmósferas. En consecuencia, para mantener una baja presión diferencial en celdas de gran diámetro se emplearon electrodos de doble porosidad. La celda se muestra en la Figura 2. (Larminie, 2003; Castillo, 1999)



Figura 2. Sistema Alcalino de Bacon

Funcionamiento de una celda de combustible

La celda de combustible transforma la energía química en energía eléctrica, la obtención de electricidad se da sin la necesidad de ningún proceso de combustión. La estructura física de una

celda de combustible consiste en una capa de electrólito (que es una sustancia que contiene iones libres, que se comporta como un medio conductor eléctrico) en contacto con dos electrodos, uno positivo (el cátodo), y uno negativo (el ánodo), los electrodos disponen de una conexión eléctrica entre ambos electrodos, tal y como se muestra en la Figura 3.

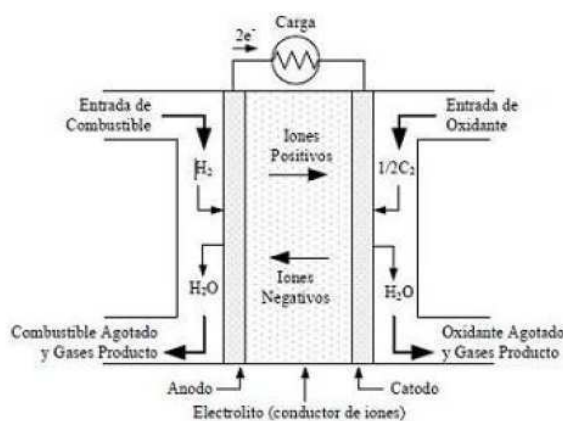
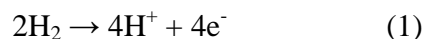


Figura 3. Diagrama Esquemático de una celda de combustible

La celda de combustible funciona de forma similar a una batería, su funcionamiento está basado en las reacciones electroquímicas entre un combustible que es el hidrógeno y un oxidante que es el oxígeno. El hidrógeno fluye a través de los canales de alimentación del ánodo y se difunde a través de la capa de difusión del mismo y alcanza la capa catalizadora donde es oxidado liberando con ello protones y

electrones, la reacción que ocurre se muestra en la ecuación 1. (Domínguez, 2002)



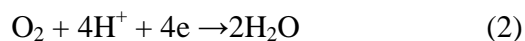
Donde:

H₂: Hidrógeno en estado gaseoso.

H⁺: Protón de Hidrógeno.

e⁻: Electrón de Hidrógeno.

Los electrones liberados no pueden atravesar la membrana y por tanto son conducidos a través de la capa catalizadora del ánodo y llegan al cátodo por el circuito externo, los protones son transportados a través de la membrana hacia la capa catalizadora del cátodo, a su vez el oxígeno entra en los canales de alimentación del cátodo y se difunde a través de la capa de difusión del mismo hacia la capa catalizadora donde reacciona con los protones y electrones del hidrógeno para formar agua. La reacción se resume en las siguientes ecuaciones:



Donde:

O₂: Oxígeno en estado gaseoso.

H⁺: Protón de Hidrógeno.

e^- : Electrón de Hidrógeno.

H_2O : Agua.

La reacción global que ocurre en la celda es:



Donde:

H_2 : Hidrógeno en estado gaseoso.

O_2 : Oxígeno en estado gaseoso.

H_2O : Agua.

Las reacciones antes descritas son las reacciones básicas para poder comprender el funcionamiento de la celda de combustible.

Tipos de celdas de combustible

Existe una gran variedad de celdas de combustible y se clasifican de acuerdo a las siguientes características: tipo de uso, tipo de combinación de combustible, Electrolito utilizado, temperatura de operación, potencia generada (EG&G, 2000). La temperatura de operación en la celda de combustible se considera uno de los parámetros de mayor importancia, ya que repercute directamente en el tipo de combustible que puede emplearse. En las celdas de baja temperatura con electrolitos acuosos, el combustible que predomina es el hidrógeno, en cambio en

las celdas de alta temperatura existe más diversidad en el uso de combustibles, lo cual se debe a su rapidez en la cinética de reacción y a una menor necesidad de actividad catalizadora en reacciones a altas temperaturas. De acuerdo al Manual de celdas de combustible (EG&G, 2000) la clasificación más generalizada es la relacionada con el tipo de electrolito usado.

Trabajos previos

Dentro de este contexto, cabe mencionar que existen trabajos previos sobre el modelado de una celda de combustible, por ejemplo (C.R Bordallo, C. Garcia, J. Brey de Hynergreen Technologies y J.M. Maza, 2007) del departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Sevilla en su artículo Modelado dinámico de una celda de combustible tipo PEM para aplicaciones residenciales, presentaron un trabajo el cual consiste en un modelo simple para una celda de combustible PEM de 250 W, tomando en cuenta un polinomio de aproximación a su estado de equilibrio, las ecuaciones que se utilizan para el modelo consisten en: La difusión del gas en los electrodos, ecuaciones de conservación de material, ecuación de

Nernst, voltaje de salida y las pérdidas óhmicas. Se tomaron medidas para ajustar

el comportamiento estacionario de la celda para su curva característica.

Tabla 1. Tipos de celdas de combustible de acuerdo a su temperatura de operación

Tipo de celda y tipo de electrolito usado	Abreviatura	Electrolito empleado	Valor aproximado de temperatura de operación
Celda de combustible de electrolito polimérico	PEMFC	Membrana de intercambio protónico	50°C - 80°C
Celda de combustible tipo alcalina	AFC	Hidróxido de potasio	250°C
Celda de combustible de ácido fosfórico	PAFC	Ácido fosfórico	220°C.
Celda de combustible de carbonato fundido	MCFC	Carbonato fundido (líquido)	650°C
Celda de combustible de óxido sólido	SOFC	Cerámico	800°C – 1000°C

Metodología

Esta investigación implica desarrollar un modelo computacional basado en MATLAB, lo cual es muy importante, ya que con ello se obtienen resultados, los cuales proyectan una perspectiva de la forma en que se comporta una celda de combustible, para que con esto se puedan analizar los factores más importantes en la dinámica de funcionamiento de la celda de combustible para que finalmente se realice un análisis de los resultados obtenidos y obtener conclusiones.

El programa que se realizó en MATLAB para implementar el modelo necesita de ciertos parámetros para dar

como resultado dos gráficas, la primera de ellas, consiste en la curva de polarización de la celda de combustible; la segunda, corresponde a la potencia generada en la celda de combustible. Los parámetros que se requieren para que el modelo funcione son: temperatura de operación, densidad de corriente de intercambio, densidad de corriente límite, presión, área de la celda, número de celdas y resistencia interna. Se realizaron varias pruebas utilizando valores típicos de una celda de combustible tipo PEM.

La metodología para el desarrollo de este trabajo consta de los pasos siguientes:

1. Familiarización con el funcionamiento de la celda de combustible.
2. Desarrollo del modelo de la celda de combustible.
3. Diseño de un programa en MATLAB utilizando el modelo que represente el comportamiento de la celda de combustible.
4. Obtención de resultados y corrección de errores.

El desempeño ideal de la celda de combustible

El rendimiento ideal de una celda de combustible está definido por la ecuación de Nernst, la cual provee la relación entre el potencial estándar ideal (E^0) para la reacción de la celda y el potencial de equilibrio ideal (E). A continuación se muestra la ecuación de Nernst: (Larminie, 2003)

$$E_{Nernst} = E^0 + \frac{\Delta S}{2F}(T - T_{Ref}) + \frac{RT}{2F}[\ln(P_{H_2}) + \ln(P_{O_2}^{\frac{1}{2}})] \quad (4)$$

Donde:

E^0 : Potencial de equilibrio.

F : Constante de Faraday = 96485.5 C/mol

ΔS : Cambio en la entropía (J/mol K)

$(P_{H_2}); (P_{O_2})$: Presión de gas del hidrógeno y oxígeno respectivamente (atm).

R : Constante de gas universal = 8.31452 J/mol*K.

T : Temperatura de Operación de la Celda de Combustible (K).

T_{Ref} : Temperatura de referencia (K).

El potencial entre los electrodos definido como E^0 se define como la medida cuantitativa del máximo potencial de la celda, voltaje a circuito abierto, y está definido por la siguiente fórmula (Grimes, 2000):

$$E^0 = \frac{-\Delta g_f}{2F} \quad (5)$$

Donde:

Δg_f : Cambio en la energía libre de Gibbs de formación (El signo negativo en la ecuación indica pérdida de energía)

F : Constante de Faraday. (La carga presente en un mol de electrones).

Utilizando valores asociados para el modelo electroquímico de la celda de combustible tipo PEM, la ecuación de Nernst queda de la siguiente manera:

$$E_{Nernst} = 1.229 - 8.4587 \times 10^{-4}(T - 298.15) + 4.3086 \times 10^{-5} T [\ln(P_{H_2}) + \ln(P_{O_2}^{\frac{1}{2}})] \quad (6)$$

El potencial estándar ideal E^0 de una celda de combustible en la cual reaccionan H_2 y O_2 es de 1.229 volts con agua en estado líquido y 1.18 volts con agua en estado gaseoso (Larminie, 2003). El potencial de la celda representa el cambio en la energía libre de Gibbs, resultado de la reacción del hidrógeno y del oxígeno. En la figura 4 se muestra la relación que guarda el potencial ideal E^0 con la temperatura de operación de la celda, el potencial de la celda a alta temperatura que corresponde a la reacción donde el agua está en estado gaseoso, el valor de potencial a condiciones estándar es 1.18 volts.

Voltaje En la Celda de Combustible

El valor teórico de la celda de combustible a circuito abierto se determina por la siguiente ecuación:

$$E = \frac{E_{\Delta G}}{2F} \quad (7)$$

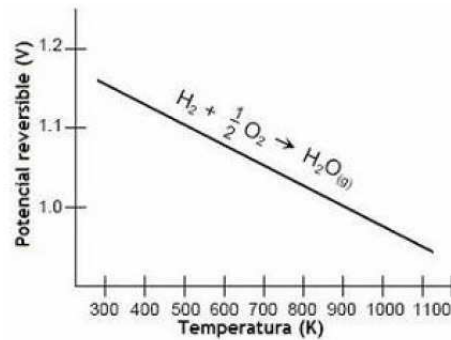


Figura 4. Potencial ideal de la celda de combustible

El voltaje que ofrece la celda de combustible tipo PEM por debajo de los $100^\circ C$ es de aproximadamente 1.22 V, sin embargo, al momento de construir y poner en funcionamiento la celda, se observa que el valor del voltaje es menor. La figura 5 muestra el comportamiento general de la celda de combustible, conocida también como curva de polarización.

Los puntos clave que describen la gráfica anterior son:

- Región 1 (Polarización de Activación): Al inicio el voltaje a circuito abierto es menor que el valor teórico, se produce una caída de voltaje no lineal.
- Región 2 (Polarización Óhmica o Resistiva): El voltaje cae lentamente, se puede considerar lineal.

- Región 3 (Polarización por Concentración o Transporte de Masa): Se produce nuevamente una caída de voltaje.

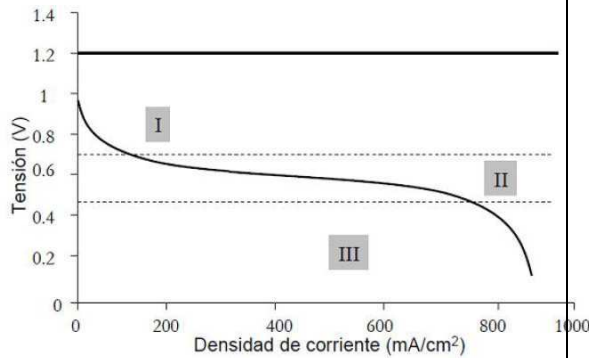


Figura 5. Curva de Polarización de Celda de Combustible Tipo PEM

Con base a lo anterior, la ecuación que determina el voltaje para la celda de combustible es:

$$E_{C.C} = E_{Nernst} - V_{Act} - V_{Ohm} - V_{Con} \quad (8)$$

Donde:

$E_{C.C}$: Voltaje de la Celda de Combustible.

E_{Nernst} : Potencial termodinámico de la celda.

V_{Act} : Polarización de Activación.

V_{Ohm} : Polarización Óhmica.

V_{Con} : Representa la caída de voltaje que resulta de la concentración o transporte de masas de hidrógeno y oxígeno.

Resultados

En este apartado se dan a conocer las diversas pruebas realizadas, las cuales incluyen los parámetros a considerar de acuerdo a las características del programa implementando y los resultados obtenidos del modelo propuesto, con el objetivo de comparar los resultados y dar conclusiones.

Prueba 1

La primer prueba que se desarrolló fue utilizando diversos valores para determinar si el modelo propuesto genera la curva característica de la celda de combustible tipo PEM, el primer valor es: $T = 25^{\circ}\text{C}$; $A = 25\text{cm}^2$; $j_1 = 1.4\text{A}/\text{cm}^2$; $j_0 = 10^{-2}$. La figura 6 muestra las gráficas de la curva de polarización de la celda de combustible en función de la densidad de corriente (j) y la potencia generada en función de la misma densidad de corriente.

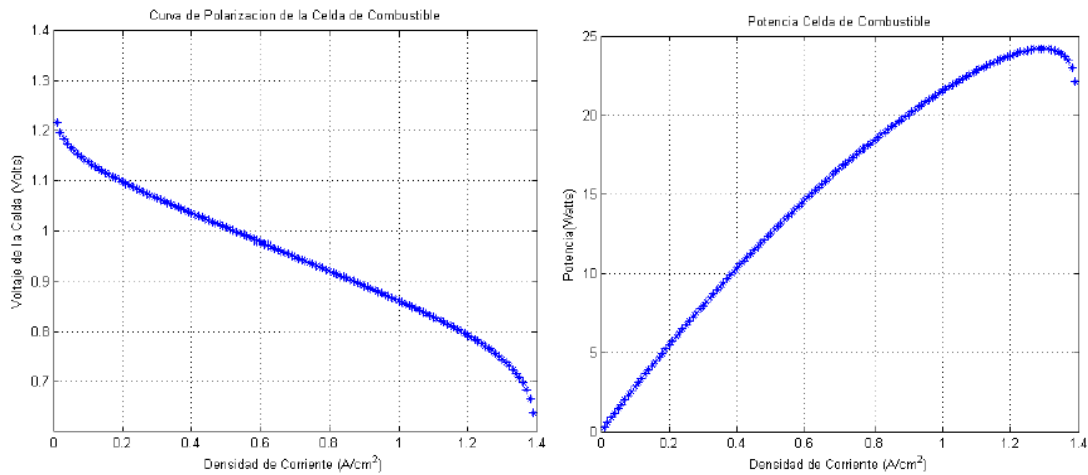


Figura 5. Gráficas de voltaje y potencia genera en la celda de combustible de la prueba 1

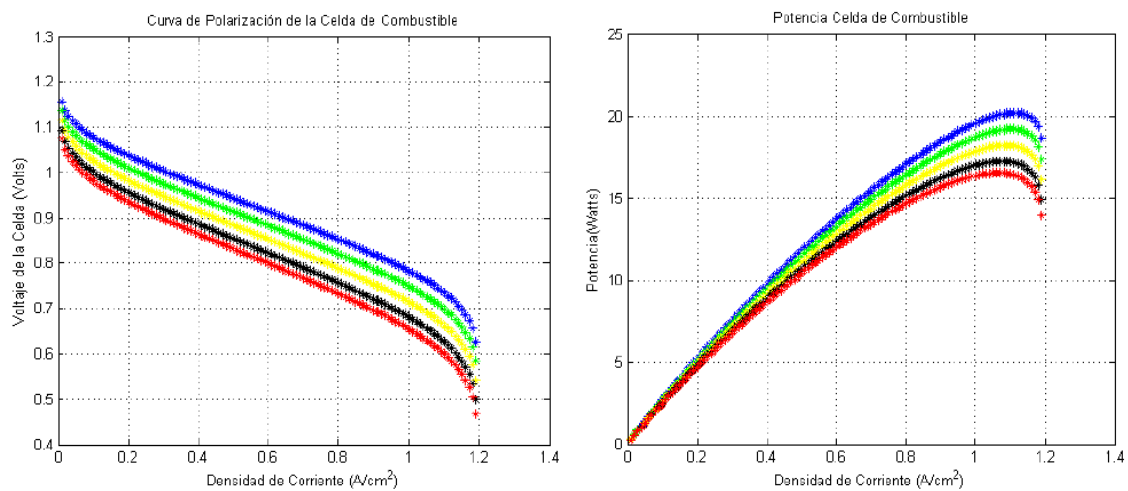


Figura 6. Gráficas de voltaje y potencia genera en la celda de combustible de la prueba 2

Las graficas anteriores muestran en una primera instancia, el perfil del voltaje de salida que se obtiene de la celda de acuerdo a los parámetros establecidos y la segunda grafica muestra el perfil de potencia que se consume la celda (en watts)

Prueba 2

La segunda prueba consistió en variar la temperatura, la tabla 2 muestra los valores del voltaje y potencia obtenidos en la segunda prueba realizada.

Tabla 2. Valores de temperatura para la prueba 2

$Temperatura\ ^\circ C$	$V_{Inicial}\ V$	$V_{medio}\ V$	$V_{final}\ V$	$P_{Inicial}\ W$	$P_{Maxima}\ W$	$P_{Final}\ W$
25 azul	1.1575	0.9168	0.6263	0.2893	20.2028	18.6343
45 verde	1.1359	0.8864	0.5841	0.2839	19.1990	17.3798
65 amarillo	1.1143	0.8561	0.5420	0.2785	18.2138	16.1254
85 negro	1.0928	0.8258	16.1254	0.2732	17.2474	14.8709
100 rojo	1.0766	0.8030	0.4682	0.2691	16.5361	13.9300

Prueba 3

La tercera prueba consiste en variar la resistencia interna de la celda, la tabla 3

muestra los valores del voltaje y potencia obtenidos para dicha prueba realizada:

Tabla 3. Valores de resistencia para la prueba 3

$R_{interna}\ \Omega cm^2$	$V_{Inicial}\ V$	$V_{medio}\ V$	$V_{final}\ V$	$P_{Inicial}\ W$	$P_{Maxima}\ W$	$P_{Final}\ W$
.01 azul	1.1593	1.0230	0.8405	0.2898	25.9862	25.0068
.1 verde	1.1584	0.9699	0.7334	0.2896	23.0460	21.8205
.3 amarillo	1.1564	0.8519	0.4954	0.2891	16.9373	14.7400
.5 negro	1.1544	0.7339	0.2574	0.2886	12.1857	7.6595

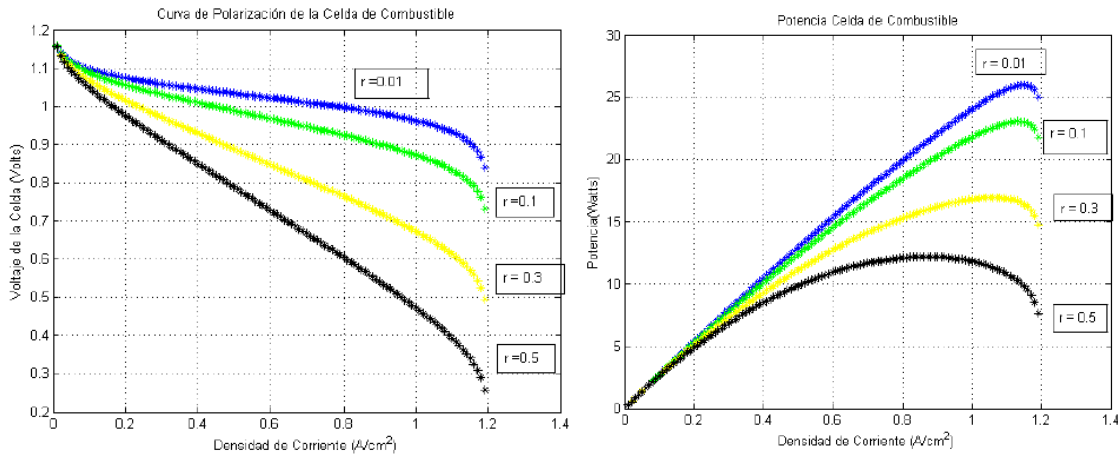


Figura 6. Gráficas de voltaje y potencia genera en la celda de combustible de la prueba 3

Las graficas anteriores muestran el perfil de voltaje de salida de la celda de acuerdo a los valores de la resistencia interna de la celda, de la cual se propusieron diferentes

valores (ver tabla 3) y la segunda grafica son los correspondientes valores en watts de la grafica de potencia de la celda de combustible

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el modelo son fundamentales para el diseño de una celda de combustible ya que muestra los efectos que causan los factores que influyen en el desempeño de la celda, a continuación se menciona lo anteriormente dicho:

- **Temperatura:** Afecta el desempeño de la celda de combustible ya que conforme aumenta la temperatura de operación el voltaje y potencia se va reduciendo, por lo que se recomienda contar con un dispositivo que mantenga la temperatura de operación estable.
- **Resistencia Interna:** Entre mayor resistencia tenga la celda de combustible más rápido cae el voltaje, por lo que se recomienda trabajar con resistencias internas bajas.
- **Densidad de Corriente de Intercambio:** A mayor densidad de corriente de intercambio menor es la pérdida de voltaje, y como la densidad de corriente de intercambio depende de la composición del electrodo, el estado de la superficie del

electrodo y la concentración de los reactantes, la composición del electrólito, y la temperatura. Se recomienda tener en cuenta lo anterior para obtener densidad de corriente de intercambio alta.

- **Densidad de Corriente Límite:** A mayor densidad de corriente límite el voltaje decae hasta que alcanza ese valor.

Estas conclusiones que se obtienen de las diferentes pruebas se compararon con otros trabajos similares realizados por otros autores, los cuales emplearon consideraciones similares, por tanto los resultados obtenidos en estas pruebas concuerdan con otros resultados obtenidos de otras investigaciones similares, la contribución de este trabajo se centra en el hecho de que este tipo de modelado es de gran utilidad para considerar escenarios distintos y sobretodo considerar los circuitos electrónicos necesarios para acondicionar el voltaje de salida que se obtiene de la celda de combustible.

Referencias

Bordallo, C.R; García C., J. Brey; Maza J.M. 2007. Dynamic model and simulations of a PEM fuel cell for residential applications. España. *International Conference on renewable energies and power quality (ICREPQ'07)*, disponible en línea <http://www.icrepq.com/icrepq07/345-bordallo.pdf>

Castillo Cano, Ulises. 1999. Las Celdas de Combustible: verdades sobre generación de electricidad limpia y eficiente vía electroquímica. *México Boletín IIE*. Vol. 23. Número: 5.. [En línea]. [Accesado el 18 de enero del 2010]. Disponible en el World Wide Web: <http://www.iie.org.mx/reno99/apli.pdf>

Domínguez Sánchez, Juan José. 2002. Celdas de Combustible I. *Anales de Mecánica y Electricidad*. Vol. 79. Número: 2. Pags. 14 - 18.. [En línea]. [Accesado el 18 de enero del 2010] Disponible en el World Wide Web: www.icai.es/publicaciones/anales_get.php?id=619

EG&G Services Parsons, Inc. 2000. Science Applications International Corporation.

Fuel Cell Handbook, Estados Unidos. U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy National Energy Technology Laboratory. (5ª Edición). Pág. 1.1, 1.3, 1.4, 1.9, 1.10, 1.11, 1.12, 1.13

Grimes G. Patrick. 2000. Historical Pathways for Fuel Cells. Estados Unidos. *Battery Conference on Applications and Advances. The Fifteenth Annual*. pags. 41 - 45. [En línea]. [Accesado el 20 de enero del 2010]. Disponible en el World Wide Web: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=891972&userType=inst>

Larminie, James. Dicks, Andrew. 2003. *Fuel Cell Systems Explained*. Segunda Edición, Editorial Wiley. Estados Unidos.

Ramírez Morales, Néstor. 2004. *La Tecnología de Celdas de Combustible y su Interfase Electrónica de Potencia para Aplicaciones Domésticas e Industriales*. Tesis de Maestría, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

CULCyT

DESARROLLO DE DATOS ANTROPOMÉTRICOS PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ EN CIUDAD JUÁREZ

Aidé Maldonado-Macías, Roberto Romero, Juan J. Zapata, Erwin Martínez,
Salvador Noriega

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

En Ciudad Juárez existe una importante comunidad de niños con discapacidad motriz que requiere de un adecuado diseño de su entorno. Los datos antropométricos son valiosos en el sentido de que proveen al diseñador y/o ingeniero con información para el diseño de productos y espacios, considerando la estructura y función del cuerpo humano. Por lo tanto, esta investigación presenta el desarrollo de datos antropométricos obtenidos de niños con discapacidad motriz. Los objetivos de este estudio son desarrollar datos antropométricos con el fin de adecuar dimensionalmente el diseño y disposición de instalaciones, equipamiento, mobiliario escolar y terapéutico entre otros. Se obtuvo una muestra de 39 niños en un rango de 5 a 9 años de edad y fue considerada para la medición de 20 dimensiones antropométricas. Las mediciones obtenidas se muestran en tablas con las medias y distribución estándar de cada dimensión. Los percentiles 5, 50 y 95 también fueron obtenidos con el fin de facilitar el uso de la información con propósitos de diseño.

Palabras Clave: Datos Antropométricos, Niños, Discapacidad Motriz.

Introducción

De acuerdo a Tortosa *et al.*, (1999), la discapacidad se define como la restricción o ausencia para realizar una actividad. En el caso de la discapacidad motriz, existen restricciones psicomotoras para mantener una postura o mover partes del cuerpo con facilidad, precisión y eficiencia. La discapacidad motriz no es ajena a los niños, los cuales requieren de una atención especial y de una adecuada interacción con los elementos de su entorno. Como por ejemplo: mobiliario apropiado, productos, equipamiento e instalaciones que deben adecuarse a sus

capacidades y limitaciones. Esto favorecerá los resultados de terapias y actividades de aprendizaje de un modo más seguro, cómodo y eficiente.

La Antropometría trata con las medidas de las dimensiones y otras características físicas del cuerpo las cuales son relevantes para el diseño de los objetos que los seres humanos utilizan (Sanders y McCornick, 1993). Los datos antropométricos también pueden ser utilizados para relacionar importantes variables como el peso y el crecimiento del cuerpo humano para referencia histórica, como los que han sido

encontrados en la literatura en Farkas (2004) lo que pone de manifiesto la relevancia de este tipo de información. Sin embargo, de acuerdo con Ávila Chaurand *et al.* (2001) los datos antropométricos confiables son escasos en Latinoamérica, así como en nuestro país, la generalidad de ellos son muy localizados y con una orientación hacia la evaluación del crecimiento de los niños y a la comparación entre etnias o grupos. durante esta investigación, se realizó una búsqueda de estudios antropométricos con niños con discapacidad motriz y la escasez de este tipo de estudios también es evidente. En la siguiente sección se muestra información descriptiva acerca de la población de interés en este trabajo.

Población con Algún Tipo de Discapacidad en Ciudad Juárez

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

(INEGI) en el censo 2000, reporta que en Ciudad Juárez hay 100,932 personas que sufren de algún tipo de discapacidad, esto representa el 8.28% de la población total. Del total de personas que sufren algún tipo de discapacidad, la discapacidad motriz es la más frecuente en esta ciudad como se muestra en la Figura 1. En lo que se refiere a la población infantil, existen 129,398 niños en un rango de 5 a 9 años de edad, de los cuales una proporción de 0.2859% de ellos presentan una discapacidad motriz, es decir, 36,709 niños. Este último dato infiere que existe una cantidad significativa de niños que requiere atención especial para tratamientos, terapias y educación; por lo tanto, es conveniente desarrollar datos antropométricos adecuados a esta población para satisfacer sus requerimientos de diseño.

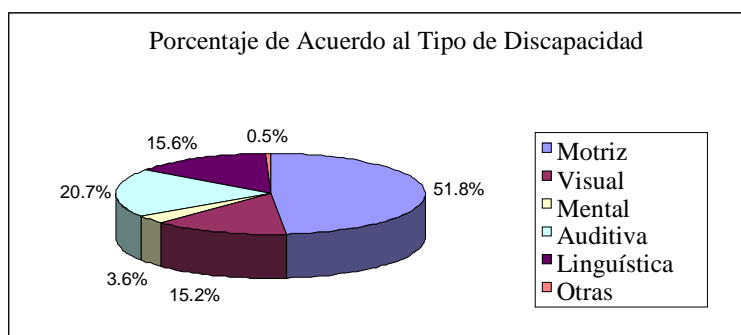


Figura 1. Porcentaje de Acuerdo al Tipo de Discapacidad

Revisión de literatura

Según Tortosa *et al.*, (1999), los niños con discapacidad motriz presentan deterioro del sistema neuro-motor que usualmente se manifiesta por debilidad muscular, falta de movilidad y flexibilidad, así como un desbalance corporal, poca agilidad física y una limitada capacidad motriz. Además, dolores musculares y articulares son comunes y generalizadas en estos niños, esto restringe su independencia y una más completa integración a la sociedad. De acuerdo a la Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH, 1999), y al Ministerio Español del Trabajo y Asuntos Sociales (1997), existe la necesidad de diseños de mobiliarios, instalaciones urbanas y equipamiento para estos niños con el fin de mejorar su movilidad y el acceso sin problemas a varios lugares como hospitales, escuelas, museos, aún en sus propios hogares y otros lugares. Por lo tanto, el desarrollo de datos antropométricos y de estudios ergonómicos son datos valiosos con los que los diseñadores y desarrolladores cuentan para el logro de este objetivo.

Conjuntamente, Peto (1989,1990), establece que en la discapacidad motriz el daño al sistema nervioso central es

agravado por la falta de cooperación de diferentes funciones. Y que datos apropiados deben obtenerse tomando en cuenta el propósito de uso y el contexto para el cual serán utilizados. El autor insiste que este problema puede verse mas como un reto educativo que como un problema biológico. Por lo tanto, los niños pueden desarrollar una evolución positiva en sus habilidades, capacidades y aprendizaje cuando las condiciones físicas y psicológicas son mejoradas. En este sentido, el desarrollo de estudios antropométricos en esta población favorecería el mejoramiento de estas condiciones.

Metodología

La metodología está basada en el estudio de proporciones del cuerpo humano aplicada a un estudio similar de antropometría para niños con discapacidad motriz realizado por el Instituto Tecnológico de Hermosillo (De la Vega, *et al.*, 1988). Las variables antropométricas fueron: Alcance hacia arriba (dedo), Alcance hacia arriba (puño), Altura Sentado, Altura al ojo sentado, Altura al hombro sentado, Alcance hacia abajo (dedo), Alcance hacia abajo (puño), Alcance hacia

adelante (dedo), Alcance hacia adelante (puño), Longitud de antebrazo-dedo, Longitud antebrazo-puño, Alcance Lateral (dedo), Alcance Lateral (puño), Profundidad de tronco, Longitud de mano, Longitud de palma de la mano, Ancho de palma de la mano, Circunferencia de la cabeza, Ancho de la cara y Ancho de la cabeza.

Una vez que el tamaño de muestra fue determinado para una proporción. Se utilizó una muestra basada en la proporción de individuos con la condición estudiada y se procedió a la obtención de medias aritméticas y desviación estándar con el propósito de determinar los percentiles más comunes para el diseño. A continuación se presentan los elementos de la metodología descrita.

Determinación del Tamaño de Muestra

El tamaño de la muestra aleatoria simple se determina a partir de la proporción de población infantil que tienen discapacidad motriz. Esta es la condición estudiada, de acuerdo con esto, la fórmula utilizada es la siguiente:

$$n = \frac{t^2 p(1-p)}{m^2} \quad (1)$$

Donde:

n = Tamaño requerido de la muestra

t = Nivel de confianza

p = Proporción estimada para la condición estudiada

m = Margen de error deseado

Procedimiento de Medición

En el desarrollo de los datos antropométricos, las mediciones se toman en la posición de sentado erecto. Esta postura descrita anteriormente es mostrada en la Figura 2, los niños se mantenían sentados en una silla de ruedas en todo momento para la obtención de las medidas necesarias. De acuerdo a las ilustraciones basadas en Panero y Zelnik (1979); la vista debe mantenerse siempre hacia el frente, los brazos relajados en su postura natural, y para algunas medidas es necesario tener antebrazos y manos extendidas hacia delante, los pies descansando en una superficie para permitir que las rodillas puedan ser flexionadas cerca de los 90°. La Figura 3 muestra las medidas para las dimensiones de la cabeza y la Figura 4 muestra las medidas para la mano. El lado derecho del cuerpo se usa para todas las

mediciones. En la posición sentado erecto, se toman las dimensiones de cada niño con el consentimiento y apoyo de los padres.

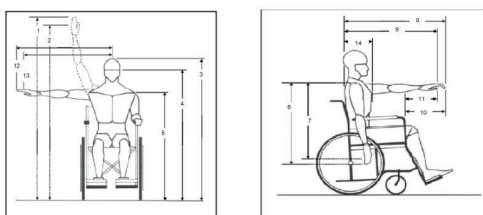


Figura 2. Medidas Antropométricas en Silla de Ruedas

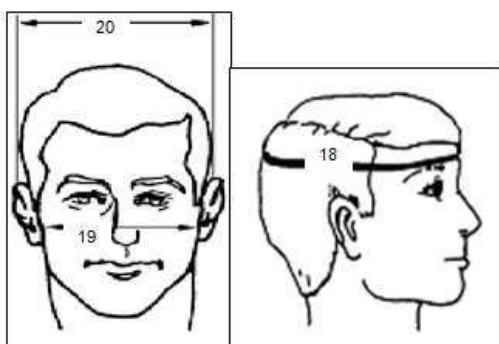


Figura 3. Medidas Antropométricas de la Cabeza

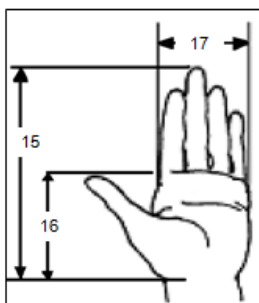


Figura 4. Medidas Antropométricas de la Mano

Cálculo de los Percentiles

De acuerdo con Panero y Zelnik (1979), la imposibilidad de diseñar para toda la población obliga al diseñador a elegir aquellas dimensiones en sus diseños que puedan satisfacer a una mayoría de individuos. Por regla general, la práctica totalidad de los datos antropométricos se expresa en percentiles y generalmente se comportan de acuerdo a una Distribución Normal. Un percentil expresa el porcentaje de personas pertenecientes a una población que tiene una dimensión corporal de cierta medida o menor. Otra definición de percentil se refiere a la medición para una característica física por debajo de la cual un cierto porcentaje de la población queda incluido. Por ejemplo: el percentil para estatura de la población de mujeres americanas es de 152 centímetros. Esto significa que se infiere que el 5% de las mujeres americanas tienen una estatura igual o menor de 152 centímetros.

Después de haber realizado la prueba de normalidad de Anderson Darling para las 20 mediciones se determinó que en su mayoría presentan un comportamiento normal. De esta forma y acuerdo con Panero y Zelnik (1979) y Fernández y Marley (2007) la

siguiente fórmula puede ser utilizada para el cálculo de los percentiles deseados.

$$x = \bar{x} \pm zs \quad (2)$$

Donde:

x = valor de la dimensión medida para el percentil deseado

\bar{x} = promedio, o media de la dimensión

s = desviación estándar de la muestra

z = valor estandarizado según el percentil elegido que se obtiene de la tabla normal

Resultados

El tamaño de muestra basada en la proporción infantil antes mencionada fue obtenida con un resultado de 39 niños, usando un valor de proporción $p=0.2859\%$, un nivel de confianza del 98% ($t= 2.33$) y un margen de error $m= 2\%$. Las medidas fueron obtenidas para niños en un rango de 5 a 9 años de edad, donde 22 de ellos fueron niños y 17 fueron niñas. Los valores de la media aritmética y la desviación estándar para la muestra fueron obtenidos respectivamente para cada dimensión y son mostradas en la Tabla 1.

Con la información de la Tabla 1, se procede a calcular los valores de los percentiles 5, 50 y 95 para cada una de las

dimensiones. Estos percentiles son utilizados de acuerdo con principios antropométricos para el diseño como por ejemplo: evitar diseñar para el promedio en alguna dimensión antropométrica, diseñar para los extremos 5 o 95 percentil, diseñar para un rango aceptable como puede ser entre el 5 o 95 percentil y finalmente diseñar para ajustabilidad. De esta forma, el diseñador trata de adecuar el diseño hacia la mayoría de la población a la cual va dirigido. Los datos antropométricos ayudan a determinar las dimensiones adecuadas a la población en estudio, para el diseño de dispositivos y espacios en la interacción humano-objeto-entorno. Los datos obtenidos se observan en la Tabla 2.

Discusión de resultados

Acercas de los resultados obtenidos, se discute que el efecto de la discapacidad motriz en algunas dimensiones corporales involucradas en alcances horizontales y verticales en posición sentado erecto debe ampliarse. Además, otros estudios como los de Prado *et al.* (2001) y Martínez (2001); muestran algunas de estas dimensiones antropométricas dentro del mismo rango de edad pero se trata de niños con

ninguna discapacidad. Se considera interesante llevar a cabo comparaciones entre las dimensiones comunes en ambos

estudios para estudiar más a fondo sus diferencias y contribuir de cierta forma a este propósito.

Tabla 1. Valores de la Media y Desviación Estándar para las Mediciones

Media y Desviación Estándar (SD) en Centímetros					
	Dimensión	Niños		Niñas	
		Media	SD	Media	SD
1	Alcance hacia arriba (dedo)	132.55	15.76	121.38	12.26
2	Alcance hacia arriba (puño)	125.22	15.10	114.14	11.55
3	Altura sentado	108.97	12.54	98.35	8.37
4	Altura al ojo sentado	97.52	13.48	88.74	7.92
5	Altura al hombro sentado	86.2	11.91	78.27	6.70
6	Alcance hacia abajo (dedo)	45.35	9.30	43.79	6.47
7	Alcance hacia abajo (puño)	37.89	7.96	37.37	5.75
8	Alcance hacia adelante (dedo)	49.11	8.78	48.04	6.41
9	Alcance hacia adelante (puño)	41.56	7.37	40.85	5.65
10	Longitud antebrazo-dedo	26.71	4.69	26.59	4.12
11	Longitud antebrazo-puño	19.53	3.68	19.83	3.52
12	Alcance lateral (dedo)	58.14	11.22	57.43	6.91
13	Alcance lateral (puño)	51.08	10.09	50.03	5.44
14	Profundidad del tronco	15.22	1.68	14.64	1.43
15	Longitud de la mano	11.66	2.14	11.27	1.44
16	Longitud de palma de la mano	6.99	1.12	6.88	0.78
17	Ancho de palma de la mano	5.58	0.77	5.18	0.54
18	Circunferencia de la cabeza	50.45	2.89	48.7	3.25
19	Ancho de la cara	12	0.72	11.8	0.79
20	Ancho de la cabeza	13.51	0.74	13.25	1.03

Conclusiones y recomendaciones

El objetivo de este estudio fue proveer datos de algunas medidas antropométricas para niños con discapacidad motriz, el cual puede ayudar al diseño y disposición de instalaciones, equipamiento, dispositivos, mobiliario escolar y terapéutico adecuado a la

población infantil. Las mediciones obtenidas fueron tratadas estadísticamente para obtener datos antropométricos para niños y niñas. Los datos antropométricos son mostrados para los percentiles 5, 50 y 95 por género.

Se recomienda extender este estudio con niños en un rango diferente de edad y ampliarlo a adultos con

discapacidad motriz. Así mismo
continuar con el desarrollo de más

estudios antropométricos referentes a las
poblaciones con discapacidad en México.

Tabla 2. Datos Antropométricos para Niños y Niñas con Discapacidad Motriz

Datos Antropométricos en centímetros							
Dimensión	Niños			Niñas			
	Percentil 5	Percentil 50	Percentil 95	Percentil 5	Percentil 50	Percentil 95	
1	Alcance hacia arriba (dedo)	106.62	132.55	158.47	101.21	121.38	141.55
2	Alcance hacia arriba (puño)	100.38	125.22	150.06	95.14	114.14	133.13
3	Altura sentado	88.34	108.97	129.6	84.57	98.35	112.14
4	Altura al ojo sentado	75.33	97.52	119.71	75.7	88.74	101.77
5	Altura al hombro sentado	66.6	86.2	105.8	67.24	78.27	89.3
6	Alcance hacia abajo (dedo)	30.05	45.35	60.64	33.14	43.79	54.45
7	Alcance hacia abajo (puño)	24.78	37.89	50.99	27.91	37.37	46.83
8	Alcance hacia delante (dedo)	34.66	49.11	63.56	37.49	48.04	58.59
9	Alcance hacia delante (puño)	29.42	41.56	53.69	31.54	40.85	50.16
10	Longitud antebrazo-dedo	18.99	26.71	34.42	19.8	26.59	33.38
11	Longitud antebrazo-puño	13.47	19.53	25.59	14.03	19.83	25.63
12	Alcance lateral (dedo)	39.67	58.14	76.61	46.05	57.43	68.81
13	Alcance lateral (puño)	34.47	51.08	67.69	41.07	50.03	58.99
14	Profundidad del tronco	12.44	15.22	17.99	12.28	14.64	16.99
15	Longitud de la mano	8.13	11.66	15.19	8.89	11.27	13.65
16	Longitud de palma de la mano	5.14	6.99	8.84	5.59	6.88	8.18
17	Ancho de palma de la mano	4.31	5.58	6.85	4.29	5.18	6.07
18	Circunferencia de la cabeza	45.68	50.45	55.23	43.34	48.7	54.08
19	Ancho de la cara	10.81	12	13.2	10.49	11.8	13.11
20	Ancho de la cabeza	12.28	13.51	14.75	11.55	13.25	14.96

Agradecimientos

Se agradece especialmente a todo el personal, maestros, padres y niños del Centro “Villa Integra”. Este lugar ofrece atención y tratamiento terapéutico para niños con discapacidad y siempre proveyó un apoyo invaluable a esta investigación y a la comunidad de Juárez, México.

Referencias

Ávila Chaurand, Rosalío; Prado León, Lilia Roselia y González Muñoz, Elvia. 2001. *Dimensiones Antropométricas de Población Latinoamericana*. Universidad de Guadalajara. Centro de Investigaciones en Ergonomía.

Comisión Nacional de Derechos Humanos. 1999. *La incorporación al desarrollo*

de las personas con discapacidad. 1ª. Edición. México.

De la Vega, Enrique; López, Francisco y Soto, Sonia. 1988. *Antropometría para discapacitados*. Instituto Tecnológico de Hermosillo.

Farkas, Leslie. 2004. Anthropometric Measurements of the Facial Framework in Adulthood: Age-Related Changes in Eight Age Categories in 600 Healthy White North Americans of European Ancestry From 16 to 90 Years of Age. *Journal of Craniofacial Surgery*, Vol.15, 288-298.

Fernández, Jeffrey and Marley, Robert. 2007. *Applied Occupational Ergonomics*, 2a. Ed., Capítulo 3, Pag. 32.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Censo 2000, disponible en:<http://www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=16852&s=est>, consultada el 10/08/2005.

Martínez Fuentes, A. 2001. *Medidas Antropométricas de Población Escolar de 6 a 18 años Cuba, de Dimensiones Antropométricas de Población Latinoamericana*. Universidad de Guadalajara. Centro de Investigaciones en Ergonomía.

Ministerio Español del Trabajo y Asuntos Sociales. 1997. *Ergonomía y Diseño para accesibilidad*, disponible en: http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_226.htm, consultada el 10/10/2005.

Panero, Julius and Zelnik, Martin. 1979. *Human Dimensions and Interior Space: a source book of design reference standards*. New York

Peto. 1990. Disponible en: www.morelosweb.com/comosotrso/ec.htm, consultada el 8/08/2005.

Prado León, Lilia Roselia; Ávila Chaurand, Rosalío y González Muñoz, Elvia., 2001. *Anthropometric Study of Mexican Primary School Children*. Applied Ergonomics. Vol. 32/4. 339-345.

Sanders, M. and McCormick, E. 1993. *Human Factors for Engineering and Design*. Mc Graw-Hill.

Tortosa, L., García, C., Page del Pozo, A. y Ferreras, R. 1999. *Ergonomía y Discapacidad*. Edición Revisada y Ampliada.

