



Hablando de Ciencia en **EMAVI**



ISSN en línea: En trámite

3ª. Edición, 2020-1 (junio)



Hablando de Ciencia en **EMAVI**

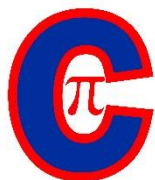


Depto Ciencias Básicas

ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN "MARCO FIDEL SUÁREZ"

GRUPO ACADÉMICO

FUERZA AÉREA COLOMBIANA



*Hablando de
Ciencia en
EMAVI*



HABLANDO DE CIENCIA EN EMAVI

ISSN en línea: En trámite

©Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel
Suárez” (EMAVI)
©EMAVI Sello Editorial
© Varios autores

Dirección
BG. Alfonso Lozano Ariza

Subdirección
CR. Ned Yasnó Roncancio

Comando Grupo Académico
TC. Yadira Cárdenas Posso

Jefatura Sección Investigación
TE. Andrea Carolina Gómez Ruge

Sección Investigación
Carrera 8 # 58-67 (La Base) Cali–Colombia
Teléfono: +57 (2) 488 1000, Ext. 68841

Apoyo Gestión de Publicaciones Científicas
Jennifer J. García Saldarriaga

© Organizadores
Sandra Milena Ramos Arteaga, Dalila Victoria
Rincón y Alberto Vélez Rodríguez
Orientadores de Defensa - Departamento de
Ciencias Básicas - Grupo Académico - Escuela
Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”

3ª. Edición, 2020-1 (junio)
PDF Digital
Santiago de Cali, Valle del Cauca, 2020.

Publicado en Colombia–Published in Colombia

Contenido relacionado

<https://www.emavi.edu.co/es/investigacion/editorial-emavi>

Las instituciones editoras de esta obra no se hacen responsable de las ideas expuestas bajo su nombre, las ideas publicadas, los modelos teóricos expuestos o los nombres aludidos por los autores. El contenido publicado es responsabilidad exclusiva de los autores, no refleja la opinión de las directivas, el pensamiento institucional de las Universidades editoras, ni genera responsabilidad frente a terceros en caso de omisiones o errores.

El Sello Editorial de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” se adhiere a la filosofía de acceso abierto. Este libro está licenciado bajo los términos de la Atribución 4.0 de Creative Commons, que permite el uso, el intercambio, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre y cuando se dé crédito al autor o autores originales y a la fuente.

Idioma

Español e inglés

ORGANIZADORES:
ALBERTO VELEZ RODRIGUEZ
SANDRA MILENA RAMOS ARTEAGA
DALILA VICTORIA RINCON

Palabras clave

Sistemas dinámicos, neurociencia, tribología, partículas elementales, comunicación satelital, matemáticas contemporáneas, inteligencia artificial.

Categoría/ Temática

Ciencias Básicas, Memorias, Conferencias.

Detalle de la publicación

“Hablando de Ciencia en EMAVI” se ha concebido como un espacio de divulgación en temas científicos y de interés general, orientado a los cadetes de la EMAVI para que contribuya con el logro de la misión institucional dejando huella en la comunidad académica del alma mater de la oficialidad de la Fuerza Aérea Colombiana. Para tal efecto se invitan ponentes, generalmente docentes con trayectoria en universidades de prestigio, que han dedicado buena parte de su vida a la formación educativa desde la enseñanza y/o la investigación para que compartan experiencias con los docentes, cadetes y en general con la comunidad académica de EMAVI.

Las memorias del evento “Hablando de Ciencia en EMAVI” constituye un documento que deja grabado este esfuerzo para la posteridad.

ÍNDICE

	Pág.
Introducción	5
Agradecimientos	9
Sistemas dinámicos aplicados a las neurociencias	10
La tribología y los elementos de máquinas	22
Partículas elementales	55
Comunicaciones Satelitales de la FAC en la Antártida	75
Matemáticas contemporáneas y aplicación al control aéreo	94
La Inteligencia Artificial en Administración	128

INTRODUCCIÓN

El tercer ciclo de conferencias del evento “Hablando de Ciencia en EMAVI” se desarrolló entre el 30 de enero y el 21 de mayo de 2020. Contó con la presencia de invitados especiales quienes dedicaron, con evidente esmero, un tiempo valioso a los cadetes de la Escuela. Es de resaltar la participación de los cadetes quienes de manera presencial en las tres primeras conferencias y mediante la plataforma Zoom, vía RUAV, en las cuatro restantes estuvieron conectados con el ánimo irrestricto de alimentar y complementar su formación académica.

La conferencia “**TRIBOLOGIA Y LOS ELEMENTOS DE MAQUINA**” a cargo del profesor **FERNANDO DELGADO GOMEZ** se llevó a cabo con un total de 102 asistentes incluidos cadetes, alféreces, docentes de Ciencias Básicas, el capellán de la Escuela y un funcionario DEDHU. Fue presentada por la teniente coronel YADIRA CARDENAS POSSO comandante-Grupo académico-Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”. La conferencia plantea en términos generales que la interacción entre las superficies o elementos que conforman las maquinas causan cambios lentos en su geometría que a largo plazo genera perdida de eficiencia y su reemplazo.

La conferencia "**SISTEMAS DINÁMICOS APLICADOS A LAS NEUROCIENCIAS**" a cargo del doctor **JULIÁN HURTADO LÓPEZ** se llevó a cabo con un total de 158 asistentes incluidos cadetes y alféreces, docentes, oficiales y funcionarios DEDHU. Fue presentada por señor Mayor Julián Andres Delgado Martínez, Jefe Sección Egresados-

Grupo académico-Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”. La conferencia plantea algunos conceptos y modelos matemáticos para determinar habilidades esenciales de la dinámica no lineal aplicadas a problemas que tienen fuertes lazos con la neurociencia tales como la memoria, el aprendizaje, el control motor, la toma de decisiones y otros. En particular se expuso como característica especial la de asociar a diferentes escenarios de bifurcación diferentes respuestas cuando una neurona es activada por un estímulo externo.

La conferencia "**PARTICULAS ELEMENTALES**" a cargo del profesor **JORGE ELIECER MURILLO BALLESTEROS** se llevó a cabo con un total de 125 asistentes incluidos cadetes, docentes, oficiales, suboficiales, funcionarios grupo académico y contratistas grupo académico. Fue presentada por señor Mayor **HENRY FABIAN QUINTERO OVIEDO**, Jefe Secretaria Académica-Grupo académico-Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”. La conferencia hace un breve repaso de cómo ha ido evolucionando la respuesta a la pregunta ¿de qué están hechas las cosas?, iniciando por los cuatro elementos hasta llegar a lo que se conoce hoy día como partículas elementales.

La conferencia “**COMUNICACIONES SATELITALES DE LA FAC EN LA ANTARTICA**” a cargo de MY **SONIA RUTH RINCON URBINA**, TE **LORENA PAOLA CARDENAS ESPINOSA** y TS **CARLOS ANDRES TULCAN DELGADO** se llevó a cabo con un total de 119 asistentes incluidos cadetes, docentes, oficiales, suboficiales, funcionarios grupo académico. Fue presentada por el señor **MY JULIO CESAR BASANTE BRAVO** Jefe Sección Planeación-Grupo académico-Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”.

La conferencia compartió las experiencias y objetivos de la expedición Fuerza Aérea Colombiana entre el 17 de enero y 24 de febrero de 2020 para activar las comunicaciones satelitales en la Antártica, definir los requisitos funcionales del sistema de recepción y transmisión para la comunicación con el FACSAT-1 en la Antártica, construir los componentes del sistema de comunicaciones de la estación terrestre temporal del FACSAT-1 e Implementar un protocolo técnico de comunicaciones para adquirir datos del satélite.

La conferencia “**MATEMATICAS CONTEMPORANEAS Y APLICACIÓN AL CONTROL AEREO**” a cargo del doctor **GUILLERMO ORTIZ RICO** se llevó a cabo con un total de 121 asistentes incluidos Alféreces y Cadetes, docentes, oficiales, funcionarios grupo académico. Fue presentada por el señor **MY JULIO CESAR BASANTE BRAVO** Jefe Sección Planeación-Grupo académico-Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”. La conferencia presenta inicialmente un breve recorrido histórico del cambio de las matemáticas clásicas como ciencia de la cantidad hasta mediados del siglo XIX, para dar lugar a las matemáticas como la ciencia de las estructuras. Posteriormente se hace una corta descripción de las principales características de las matemáticas modernas, que continúan hasta mediados del siglo XX, y las contemporáneas que suceden a las modernas hasta el día de hoy. Finalmente se hacen dos ejemplos de matemáticas contemporáneas (Las teorías de conjuntos fuzzy y las teorías de categorías) estableciendo algunas de las relaciones actuales de estas con el control aéreo.

La conferencia “**LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA ADMINISTRACIÓN**” a cargo de la doctora **SONIA YAMILETH CASTRO YAMA** se llevó a cabo con un total de 108

asistentes incluidos Alféreces y Cadetes, docentes, oficiales, funcionarios grupo académico y docentes externos. Fue presentada por el señor MAYOR GUILLERMO ENRIQUE CASTELLANOS SANDOVAL, Jefe Sección Calidad Educativa, Grupo Académico, Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”. La conferencia plantea la necesidad de contar con capacidades para abordar temas complejos tales como la crisis que hoy día azota al mundo por la pandemia generada por el Covid-19, teniendo en cuenta los grandes avances científico y tecnológicos y las distintas herramientas que proveen las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) que facilitan el acceso a la información y conocimiento desde y hasta cualquier lugar del mundo, además de destacar la importancia de simplificar la interoperabilidad de la información para tomar decisiones en la administración.

El grupo académico bajo la dirección de la señora Teniente Coronel **YADIRA CARDENAS POSSO**, el departamento de Ciencias Básicas con la orientación del señor Subteniente **HAROLD ALEXANDER NARVAEZ CISNEROS**, los profesores **DALILA VICTORA RINCON**, **SANDRA MILENA RAMOS ARTEAGA** Y **ALBERTO VELEZ RODRIGUEZ** se complacen en ofrecer las memorias del tercer ciclo de conferencias del evento “**Hablando de Ciencia en EMAVI**” a la familia de la Fuerza Aérea Colombiana.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a la Sección Recursos educativos SERED bajo la dirección del señor suboficial C3 Bedoya González Cristian Camilo, los funcionarios Jaime Rosero, Inés Mellizo y el contratista Camilo Villegas.

Agradecimiento a los conferencistas quienes, sin más afán que el convencimiento pleno de que hay pocas cosas más interesantes que hablar de ciencia con estudiantes universitarios, participaron con sus charlas y la elaboración de las presentes memorias.

Señora teniente coronel YADIRA CARDENAS POSSO, comandante-Grupo académico-Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”, mil gracias.

Señora teniente ANDREA CAROLINA GOMEZ RUGE, Jefe Sección Investigación-Grupo académico-Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”, mil gracias.

Señora teniente MAGDA YOULIETH ECHAVERRIA DIAZ, Jefe Sección Extensión-Grupo académico-Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”, mil gracias.

Señor Subteniente HAROLD ALEXANDER NARVAEZ CISNEROS, Coordinador Educativo Ciencias Básicas-Grupo académico-Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”, mil gracias.



FUERZA AÉREA COLOMBIANA
 ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN "MARCO FIDEL SUÁREZ"
 GRUPO ACADÉMICO



Hablando de Ciencia en EMMAVI



Conferencia: "SISTEMAS DINÁMICOS APLICADOS A LAS NEUROCIENCIAS"



Conferencista:
JULIÁN HURTADO LÓPEZ

Organiza: *Depto Ciencias Básicas*

27 febrero
 2020
 Jueves

10:00
 horas
 Aula Máxima

“SISTEMAS DINÁMICOS APLICADOS A LAS NEUROCIENCIAS”



Perfil Profesional:

Soy Matemático, Magister en Matemática Aplicada y Doctor en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia. Desde 2009 soy profesor de tiempo completo en el Departamento de Matemáticas y Estadística de la Universidad Autónoma de Occidente. Miembro del Grupo de Investigación en Neurocontrol Motor de la misma Universidad. Mi interés académico y científico se centra en la Dinámica no Lineal y Bifurcaciones, Neurobiología Computacional y Redes Neuronales Artificiales. Mis publicaciones se encuentran en las revistas científicas internacionales: International Journal of Bifurcation and Chaos (IJBC) y Journal of Computational Neuroscience (JCNS).

ORGANIZADORES:

ALBERTO VELEZ RODRIGUEZ
SANDRA MILENA RAMOS ARTEAGA
DALILA VICTORIA RINCON

APPLIED DYNAMICAL SYSTEMS IN NEUROSCIENCE

Julián Hurtado-López

Resumen: En este artículo encontrará algunos conceptos y modelos matemáticos que permitirá al lector conocer habilidades esenciales en la aplicación de la dinámica no lineal a problemas que tienen fuertes lazos con la neurociencia, como la memoria, el aprendizaje, el control motor, la toma de decisiones y otros. Es relevante el estudio de cada uno de estos modelos para abordar características específicas de ciertos aspectos de la dinámica neuronal. Una de estas características es por ejemplo, asociar a diferentes escenarios de bifurcación diferentes respuestas cuando una neurona es activada por un estímulo externo.

Palabras clave: Sistemas dinámicos, Neurociencias, Neurona, Toma de Decisiones.

ORGANIZADORES:

ALBERTO VELEZ RODRIGUEZ
SANDRA MILENA RAMOS ARTEAGA
DALILA VICTORIA RINCON

Introducción y contenido.

Las neurociencias computacionales se pueden definir como el modelado matemático y físico de procesos neuronales en una escala específica seleccionada, que puede considerarse desde una escala molecular y celular (ej., cadena de aminoácidos) hasta una escala a nivel de sistemas (ej., sistema de memoria complementaria) o más allá como a escala de comportamiento. Esta rama de las neurociencias tiene como propósito comprender cómo el cerebro y las estructuras relacionadas representan y procesan la información [Silva G. A. (2011)]. Para llegar a alcanzar tal propósito se hace uso de herramientas cuantitativas y cualitativas que provienen de las matemáticas, estadística, ciencias computacionales y de la física, entre otras.

Las neurociencias computacionales también tienen como rol, integrar hechos experimentales y estudios computacionales de diferentes niveles de investigación o disciplinas, como la psicología, fisiología y la neurobiología, en un modelo coherente de cómo funciona el cerebro. La entrada experimental importante a las neurociencias computacionales proviene de la neuroanatomía, como la morfología y la conectividad funcional de las estructuras cerebrales; de neurofisiología, en la que se investiga el comportamiento de neuronas individuales; y de la psicología, en la cual los efectos conductuales se estudian con experimentos psicofísicos. Los investigadores en neurociencias computacionales usan modelos matemáticos para la descripción de hechos experimentales, tomando prestados métodos de una amplia variedad de disciplinas, tales como matemáticas, física, teoría de la información y estadística. Los resultados de las investigaciones de ciertas hipótesis con la ayuda de estos modelos

conducen a predicciones específicas que se deben verificar experimentalmente. La comparación y validación de las predicciones del modelo con los datos experimentales reunidos inicialmente se puede utilizar para refinar las hipótesis y desarrollar modelos más precisos y robustos, como también pueden arrojar resultados sobre diferentes fenómenos que experimentalmente no hayan sido obtenidos. Estos estudios también pueden ayudar a desarrollar aplicaciones en la toma de imágenes cerebrales además de proponer tratamientos en pacientes con trastornos relacionados con el cerebro [Trappenberg, T. P. (2002)].

Por otra parte, la teoría de los sistemas dinámicos no lineales es un núcleo fundamental de la investigación en neurociencias computacionales. Los sistemas dinámicos ayudan a los neurocientíficos a lograr comprender conceptos fundamentales como el equilibrio, la estabilidad, atractores del ciclo límite y las bifurcaciones, a pesar de que los neurocientíficos normalmente se encuentran constantemente con estos fenómenos no lineales. Por ejemplo, el sistema nervioso es altamente no lineal y complejo, ya que hay aproximadamente 10^{11} neuronas que producen alrededor de 10^{15} sinapsis, conexiones entre neuronas. La no linealidad se puede ver reflejada en la respuesta de una simple neurona al ser excitada por un estímulo externo.

La neurona es la unidad fundamental de estudio en las neurociencias, básicamente está conformada por el núcleo celular, soma, dendritas y axón, ver Figura 1.

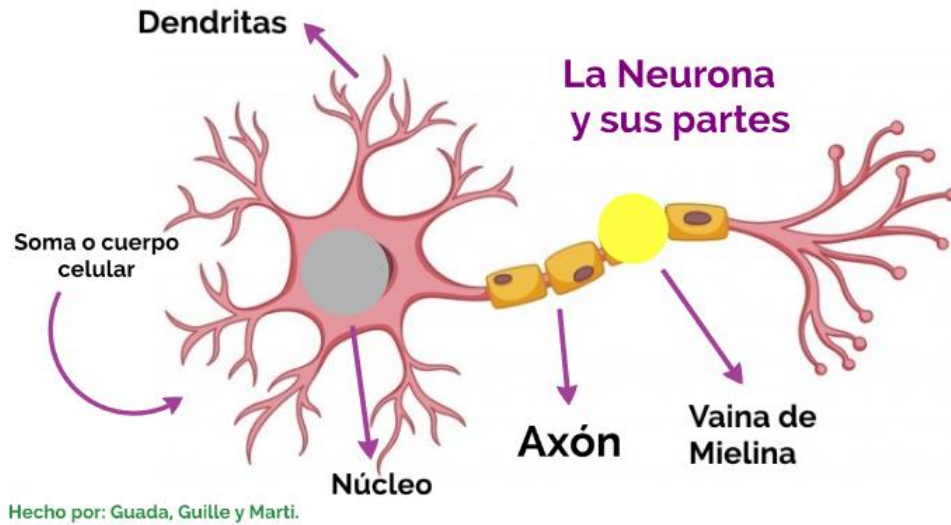


Figura 1. La neurona.

Una neurona típica recibe entradas de más de cientos de neuronas a través de los contactos (sinapsis) en su árbol dendrítico. Las entradas producen corrientes eléctricas a través de la membrana que cambian el potencial de membrana de la neurona. Estas corrientes producen cambios, llamados potenciales postsinápticos (PSP). Pequeñas corrientes producen pequeños PSP, las corrientes más grandes producen PSP significativos que pueden amplificarse mediante los canales sensibles al voltaje (canales iónicos) que se encuentran en la membrana neuronal y así producir o generar un potencial de acción (ver Figura 2) que se propaga a otras neuronas a través del axón.

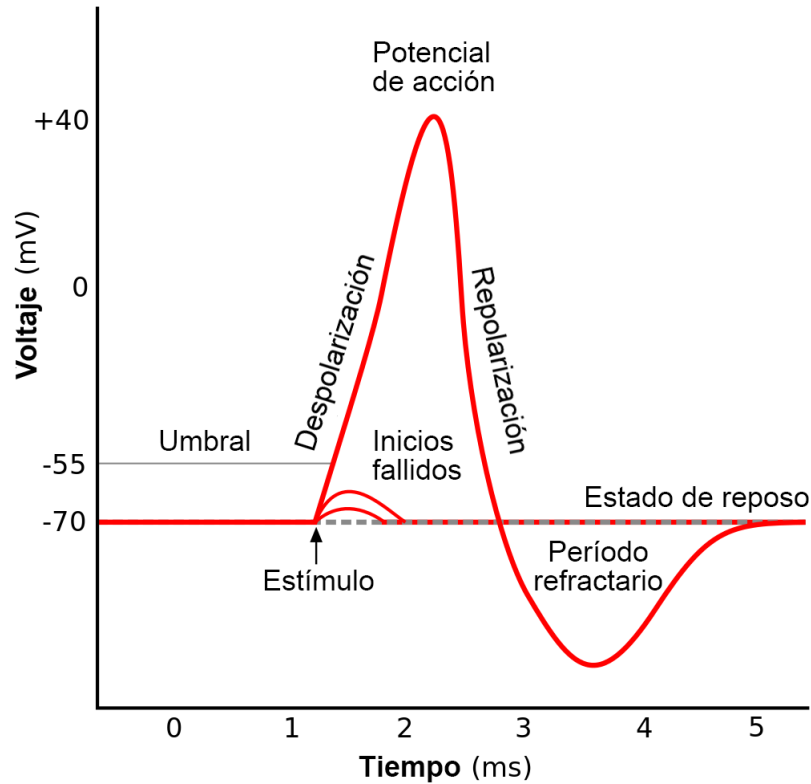


Figura 2. Potencial de acción. Tomado de <https://bioquimicadental.wordpress.com/>

Los potenciales de acción son los principales medios de comunicación entre las neuronas. El potencial de acción es un evento de corta duración donde se da una rápida despolarización (pues como se muestra en la Figura 2, una neurona, en particular, en reposo tiene un potencial de membrana de -70 mV,) seguido inmediatamente de su repolarización, seguido de un período refractario y de nuevo un estado de reposo.

La primera descripción cuantitativa del potencial de membrana y su aplicación a la conducción y excitación en las neuronas se debe a Alan Hodgkin y Andrew Huxley, quienes en 1952 propusieron un modelo matemático para explicar los mecanismos iónicos que subyacían a la iniciación y propagación de los potenciales de acción del axón

gigante de calamar. Estos estudios le generaron en 1963 ganar el premio Nobel en Fisiología-Medicina. El modelo de Hodgking y Huxley es uno de los modelos matemáticos más exitosos en la descripción de un proceso biológico complejo que se haya formulado. Las ecuaciones del modelo describen el cambio en el potencial de membrana V como función de las corrientes de sodio (Na), potasio (K), fuga (L) y estímulos externos a través de la membrana, así como la capacitancia de la membrana C_m y otros factores más. Las ecuaciones de Hodgkin-Huxley se pueden escribir como sigue:

$$\begin{aligned}
 C_m \frac{dV}{dt} &= -\bar{g}_{Na} m^3 h (V - E_{Na}) - \bar{g}_K n^4 (V - E_K) - \bar{g}_L (V - E_L) + I \\
 \frac{dm}{dt} &= \frac{1}{\tau_m(V)} (-m + M(V)) \\
 \frac{dh}{dt} &= \frac{1}{\tau_h(V)} (-h + H(V)) \\
 \frac{dn}{dt} &= \frac{1}{\tau_n(V)} (-n + N(V))
 \end{aligned}$$

Este sistema dinámico muestra en las ecuaciones potenciales de equilibrio, variables adicionales m , h , y n , funciones $M(V)$, $H(V)$ y $N(V)$ al igual que las constantes de tiempo τ_m , τ_h y τ_n . Para entender el detalle de las ecuaciones se recomienda revisar el libro [Hugh Wilson (1999)].

Los principios dinámicos esenciales que subyacen a la generación de potencial de acción descritos por el sistema dinámico anterior fueron presentados mediante un modelo simplificado por FitzHugh-Nagumo y que se pueden observar en la Figura 3. La aproximación de FitzHugh-Nagumo es bidimensional, ellos evidenciaron por el diagrama del plano de fase proyectado del modelo original que la isoclima dV/dt tiene una forma

aproximadamente cúbica, mientras que la isocлина dR/dt es lineal en la mayor parte de su rango.

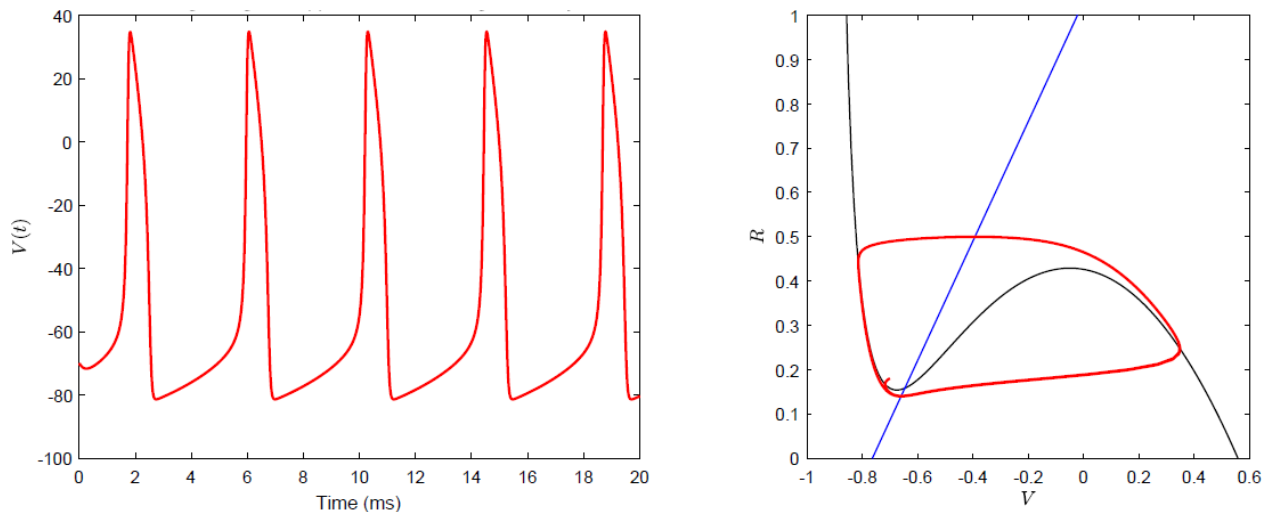


Figura 3. Aproximación FitzHugh-Nagumo de potenciales de acción generados. Plano de fase.

Entre otras aplicaciones de los sistemas dinámicos no lineales en las neurociencias, se encuentra el análisis de redes neuronales, muy particularmente, aquellas responsables de la toma de decisiones en los vertebrados superiores, como los simios, ante conflictos naturales como los de agresión-apareamiento y enfrentamiento-huida. Por ejemplo, los modelos de atractores describen el proceso de toma de decisión como una transición que es provocada por un estímulo que lleva un estado espontáneo de actividad hasta un estado de decisión el cual es asociado a una elección categórica dada. Un circuito sináptico de base que elige una opción entre dos presentes se presenta en la Figura 4. Allí se observan dos unidades principales que representan dos poblaciones de neuronas de decisión, que se encuentran en mutua inhibición, alimentadas por estímulos diferentes. Este tipo de circuito o red se denomina red WTA, *winner-take-all*, y se pueden

encontrar en estructuras neurobiológicas en las que un estímulo de mayor intensidad que otro debe guiar la conducta motora del sujeto, por ejemplo, el olor de dos fuentes de alimento diferentes y separadas o la diferencia de intensidades luminosas entre lugares distintos al momento de buscar sombras en una estepa soleada.

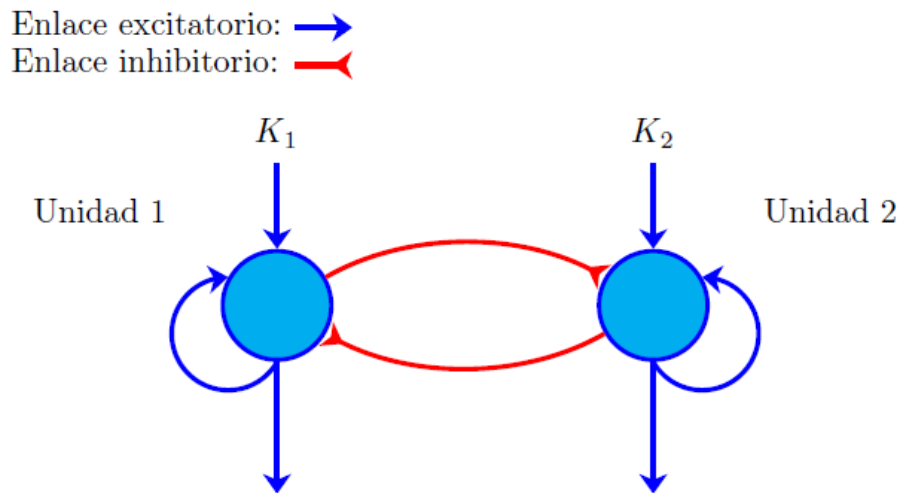


Figura 4. Arquitectura del circuito sináptico de decisión por inhibición recíproca. Tomado de [Hurtado-López (2017)].

El sistema dinámico que describe la dinámica de la red básica que toma la decisión de procesamiento excluyente entre los estímulos K_1 y K_2 presentados a la red se formula a continuación:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{\tau} \left(-x_1 + \frac{100(K_1 + ax_1 - bx_2)_+^2}{120^2 + (K_1 + ax_1 - bx_2)_+^2} \right),$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{1}{\tau} \left(-x_2 + \frac{100(K_2 + ax_2 - bx_1)_+^2}{120^2 + (K_2 + ax_2 - bx_1)_+^2} \right).$$

Para cierta configuración de los parámetros del modelo, la red neuronal de selección da como ganadora a la unidad que representa el estímulo más sobresaliente, mientras que

la unidad perdedora experimenta un descenso a cero en su nivel de actividad, en tanto que la neurona ganadora alcanza un estado estable y continuo de actividad diferente de cero, como se muestra en la Figura 5(a). La Figura 5(b) muestra el plano de fases del sistema dinámico, donde se identifican dos equilibrios estables (puntos azules) y uno inestable (punto rojo), el cual es un punto de silla. Es de principal interés la curva etiquetada como W_s , pues representa la llamada curva separatriz que indica la separación entre los dominios de atracción de los dos atractores que coexisten.

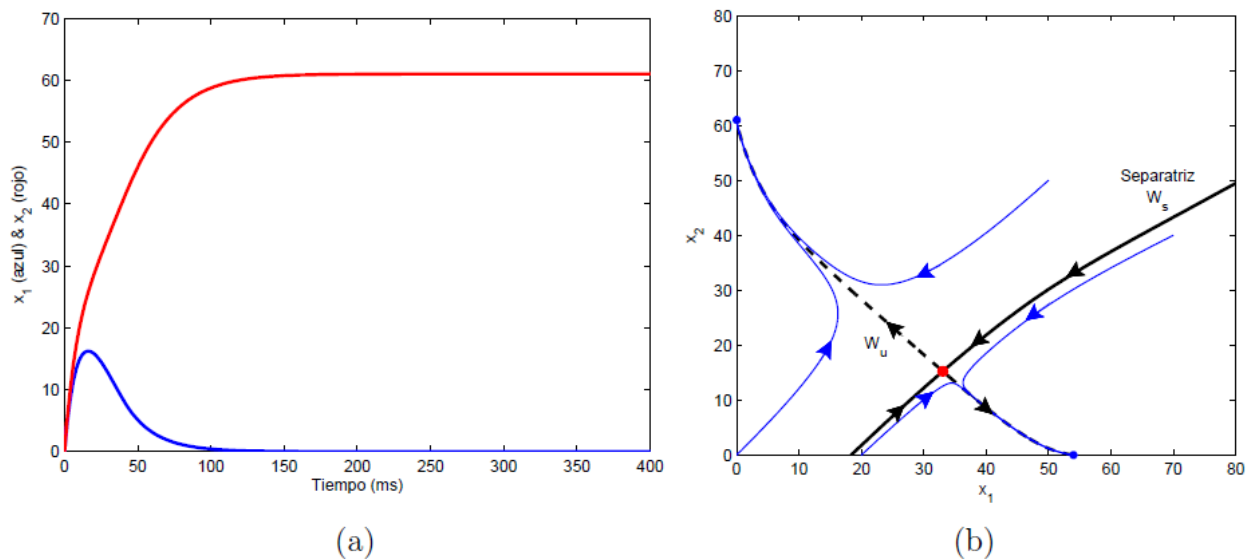


Figura 5. (a) Actividad neuronal de las unidades 1 y 2. (b) Diagrama de fases mostrando trayectorias de la red para diferentes condiciones iniciales.

El uso de sistemas dinámicos ha servido para desarrollar modelos o redes neuronales que soportan procesos neuronales donde se ha logrado identificar fenómenos dinámicos emergentes que han permitido una comprensión más detallada y completa de la riqueza funcional subyacente en procesos neuronales, y así establecer la correspondencia esperada entre las predicciones teóricas y los comportamientos y conductas naturales observadas, todo esto desde una perspectiva de la dinámica no-lineal.

BIBLIOGRAFÍA

- Hugh R., Wilson (1999). *Spikes, Decisions, and Actions: The Dynamical Foundations of Neuroscience*. Oxford University Press.
- Hurtado Lopez, J. (2017). *Análisis de la dinámica de los modelos neuronales de toma de decisiones. Doctorado thesis, Universidad Nacional*. Manizales, Colombia.
- Silva G., A. (2011). *The need for the emergence of mathematical neuroscience: beyond computation and simulation*. Obtenido de *Frontiers in computational neuroscience*, 5, 51: <https://doi.org/10.3389/fncom.2011.00051>
- Trappenberg, , T. P. (2002). *Fundamentals of computational neuroscience*. Oxford: Oxford University Press.



FUERZA AÉREA COLOMBIANA
ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN "MARCO FIDEL SUÁREZ"
GRUPO ACADÉMICO



Hablando de Ciencia en **EMAVI**



Conferencia:

"La tribología y los elementos de máquinas"



Conferencista:

FERNANDO DELGADO GÓMEZ

Organiza: **Depto Ciencias Básicas**

06 febrero
2020
Jueves

10:00 horas
Aula Máxima

“LA TRIBOLOGÍA Y LOS ELEMENTOS DE MÁQUINAS”



Fernando Delgado Gómez

Ingeniero Mecánico Universidad del Valle (1998)

Especialista en Estructuras. Universidad del Valle (2006)

Docente de la Escuela Militar de Aviación desde 2009 en el programa de Ingeniería Mecánica.

Magister en Ingeniería. Universidad del Valle (2016)

Ha realizado investigaciones sobre el desgaste por impacto en materiales metálicos y también en análisis de Falla de elementos mecánicos.

Perteneció al GIFS (Grupo de Investigación en fatiga y superficies) de la Universidad del Valle

Pertenece al GIEA (Grupo de Investigación en Estudios Aeroespaciales de los Programas de Ingeniería de la Escuela Militar de Aviación)

ORGANIZADORES:

ALBERTO VELEZ RODRIGUEZ
SANDRA MILENA RAMOS ARTEAGA
DALILA VICTORIA RINCON

Ha publicado lo siguientes artículos en el campo de Análisis de Falla y Tribología:

F. Delgado, J.J. Coronado , S.A. Rodriguez, Failure analysis of a machine support for fique fibers processing. Engineering Failure Analysis. Volume 56. October 2015. pp 58-68

F. Delgado. Failure Analysis of a Removable Support of a Cockpit Seat in a STOL Airplane. Proceedings of the 7th International Conference on Fracture Fatigue and Wear, pp.3-17

F. Delgado, S.A. Rodriguez, J.J. Coronado. Effect of carbon content on tribological behavior of austenitic manganese steels under impact load. Proceedings of 4th International Conference on Fracture and Wear. Ghent, University, Belgium. 2015

“LA TRIBOLOGÍA Y LOS ELEMENTOS DE MÁQUINAS”

Fernando Delgado Gómez-Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suarez

Resumen. El desgaste de las superficies de cualquier herramienta, instrumento o utensilio es visible en todos ellos después de largo periodos de uso. Este fenómeno puede ser causado por fricción, presión o impacto del elemento contra superficies o partículas. La tribología es la ciencia que estudia el desgaste de las superficies y todos los factores que influyen en él. En este artículo se exponen las causas del fenómeno de desgaste y se explican todos los factores que influyen en él, por medio de ilustraciones simples, casos comunes en los cuales se presenta desgaste de materiales y resultados de investigaciones en el campo de la tribología.

Palabras clave: fricción, impacto, desgaste, elementos de máquina.

1. Introducción

En la ingeniería y en la ciencia de materiales existen varios campos que se especializan en el estudio de distintos fenómenos físicos. El fenómeno de desgaste de superficies es el campo de estudio de la Tribología. La palabra Tribología se deriva del vocablo griego Tribos (rozamiento) es decir que se puede entender como el “Estudio del rozamiento y del desgaste”. Una definición más completa de la Tribología sería “Ciencia que estudia la fricción el desgaste y la lubricación que tienen lugar durante el contacto de superficies

solidas en movimiento”. Las situaciones o condiciones que generan desgaste son explicadas a continuación.

1. Superficies de sólidos en contacto

En la Figura 1 se observa como dos solidos están en contacto a través de sus superficies. Estas superficies no están en reposo. Al contrario, estas superficies presentan movimiento relativo entre ellas lo que genera una fuerza de fricción dinámica, y las condiciones para un fenómeno tribológico de desgaste.



Figura 1. Contacto entre superficies de cuerpos solidos con movimiento relativo que causa fricción dinámica. Fuente: El autor.

1.2 Impacto entre superficies de solidos

Dos cuerpos solidos entran en contacto por poco tiempo debido a que chocan y se separan rápidamente. Esta condición se repite varias veces generando desgaste por impacto. Se puede observar el fenómeno en la Figura 2.

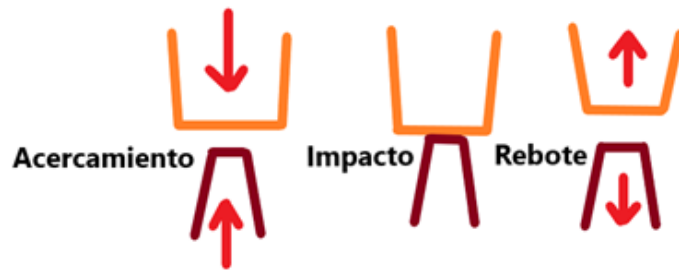


Figura 2. Representación del impacto entre dos superficies. Fuente: El autor.

1.3 Presión cíclica

Cuando una superficie es sometida a presión sucesiva se produce desgaste (Figura 3). Igualmente cuando una superficie vibra con respecto a otra ocasionando pequeños desplazamientos o golpes (fretting) se produce desgaste.

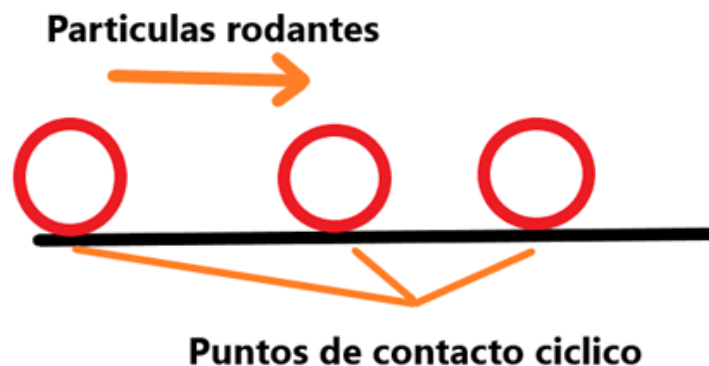


Figura 3. Presión cíclica (esfuerzos de compresión) sobre superficies. Fuente: El autor.

2.Contenido

2.1 Fenómeno de desgaste

La consecuencia de la existencia de estas condiciones se manifiesta como pérdida de masa, y alteración de la geometría. Concretamente este desgaste causara perdida de eficiencia, inicio de grietas, fractura del elemento, vibración y ruido. Esta condición se observa en la Figura 4 .

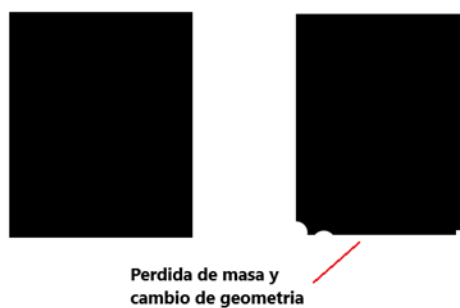


Figura 4. Representación gráfica de pérdida de masa y cambio de geometría. Antes del desgaste (izquierda), después del desgaste (derecha). Fuente: El autor

Es posible también que un componente sufra alteración de su geometría debido a “ganancia de masa” de otros elementos con los cuales interactúa en el fenómeno tribológico como se observa en la Figura 5.

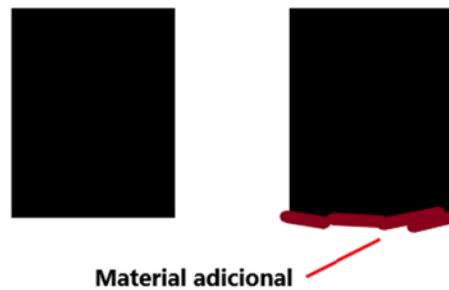


Figura 5. Representación gráfica de la adhesión de un material a otro, por efecto del desgaste. Fuente: El autor

2.2. Desgaste abrasivo a dos cuerpos

El desgaste abrasivo a dos cuerpos involucra dos superficies, cada una de ellas perteneciente a un cuerpo rígido. Se produce desgaste debido a que uno de los cuerpos tiene incrustadas pequeñas partículas de un material que genera desgaste en la superficie contraria. Estas partículas están unidas a una de las superficies por lo tanto son solo dos superficies en contacto. Este fenómeno se ilustra en la Figura 6.

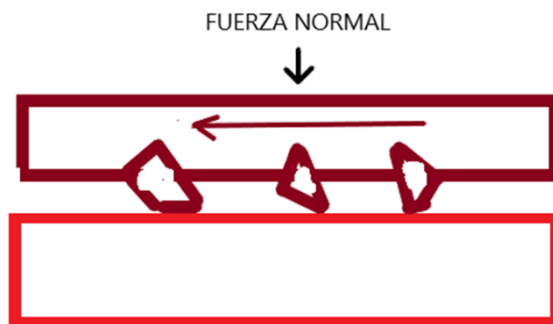


Figura 6. Desgaste abrasivo a dos cuerpos. Superficie abrasiva arriba, superficie desgastada abajo. Fuente: El autor

2.3. Desgaste abrasivo a tres cuerpos

En este tipo de desgaste abrasivo dos superficies interactúan muy cerca pero entre ellas se interponen partículas que entran a generar fricción y desgaste en las dos superficies. En la Figura 7, la superficie 1 (marrón) y la superficie 2 (rojo) interactúan presionando las partículas atrapadas entre ellos, lo que a su vez genera fricción dinámica, rodadura de la partículas y desgaste en las dos superficies.

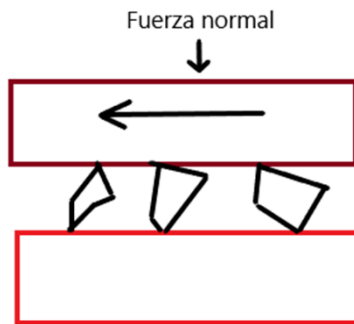


Figura 7. Desgaste abrasivo a tres cuerpos. Se representan cada cuerpo en color marrón, color rojo y partículas negras entre los cuerpos. Fuente: El autor

El desgaste producido por la abrasión depende de varios factores. Los más relevantes son: Fuerza normal, velocidad relativa de desplazamiento, dureza de los abrasivos,

Tamaño de los abrasivos, composición química. Por último, se tiene la microestructura de los materiales que también es un factor muy importante que influye en el desgaste.

2.4 Desgaste erosivo

Este fenómeno ocurre cuando una corriente de gas (comúnmente aire) transporta partículas o una corriente de líquido (comúnmente agua) igualmente lleva consigo partículas. Estas partículas chocan contra alguna superficie y con el paso del tiempo arrancan pequeñas cantidades de masa generando desgaste. La Figura 8 ilustra un flujo de partículas y su choque contra una superficie.

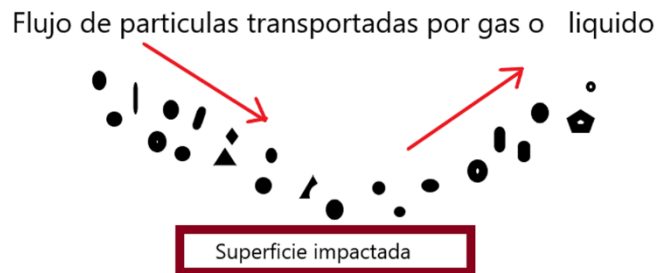


Figura 8. Desgaste erosivo. Corriente de partículas que impactan una superficie causando desgaste progresivo en ella. Fuente: El autor

La Figura 9 ilustra el fenómeno de erosión producido sobre los escalones de unas escaleras situadas cerca a la playa. El viento, y el agua al arrastrar granos de arena, ha causado erosión sobre los escalones alterando su forma.



Figura 9. Escalones afectados por erosión causada por arena cerca a la playa. Fuente: John J. Coronado. Escuela de Ingeniería Mecánica. Grupo de Investigación en Fatiga y Superficies (GIFS) Universidad del Valle. Curso Postgrado: Desgaste de componentes mecánicos.

Al igual que sucede con el desgaste abrasivo, el desgaste erosivo tiene una serie de factores que influyen en su dinámica. Algunos factores importantes son: tamaño de la partícula, forma de la partícula, dureza del material desgastado, ángulo de impacto, velocidad de impacto.

En cuanto a la forma de la partícula, la Figura 10 presenta tres tipos de morfología para partículas abrasivas. Partículas de forma semi esférica se observan en la Figura 10a, partículas semiesféricas con bordes cortantes se aprecian en la Figura 10b, y partículas alargadas con bordes cortantes se aprecian en la Figura 10c.

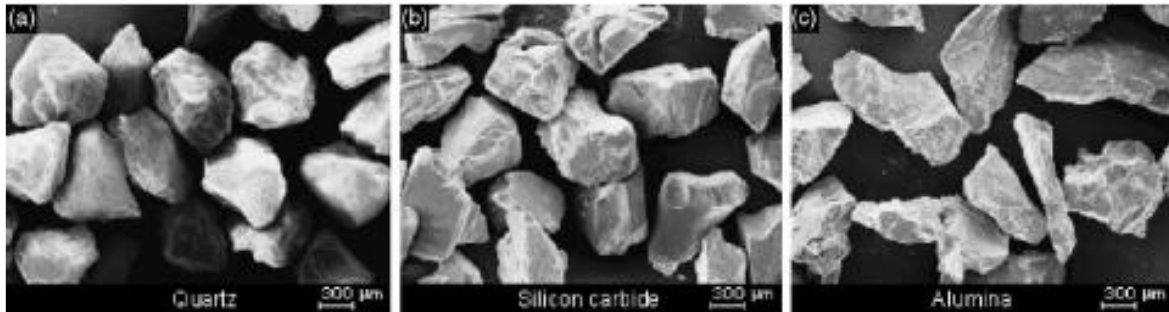


Figura 10. Tres tipos de partículas utilizadas para causar erosión sobre placas de aleación de aluminio y de acero inoxidable. a) Cuarzo. b) Carburo de silicio. c) Alúmina. Fuente: G.R. Desale et.al. Wear 261 (2006) 914-921

2.5 Cavitación

La cavitación ocurre cuando un fluido líquido sufre un descenso súbito de presión cuando aumenta su velocidad alcanzando su presión de evaporación. Entonces el líquido se convierte en gas y forma burbujas. Cuando la velocidad disminuye la presión aumenta súbitamente ocasionando el colapso de las burbujas. Estos cambios bruscos de estado (líquido-gaseoso-líquido) causan ondas de choque que con el tiempo afectan las superficies de las tuberías de conducción o los rodetes de las bombas especialmente cuando entran en contacto directo las burbujas contra las superficies. La Figura 11 ilustra el fenómeno.

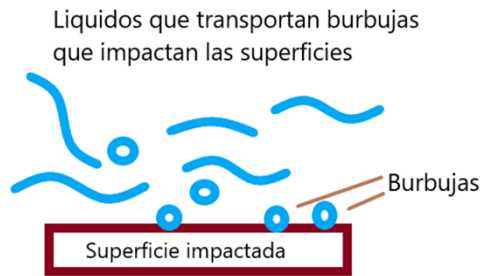


Figura 11. Burbujas que transporta un fluido y que implotan generando ondas de presión que progresivamente desgastan las superficies. Fuente: El autor

2.6 Adhesión

La adhesión es un tipo de desgaste que consiste en la transferencia de material desde una superficie afectada hacia la superficie contraria. Este fenómeno lleva a que uno de los cuerpos que está presente en el fenómeno tenga un aumento de masa. La adhesión se puede presentar cuando una de las superficies tiene una dureza muy baja con respecto a la otra. La situación descrita se puede observar en la Figura 12.

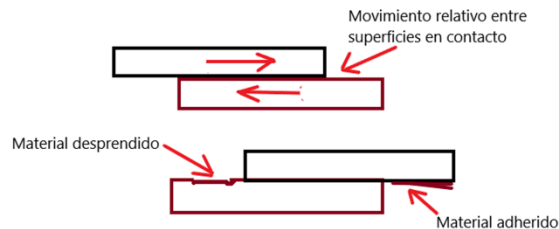


Figura 12. Imagen ilustrativa de la adhesión. Una capa de material queda adherida al sólido contra el cual está rozando. Se produce en presencia de materiales blandos o a altas temperaturas causadas por la fuerza de fricción. Fuente: El autor

En la siguiente imagen (Figura 13), obtenida por microscopía electrónica de barrido se observa una superficie y sobre ella capas delgadas de algún material adherido.

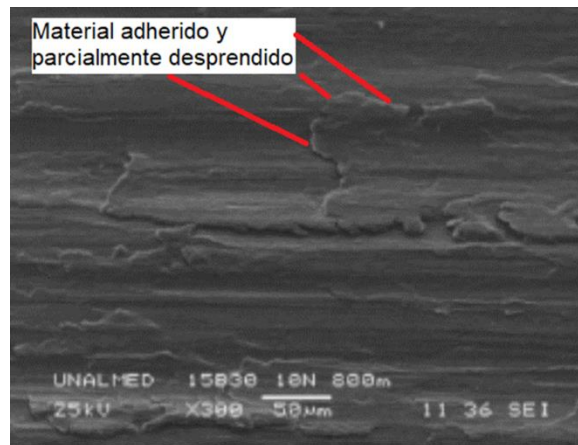


Figura 13. Superficie desgastada en la cual se observa una capa de material adherido. Fuente: C.C.Viafara et al. /Wear 259 (2005) 405-411.

2.7 Equipos para generar desgaste

El fenómeno de desgaste se puede estudiar provocando el desgaste de manera “controlada” por medio de equipos de laboratorio diseñados para generar condiciones de desgaste en determinados materiales. El fenómeno de desgaste también se puede estudiar analizando componentes reales que se someten a desgaste en condiciones reales de funcionamiento. El tribómetro pin sobre disco consiste en un disco plano cuyo eje radial es movido por un motor que lo hace rotar.

Perpendicularmente a él se ubica un soporte que en su extremo porta una muestra delgada (pin) de un material cuyo comportamiento tribológico quiere estudiarse. El pin se presiona contra el disco rotatorio, mientras está rota generando contacto entre las dos superficies y el desgaste de la muestra. La velocidad de rotación del disco y la fuerza con la cual se presiona el pin de material probado se pueden controlar para generar distintas condiciones de desgaste. En la Figura 14 se puede observar un tribómetro Pin – Disco.

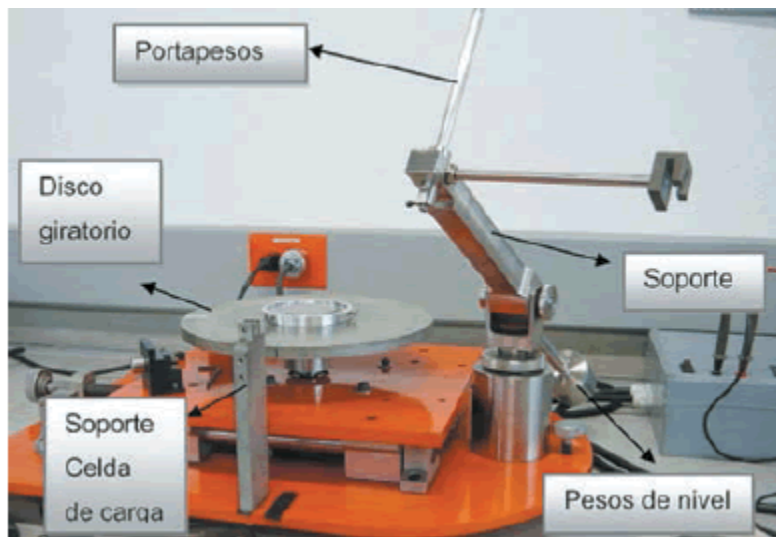


Figura 14. Tribómetro tipo pin-disco con control para fuerza normal y control para velocidad del disco. Fuente: R. Arrubla y C. Ochoa, "Evaluación del desempeño tribológico del par Wc/co - Ti6Al4v mediante pruebas tipo pin-disco en contacto no lubricado", Tesis de Grado En Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional De Colombia, 2011.

Este tribómetro genera principalmente el fenómeno de abrasión a dos cuerpos. El fenómeno de erosión se puede generar, en condiciones de laboratorio, por medio

del tribómetro mostrado en la Figura 15. Esta máquina consta de un motor con eje vertical al cual se le han acoplado paneles que rotan dentro de un tanque que puede contener agua u otro fluido con partículas en suspensión (arena, piedras etc). En los paneles se fijan muestras de materiales que sufrirán el impacto de las partículas suspendidas en el líquido en condiciones similares a las que causan la erosión de materiales.



Figura 15. Tribómetro de eje vertical para estudio de fenómenos erosivos. Fuente: <http://eime.univalle.edu.co/tribologia>.

El tribómetro Rueda de caucho genera condiciones para el desgaste abrasivo a tres cuerpos. Consta de una tolva que almacena arena u otro tipo de partículas. Estas partículas son liberadas de la tolva y circulan por un pequeño espacio entre una rueda de caucho rotatoria y una muestra de material a desgastar que tiene acoplado un brazo con contrapesas con las cuales se controla la presión del material que sufrirá fricción contra las partículas liberadas por la tolva. Un equipo como el descrito se observa en la Figura 16.

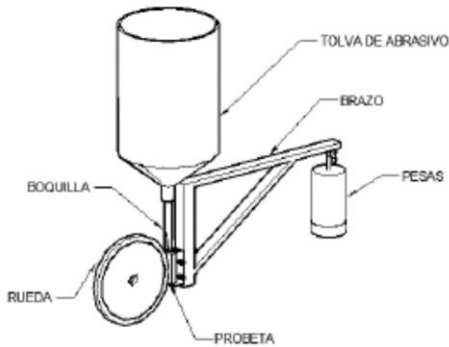


Figura 16. Tribómetro rueda de caucho -disco. Se observa la tolva que almacena arena como material abrasivo. Fuente: Gutierrez,Olaya,Torres. Scientia et Technica.Año XX. Volumen 20., Nr 3

El fenómeno de desgaste por impacto se puede generar a través de el uso de un tribómetro de martillos basculantes. Este equipo consta de un eje rotatorio al cual están acoplados discos metálicos paralelos. Estos discos a su vez sirven de soporte a ejes que portan piezas metálicas macizas llamadas martillos. Los martillos giran con todo el conjunto descargando un golpe contra todo objeto que se encuentre en su trayectoria circular de movimiento. De esta forma se puede estudiar la pérdida de masa y otros comportamientos del material frente al desgaste por impacto. La Figura 17 muestra el funcionamiento de un molino de martillos basculantes que es muy similar al tribómetro descrito.

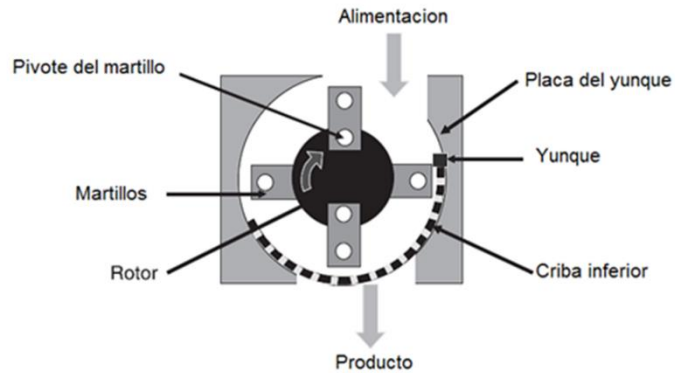


Figura 17. Molino de martillos basculantes. Se pueden utilizar también como tribómetros para generar desgaste por impacto. Fuente: Fuente: Shi, F., Kojovic, T., Esterle, J., David, D. (2003). An energy-based model for swing hammers mills. International Journal of Mineral Processing 71: 147 – 166.

Un tribómetro de martillos basculantes utilizado en laboratorios se observa en la Figura 18. Los martillos pueden ser fabricados en distintos materiales para estudiar su respuesta tribológica ante el impacto.



Figura 18. Tribómetro de martillos basculantes en laboratorio. Tiene capacidad para 10 martillos. Fuente: El autor.

Los elementos y piezas con superficies desgastadas se estudian por medio de equipos de laboratorio que ayudan a observar cambios en los elementos en cuanto a peso, composición química, geometría entre otros. Muchas veces estos cambios son casi imperceptibles para la vista humana o para ciertos equipos de laboratorio por lo que se requieren equipos muy sensibles que ofrezcan medidas con las cuales se puedan obtener conclusiones acerca del comportamiento tribológico de los materiales estudiados. El stereo microscopio es usado para observar las texturas de las superficies que han sufrido desgaste. Este equipo que se observa en la Figura 19 permite aumentar la imagen hasta 150 veces y ofrece imágenes a color.



Figura 19. Stereo microscopio. Se utiliza para observar superficies magnificadas ciento 150 veces. Fuente: Grupo de Investigación en fatiga y superficies (GIFS) Universidad del Valle.

Una superficie puede observarse aparentemente lisa pero en escala microscópica puede presentar alta rugosidad. El equipo utilizado para medir la rugosidad es denominado rugosímetro. Este equipo con frecuencia consta de una aguja

palpadora cuya sensibilidad permite medir diferencias de nivel en una superficie del orden de 10^{-6} m. La Figura 20 muestra un rugosímetro con pantalla mesa de soporte para la muestra y palpador.



Figura 20. Rugosímetro digital . Fuente : <https://www.boletinindustrial.com/producto-imagen.aspx?pid=90430>

Uno de los equipos más importantes utilizado en el estudio del desgaste de materiales, es el microscopio electrónico de barrido. Este equipo utiliza un haz de electrones que se se emite hacia una superficie. Este haz es reemitido por la superficie. Por medio de sensores se puede construir una imagen tridimensional de la superficie que puede alcanzar resoluciones de 10^{-9} m (nanométrica). Un equipo de microscopia electrónica de barrido se observa en la Figura 21.



Figura 21. Microscopio electrónico de barrido. Capta imágenes de superficies magnificándolas 2000 veces o más. Fuente: <http://eimat.univalle.edu.co/microscopia-electronica-de-barrido>

Las piezas y componentes pueden perder masa cuando están en condiciones de servicio y desgaste. Para registrar adecuadamente los cambios de masa por pequeños que sean se utilizan balanzas analíticas que pueden registrar diferencias de masa de diezmilésimas de gramo. Una balanza de este tipo se ilustra en la Figura 22.



Figura 22. Balanza perteneciente al GIEA (Grupo de Investigación en Estudios Aeroespaciales) de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”. Tiene una

resolución de 0,0001 gramos. Fuente: Programa de Ingeniería Mecánica, Escuela Militar de Aviación.

La dureza de un material es una propiedad que influye directamente en el comportamiento tribológico de este. Por lo tanto, es importante conocer su dureza al principio de un proceso de desgaste, durante el desgaste y al final del fenómeno. Para este fin se utilizan los micro durómetros y durómetros. Estos equipos pueden medir la dureza en unidades Rockwell, Brinell o la microdureza en unidades Vickers. Un micro durómetro se puede apreciar en la Figura 23.



Figura 23. Micro durómetro perteneciente al GIEA (Grupo de Investigación en estudios aeroespaciales) de la Escuela Militar de Aviación “ Marco Fidel Suarez”. Fuente: Programa de Ingeniería Mecánica, Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”.

2.8 Etapas del desgaste.

Cuando un elemento mecánico se desgasta se pueden identificar tres etapas. Estas etapas se ilustran en la Figura 23. La primera etapa muestra una rápida pérdida de masa con tasas de pérdida de masa variables y es característica del comienzo del desgaste. A esta etapa se le llama periodo de *asentamiento* o *running in*. La

segunda etapa se denomina *régimen estable*. En esta etapa la tasa de desgaste tiende a permanecer constante y es menor a la del primer periodo. Por último se presenta la etapa de *desgaste catastrófico* o *run out* en la cual el elemento mecánico pierde su funcionalidad totalmente.

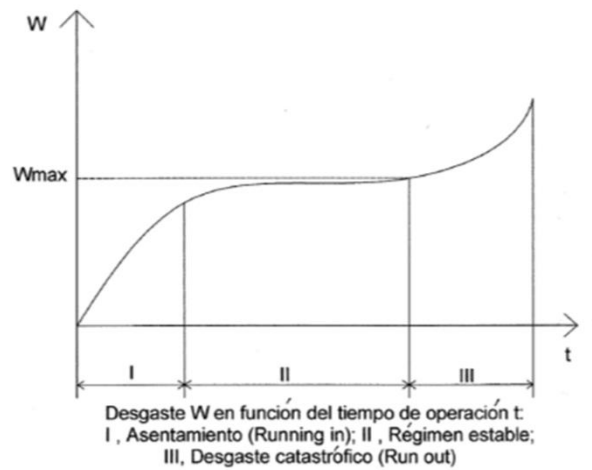


Figura 24. Etapas del desgaste. Se observan tres etapas con distintos ritmos de desgaste. Fuente: Martínez, F (2002) La Tribología: ciencia y técnica para el mantenimiento. Tema III. El desgaste de los sólidos Editorial Limusa Noriega, México. 67

2.8 Micro mecanismos de desgaste.

La diferencia entre los comportamientos tribológicos de varios materiales se puede comprender en algunos casos solo con la ayuda de equipos que realizan análisis de escala micrométrica (10^{-6} m) o nanométrica (10^{-9} m) para observar cómo realmente pierden masa los elementos que están afectados por el desgaste. Se definen entonces micro- mecanismos de desgaste como los siguientes: micro-corte, micro -arado, micro-fatiga, micro-agrietamiento. El micro - corte (Figura 25 a)

consiste en la remoción de material por medio de una partícula abrasiva que forma un surco en la superficie y desprende material en forma de hilo o viruta. El micro – arado (Figura 25 b) consiste en deformación plástica alta sobre la superficie causada por una partícula abrasiva o por un cuerpo solido que produce la formación de un surco, más sin embargo no se produce desprendimiento de material o este es muy bajo. El micro - agrietamiento (Figura 25 c.) consiste en la propagación de grietas sobre la superficie al estar en contacto esta con una partícula abrasiva, produciendo el desprendimiento de “trozos” de superficie desgastada. La micro-fatiga (Figura 25 d.) se produce por sucesivos contactos contra las superficies que causan deformación plástica (micro – arado) sucesiva y desprendimiento de material por sucesivas deformaciones y grietas.

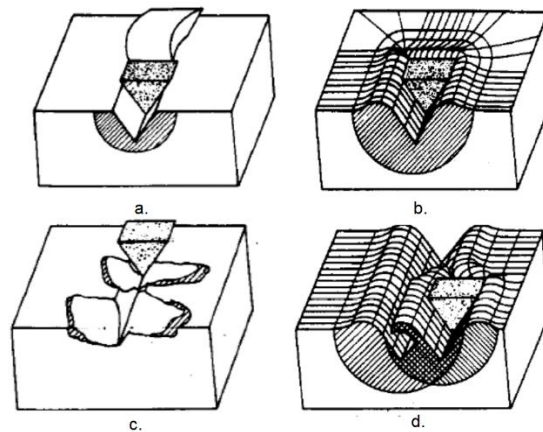


Figura 25. Representaciones de los micro- mecanismos de desgaste. a) Micro-corte. b)Micro- arado. c) Micro -agrietamiento. d)Micro fatiga. Fuente: Zum Gahr, K. H. Microstructure and wear of materials. Tribology Series, Ed. Elsevier Science Publishers B. V. vol. 10, 1987.

Un ejemplo de micro - corte se observa en la Figura 26. En ella se ve un surco (marca en diagonal) y un hilo de material (viruta blanca) que ha sido desprendido.

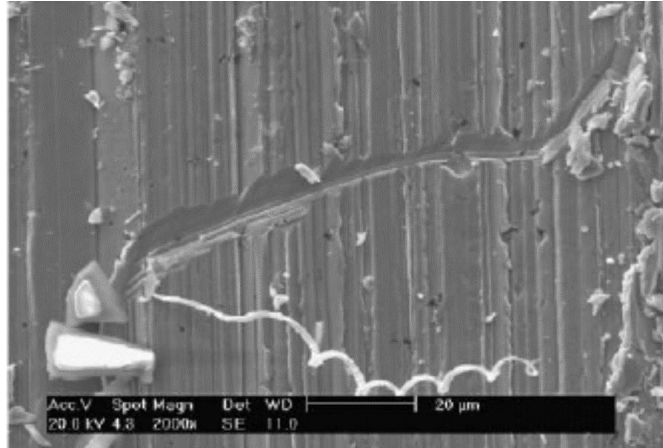


Figura 26. Micro -corte sobre superficie observada con microscopio electrónico de barrido. Se observa una fibra de material (viruta) que fue cortada de la superficie. Fuente: J.J.Coronado. A. Sinatora/Wear 267 (2009) 2116-2121.

La Figura 27 se muestra otro caso de microcorte en el cual se ha acumulado material desprendido al final del surco formado.

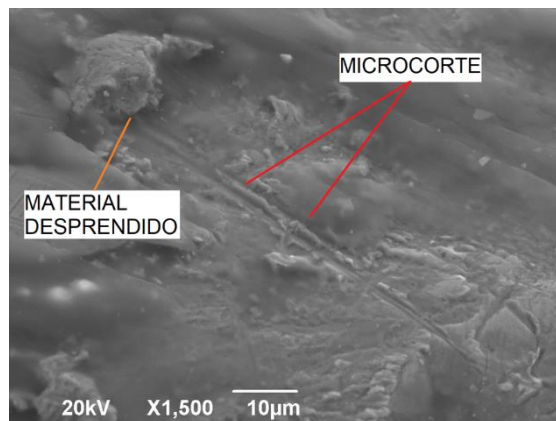


Figura 27. Surcos dejados por un fenómeno de micro arado sobre acero al manganeso utilizado como material de impacto en fragmentación de chatarra metálica. Se observa acumulación de material al final del surco. Fuente:

En la Figura 28 se puede apreciar el micro mecanismo llamado micro-arado. Se observan líneas grises paralelas (surcos) con bordes blancos. Los bordes blancos son el material deformado y desplazado hacia los lados de los surcos.

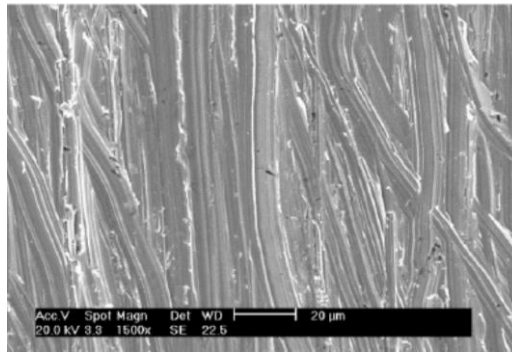


Figura 28. Microarado observado sobre superficie desgastada. Se observan surcos con bordes blancos que son evidencia de material desplazado y deformado hacia los bordes del surco. Fuente: J.J.Coronado, A.Sinatora/Wear 271 (2011) 1794-1803.

El micro - agrietamiento se presenta en la Figura 29 Se puede observar en ella un surco de orientación horizontal y varias grietas (*cracks*) que se produjeron en el material y muestran diferentes orientaciones (longitudinal y transversal).

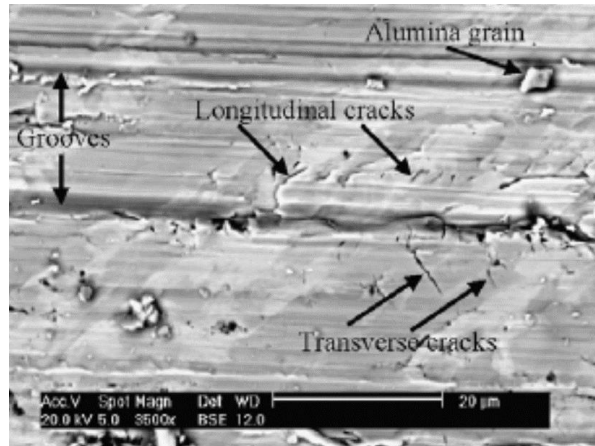


Figura 29. Micro agrietamiento en superficie desgastada. Se observan grietas horizontales paralelas al surco formado por el abrasivo y también grietas transversales. Fuente: J.J.Coronado/Wear(2011) 287-293.

2.9 Aplicaciones y procesos que involucran desgaste

Los procesos industriales en los cuales está presente el desgaste se encuentran prácticamente en todas las industrias. A continuación, se presentan algunos procesos en donde el desgaste es un fenómeno muy relevante y el estudio tribológico de los componentes es muy necesario.

Un chut de descarga es un accesorio utilizado en la industria minera, industria de alimentos, industria de manufactura o en industria de reciclaje de basuras para transportar por medio de la fuerza de gravedad, un material empacado o a granel desde un depósito, o tolva hasta una maquina procesadora, o un vehículo de transporte. El roce entre los materiales y las superficies del chut crean condiciones de desgaste en ellas, perdiendo estas su acabado superficial y volviéndose ásperas. El aumento de la aspereza disminuye su eficiencia al aumentar la fricción entre los materiales y el chut, haciendo lento el tránsito de los materiales o contaminándolos

con partículas desprendidas de la superficie desgastada. Un modelo digital de chut se observa en Figura 30.

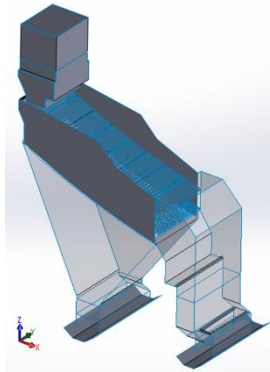


Figura 30. Chut para conducción y descarga de materiales por gravedad. El material descargado causa fricción permanente contra la superficie generando desgaste.
Fuente: <https://www.sermincho.cl/index.php/proyectos/>

Dentro del industria minera existen las maquinas trituradoras que son empleadas para partir rocas , carbón, caliza , o cualquier material pétreo por medio de impactos sucesivos de los materiales contra componentes de la máquina. La trituradora de mandíbula es una de las maquinas utilizadas en la minería. Consiste principalmente en dos piezas metálicas de forma plana y separadas entre si, entre las cuales circula el material a triturar. Por medio de un mecanismo las dos placas se acercan periódicamente, impactando sucesivamente al material procesado. Estos impactos sucesivos someten a las superficies a desgaste por impacto. Una máquina de este tipo se presenta en la Figura 31.

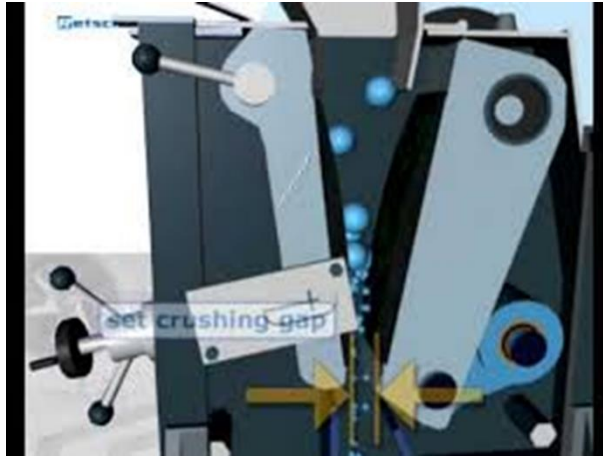


Figura 31. Trituradora de mandíbula para trituración de materiales pétreos. Las partículas azules son golpeadas entre las dos placas metálicas (mandíbulas). Fuente: <https://larevista.aqpsoluciones.com/2018/07/03/trituradora-de-mandibula/>

Otro equipo industrial que involucra transporte de materiales es el tornillo sinfín alimentador para materiales a granel. Este equipo transporta materiales como, granos (alimentos), minerales, sal, harina entre otros. El tornillo al girar sobre su eje genera un movimiento de empuje contra el material desplazándolo y transportándolo que produce desgaste del material del tornillo (Figura 32).



Figura 32. Tornillo sin fin para transporte de materiales a granel . Se observa la abertura de descarga en un extremo y el motor en el otro . Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>

Los engranajes están sometidos permanentemente a desgaste superficial sobre sus dientes. Este contacto genera desprendimiento de masa de la superficie de los dientes generando ruido y vibraciones durante su funcionamiento. El contacto entre dientes se observa claramente en la Figura 33

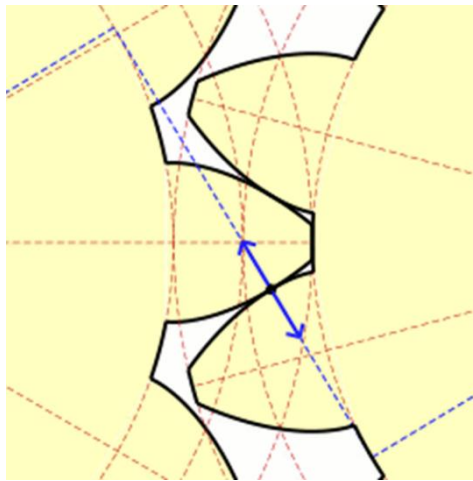


Figura 33. Contacto entre dientes de engranajes . El contacto ciclico genera fatiga por contacto. Fuente: De Claudio Rocchini - Trabajo propio, CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1309245>

2.10 Resultados de investigación

ORGANIZADORES:

ALBERTO VELEZ RODRIGUEZ
SANDRA MILENA RAMOS ARTEAGA
DALILA VICTORIA RINCON

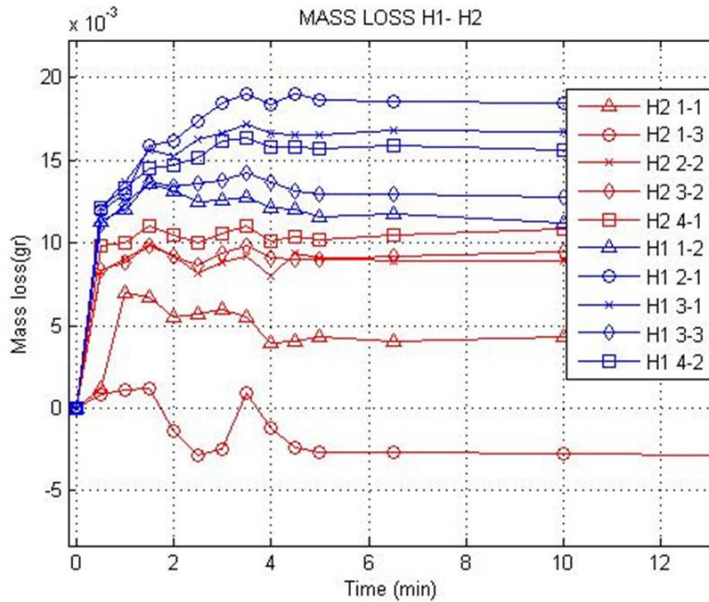


Figura 34. Pérdida de masa de martillos de molino sometidos a desgaste por impacto. El material con mayor contenido de carbono y de manganeso se desempeñó mejor (líneas rojas) y perdió menos masa. Fuente: Proceedings of the 4th International Conference on Fracture Fatigue and Wear, pp. 180-188, 2015

Algunos resultados de investigaciones en tribología se presentan a continuación. La Figura 34 presenta los resultados obtenidos en una prueba de desgaste por impacto en diez martillos de un molino de martillos basculantes. La pérdida de masa (*mass loss*) se observa en el eje vertical en milésimas de gramo, mientras que el tiempo de prueba transcurrido (en minutos) se encuentra en el eje horizontal (minutes). Se observa que cada martillo pierde masa aceleradamente hasta transcurridos 5 minutos. Después la pérdida de masa se vuelve muy baja. Se pueden identificar entonces dos periodos en el fenómeno de desgaste por impacto el primero con rápida pérdida de masa que dura 5 minutos aproximadamente (periodo de asentamiento *running in*) y un periodo con un desgaste aparentemente

más estable y menos notorio (régimen estable). Los martillos estudiados en esta prueba de desgaste tenían dos composiciones químicas distintas. Los martillos correspondientes a las líneas rojas tenían mayor contenido de carbono y de manganeso que los correspondientes a las líneas azules, mostrando un mejor desempeño los primeros debido a que perdieron menos masa.

El fenómeno de desgaste por erosión (Figura 35) también ha sido estudiado para conocer la influencia de varios factores como la forma de las partículas, erosivas en el desgaste de superficies, el material de las partículas (cuarzo, carburo de silicio, alúmina), el ángulo de incidencia con el cual las partículas golpean la superficie, y la dureza del material desgastado (Aleación de aluminio y acero inoxidable). Estos factores influyen en la magnitud del desgaste producido.

Para el material dúctil y menos duro, que fue la aleación de aluminio, el ángulo de impacto crítico (15°) es menor que el observado para el acero inoxidable (22.5°). El mayor desgaste lo produjo la partícula de alúmina tanto sobre aleación de aluminio como sobre el acero inoxidable. Se pudo concluir con base en estos resultados que los ángulos de incidencia más bajos afectan a los materiales dúctiles en mayor medida que a los frágiles. También se concluyó que las partículas erosivas con formas alargadas y bordes cortantes (que en este estudio fue la alúmina) causan mayor pérdida de masa que las de forma redondeada.

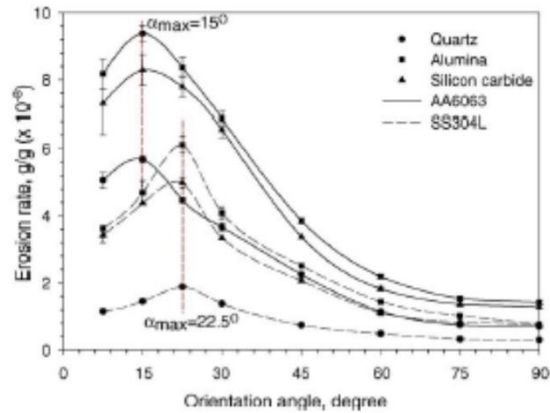


Figura 35. Grafica que relaciona el tipo de partícula, el material desgastado y el ángulo de impacto para fenómenos de corrosión. Fuente: G.R.Desale et al/Wear261(2006) 914-921

2.11 Últimos desarrollos

En la actualidad se realiza investigación en fenómenos de desgaste aplicando la nanotribología. Esta rama de la tribología estudia las superficies y el desgaste a escalas de 10^{-9} m (nanómetros). Uno de los desarrollos tecnológicos que estimularon los estudios en nanotribología fue el desarrollo de circuitos electrónicos (Figura 36). La gran cantidad de elementos y chips electrónicos que se usan actualmente en nuestros equipos como los teléfonos celulares, y computadores que requieren trabajo de alta precisión y en donde un daño superficial pequeño puede estropear un microcircuito.



Figura 36. Circuito electrónico sobre tarjeta. Fuente:
<http://blackturnzero.blogspot.com/2010/10/circuito-electronico.html>

Agradecimientos.

El autor quiere agradecer a la Sección de Ciencias Básicas y al Comando del Grupo Académico” Escuela Militar de Aviación “ Marco Fidel Suarez “ por facilitar el espacio de encuentro y reflexión científica “Hablando de Ciencia en EMAVI” y por hacerme participe de él, por medio de este artículo producto de mi conferencia en dicho espacio académico.

BIBLIOGRAFÍA

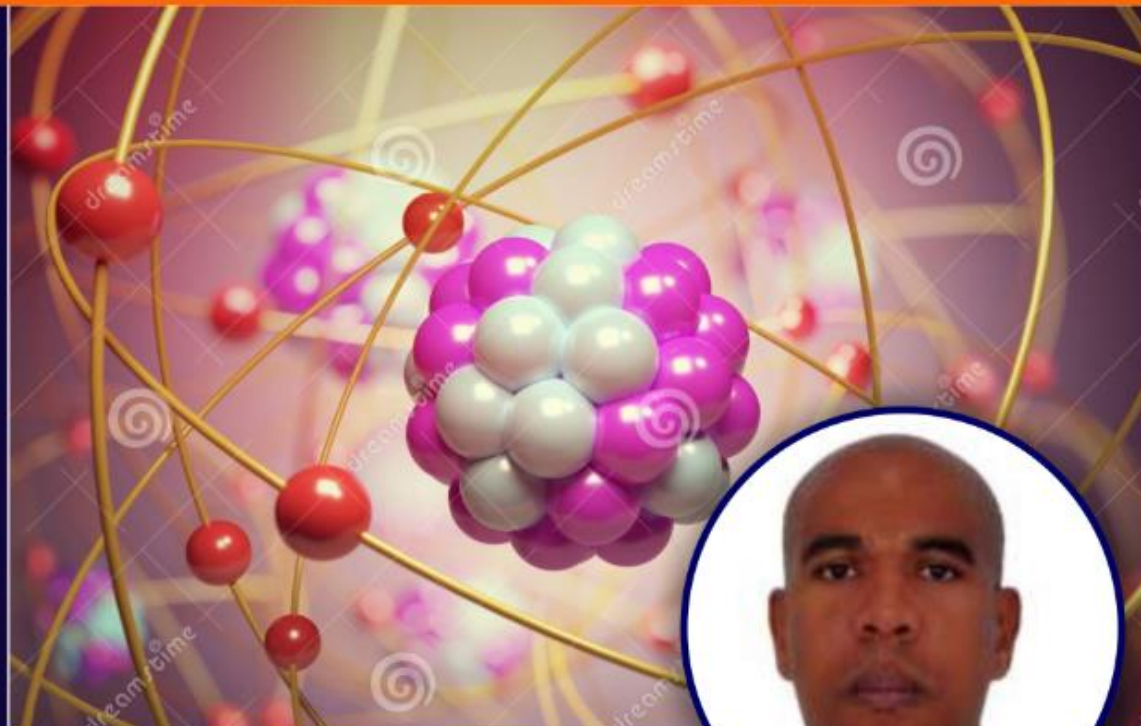
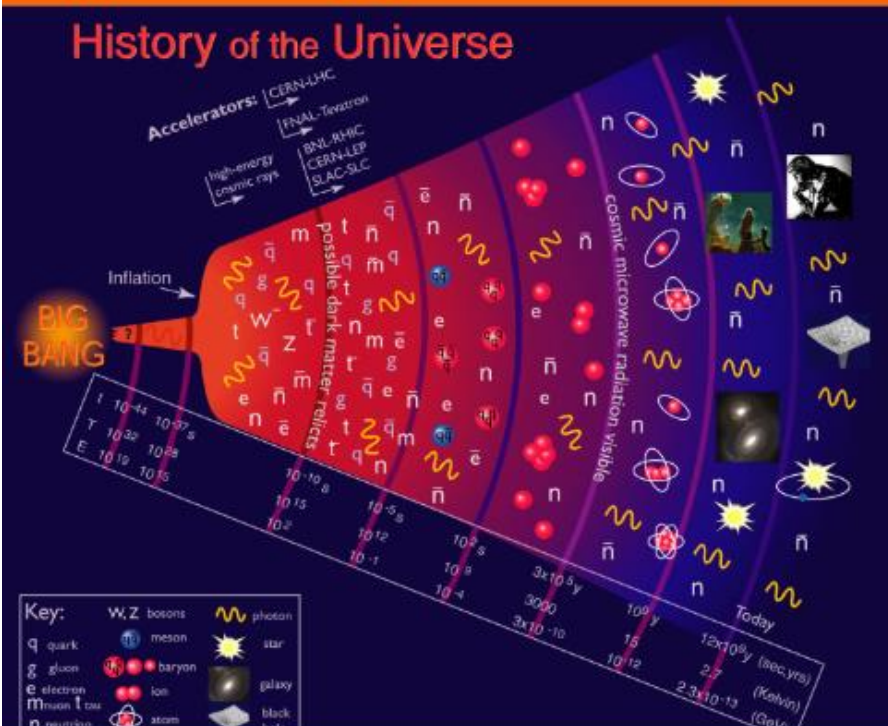
- Martinez, F. (s.f.). *La tribología: Ciencia y técnica para el mantenimiento (tema III)*. Mexico: Limusa.
- Zum Gahr, K. (1987). *Microstructure and wear of materials Tribology series*. (E. S. B.V., Ed.) 10.



FUERZA AÉREA COLOMBIANA
 ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN "MARCO FIDEL SUÁREZ"
 GRUPO ACADÉMICO



Hablando de Ciencia en EMAVI



Conferencia: **"PARTICULAS ELEMENTALES"**



Conferencista:
JORGE ELIECER MURILLO BALLESTEROS

Jueves **07** MAYO 2020 **10:00** horas

Organiza: **Depto Ciencias Básicas**

Para unirse a la conferencia por favor utilice el siguiente enlace:
 URL: <https://lobby.sar.ruav.edu.co/#/GEO2SZO10C4>

“PARTÍCULAS ELEMENTALES”



Perfil Profesional:

Jorge Eliecer Murillo Ballesteros, físico de la Universidad del Valle.

Con amplia experiencia en docencia universitaria. En la actualidad se desempeña como Profesor de planta del Departamento de Ciencias Básicas de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”, EMAVI, profesor hora catedra en el Departamento de física de la Universidad del Valle y de la Universidad Nacional de Palmira. Cuenta con 7 años como docente en la EMAVI.

Dentro de su trayectoria esta la labor docente en diferentes universidades de la ciudad de Cali, dentro de ellas está la Universidad Autónoma de Occidente.

Partículas elementales

Murillo. B, J. E.

Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suarez

Resumen

Lo que pretende el presente trabajo es llegar a una definición de lo que es una partícula elemental, para ello se realiza un viaje en el tiempo de los diferentes modelos atómico que han pretendido explicar la estructura o de que está hecha la materia. Al final del viaje se concluye que los constituyentes últimos de la materia son los electrones y los quarks up y down, las verdaderas partículas elementales.

Palabras clave: Partícula elemental, átomo, electrón, quark

Introducción

Desde tiempos inmemoriales el hombre se ha preguntado de que están hechas las cosas, uno de los primeros en responder a esta cuestión fue el filósofo y poeta griego Empédocles (484 a.C. - 424 a.C.). Empédocles postula que todas las cosas están constituidas por cuatro elementos; tierra, aire agua y fuego.

.... Empédocles postuló como principios constitutivos de todas las cosas cuatro «raíces» o elementos inalterables y eternos (el agua, el aire, la tierra y el fuego), que, al combinarse en distintas proporciones por efecto de dos fuerzas cósmicas (el Amor y el Odio), dan lugar a la multiplicidad de seres del mundo físico. Recuperado de <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/e/empedocles.htm>

La teoría de los cuatro elementos fue retomada y ratificada por Aristóteles (384 a.C. – 322 a.C.). Esta teoría permanece hasta que aparecen los primeros atomistas. Entre los cuales se encuentra Demócrito, quien fue discípulo de Leucipo. Demócrito nace hacia el 460 antes de Cristo en Abdera, Tracia.

“Demócrito desarrolló y complementó la teoría atómica del universo, la cual fue planteada inicialmente por su maestro **Leucipo**, Aquella teoría planteaba que el universo está constituido por grandes cantidades de átomos sustancialmente idénticos, indivisibles e indestructibles, estos están en constante movimiento en el vacío y los elementos que componen el universo, hay diferencias entre ellos únicamente en su posición, forma y dimensiones. Demócrito planteó unos postulados para explicar mejor su teoría atómica, estos eran explicados mediante razonamientos lógicos, ya que las teorías filosóficas griegas no apoyaban plantear postulados mediante experimentos. Los 3 postulados de la teoría de Demócrito son:

- Los átomos son indivisibles, eternos, incomprensibles, homogéneos e indivisibles.
- Los átomos difieren en forma y tamaño, pero sus cualidades internas son iguales.
- Las propiedades de la materia cambian según la agrupación de los átomos.

Demócrito también afirmaba que todo lo que rodea la naturaleza es una mezcla de átomos y vacío, por lo que explico que los átomos se mueven de manera natural y consustancial, en el movimiento que hacen, estos colisionan entre sí y se combinan cuando sus propiedades, características y formas lo permiten. El filósofo también explicó, que en el universo se presentan colisiones entre átomos que generan una especie de torbellinos los cuales dan lugar a variados mundos que tienen un proceso de formación y otros que desaparecen rápidamente”. (Felipe, 2017)

La teoría atomista fue olvidada durante varios siglos, puesto que esta estaba sustentada en argumentos filosóficos y no experimentales. No es si no hasta el siglo XIX donde vuelve y se retoma la idea del atomismo. Antes de este siglo básicamente la ciencia (ciencia medieval) se dedicó a estudiar lo concerniente al cosmos, a entender y comprender el movimiento planetario y las estrellas, es decir, básicamente a comprender el comportamiento del mundo macro. Por lo tanto, toco esperar hasta John Dalton y Joseph Proust, quienes retomaron la idea o el concepto de átomo propuesto por Demócrito.

En este artículo se presentará un breve resumen de la historia del átomo, hasta llegar a las verdaderas partículas elementales, las cuales son los constituyentes

últimos de la materia. En este trabajo se pretende mostrar cuales son los constituyentes últimos de la materia (*partículas elementales*), y como se llegó a estos. No se pretende dar una explicación completa y detallada de estas partículas pues este cometido está fuera de nuestro alcance. Lo verdaderamente se quiere es que las personas que no están familiarizadas con el tema en cuestión tengan un entendimiento básico de lo que es una partícula elemental.

Una breve historia del átomo

A continuación, se listarán (a manera de línea de tiempo) los científicos y hechos relevantes que dieron lugar al descubrimiento de los átomos y sus constituyentes últimos. No se entrará a explicar detalladamente cada uno de los hechos y modelos atómicos, pues no es el propósito del presente artículo, lo que realmente se busca es mostrar de que está hecha la materia ordinaria para así poder definir lo que verdaderamente se considera una partícula elemental.

- En 1789 - ANTOINE LAURENT de LAVOSIER (1743 -1794), biólogo, economista y sobre todo químico de origen francés, considerado el padre fundador de la química moderna junto a su esposa Marie-Anne Pierrette Paulze. En su “*Traité élémentaire de chimie*”, clarifica el concepto de elemento como una sustancia simple que no se puede dividir mediante ningún método de análisis químico conocido.

- En 1808 - JOHN DALTON (1766-1844), científico inglés publica “*A New System of Chemical Philosophy*” donde propone su Teoría Atómico-Molecular en la que recupera el concepto de átomo propuesto por Demócrito, en cuatro postulados:
 - La materia está formada por partículas indivisibles llamadas átomos.
 - Los átomos de un elemento son iguales en masa y propiedades.
 - Los átomos de diferentes elementos son diferentes en masa y propiedades.

- Los átomos se combinan en proporciones sencillas para formar moléculas.

La teoría de Dalton se conoce como "*ley de proporciones múltiples*" que se puede resumir: "*si dos elementos se pueden combinar para formar una serie de compuestos, la relación de masa del segundo elemento que se combina con una masa fija del primer elemento será una relación de números enteros pequeños*"

Es de anotar que Dalton al igual que Demócrito considera los átomos como esferas macizas sin estructura interna.

- En 1833 - MICHAEL FARADAY (1791-1867), propone las leyes de la electrólisis con las que establece que cada átomo es portador de una determinada cantidad de electricidad. Pionero de la relación entre la materia (átomos) y la carga eléctrica (electrones).
- 1874 - George Johnstone Stoney (1826 - 1911) fue un físico angloirlandés. Famoso principalmente por haber introducido el término electrón como la "unidad fundamental de la cantidad de electricidad". Introdujo el concepto de electrón antes de que se descubriera la propia partícula. Se dedicó a realizar una primera evaluación del número de Avogadro. En 1874 estableció la hipótesis según la cual la electricidad era creada por unos corpúsculos elementales que llamó electrones.
- En 1879 - Sir WILLIAM CROOKES (1832-1919), descubre que los rayos catódicos rayos catódicos, los cuales presentan las siguientes características.
 - Se propagan en línea recta desde el cátodo al ánodo.
 - Producen fluorescencia en las paredes del tubo.
 - Golpean objetos que se ponen en su camino.
 - Son desviados por campos eléctricos y magnéticos.

- En 1894 - JOSEPH J. THOMSON (1856-1940), supone que Dalton estaba equivocado; porque el átomo estaba compuesto de electrones, partículas más pequeñas que el átomo. Los experimentos de Thomson mostraron que las partículas negativas son todas iguales y más pequeñas que los átomos. Thomson llegó a la conclusión de que las partículas negativas no podían ser las unidades fundamentales de la materia, ya que eran todas iguales. En lugar de ello, planteó que deberían ser parte de los átomos. Las partículas negativas fueron más tarde llamadas electrones.

Thomson mide la velocidad de los rayos catódicos y descubre que es mucho menor que la de la luz, lo que indica que no se trata de radiación electromagnética y que por lo tanto estos rayos están compuestos por partículas (electrones), básicamente lo que significa esto es el descubrimiento de los electrones por parte de Thomson.

- En 1895 - CHARLES T. R. WILSON (1869-1959), físico Escoses y alumno de J. J. Thomson. Investigador del Laboratorio Cavendish, construye la cámara de niebla, La cual consiste en un bulbo ocupado por vapor de aire saturado, aire saturado de vapor de agua que se expansionaba de forma adiabática y al enfriarse se condensaban gotas de agua. Este hecho fue aprovechado para visualizar y estudiar partículas atómicas.



Cámara de Niebla. Ulloa, N. (2017) Cámara de Niebla. Figura 1. Recuperado de (Ulloa, 2017)

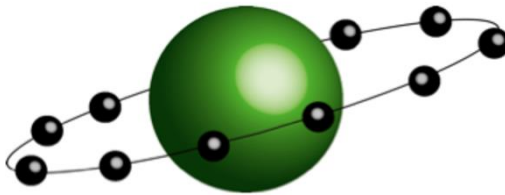
- Entre 1897 y 1900, J. J. Thomson,
- mide la relación e/m (carga específica) de los rayos catódicos.
 - Obtiene el valor $1,759 \cdot 10^{11} \text{C/kg}$. Llega a la conclusión de que los electrones están presentes en todos los elementos fundamentales de la materia ordinaria.
 - Usando la cámara de niebla *Tubo de rayos catódicos* (T.R.C) de WILSON, mide la carga del electrón rodeándolo de gotas de agua condensadas a partir de una atmósfera húmeda y obtiene un valor de $1,1 \cdot 10^{-19} \text{C}$ (erróneo).
 - Reconoce que las partículas emitidas en el efecto fotoeléctrico tienen la misma relación e/m que los rayos catódicos.

Con los descubrimientos realizados por Thomson queda sentado que los electrones están presentes en todos los elementos y que los átomos están compuestos por otras partículas, es decir los átomos tienen una estructura.

- En 1903 - PHILIPP von LENARD (1862-1947)
 - Publica su concepto de átomo como un conjunto de lo que llama **dinamidas**, pequeñas y separadas amplios espacios; que tienen masa y que imagina como dipolos eléctricos conectados y cuyo número coincide con el de la masa atómica.
 - La materia sólida en el átomo era alrededor de una mil millonésima parte de todo el átomo.

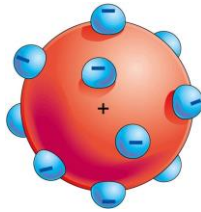
Se puede afirmar que Lenard fue el primero en suponer que el átomo estaba vacío en su mayor parte.

- En 1904 - HANTARO NAGAOKA (1865-1950). Físico Japonés, propone su modelo saturniano del átomo, en el que una partícula cargada positivamente se encuentra rodeada por unos anillos de electrones. Este modelo fue rechazado por Thomson al demostrar que era inestable



Modelo atómico de Nagaoka, Figura 2. (Física cuántica en la red, 2014)

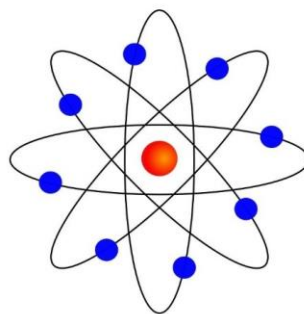
- En 1904 – Thomson, investiga rigurosamente el modelo de Nagaoka y realiza una serie de cálculos concernientes a su estabilidad y ubica “On the Structure of the Atom” donde propone el modelo atómico del “budín de pasas” en el que los átomos consisten en un número de corpúsculos (electrones) encerrados en una esfera de carga positiva



Modelo atómico de Thomson. Figura 3. Recuperada de (INICIOS DE LA FÍSICA MODERNA HASTA LA ACTUALIDAD., 2017)

➤ En 1911 - ERNEST RUTHERFORD (1871 – 1937), propone el modelo atómico que lleva su nombre, el cual presenta las siguientes características

- El átomo está formado por partículas positivas y negativas
- La masa (positiva) más grande del átomo se encuentra en un pequeño volumen central, Rutherford inicialmente no lo denominó núcleo sino hasta el año 1912.
- los electrones con carga eléctrica negativa se mantienen girando alrededor del núcleo y que lo hacen en movimientos circulares, a los cuales denominé órbitas.
- Los electrones se encuentran girando en torno al núcleo debido a la fuerza de atracción eléctrica entre estos y el núcleo



Modelo atómico de Rutherford. Figura 4. Recuperada de <https://www.modeloatomico.com/rutherford/>

➤ En 1913 - NIELS BOHR (1885-1962), propone el modelo atómico cuantizado en el que combina el modelo nuclear clásico de Rutherford, la teoría cuántica de Planck y el concepto de fotón de Einstein. El cual se describe mediante 2 postulados:

- Aunque las órbitas de los electrones en torno al núcleo están gobernadas por ecuaciones clásicas, solo es posible un conjunto de tales órbitas estacionarias las cuales verifican ciertas condiciones de cuantización $mvr = nh/2\pi$. De donde, $n=1, 2, \dots$ y h es la constante de Planck
- Los electrones al girar en órbitas estacionarias no emiten energía. Cuando un átomo pasa de un estado estacionario a otro, emite o absorbe radiación electromagnética, cuya energía es igual a la diferencia de las energías de los dos estados entre los que ocurre la transición.

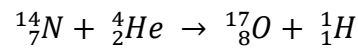
$$E_2 - E_1 = h\nu$$

➤ En 1916 - ARNOLD SOMMERFELD (1868-1951), corrige el modelo atómico de Bohr introduciendo los siguientes cambios:

- reemplazando las órbitas circulares de los electrones por órbitas elípticas.
- Introduce el número cuántico secundario o azimutal (l) relacionado con la excentricidad de la órbita y que cuantiza el momento angular del electrón al girar en ésta.
 - $l = 0$ se denominarían posteriormente orbitales s o Sharp
 - $l = 1$ se denominarían p o principal
 - $l = 2$ se denominarían d o diffuse
 - $l = 3$ se denominarían f o fundamental

Es de anotar que Sommerfeld realizo las anteriores correcciones con la ayuda de la relatividad de Einstein.

- 1919 - ERNEST RUTHERFORD, realiza la primera reacción nuclear de la historia, al bombardear átomos de nitrógeno con partículas alfa aislando una nueva partícula atómica, el *protón*.



Convirtiéndose así en el primer alquimista de la historia

- En 1924 - LOUIS V. de BROGLIE (1892-1987), Propone que los electrones tengan propiedades ondulatorias que permitan la explicación de los estados de energía estacionarios de los átomos como debidos al establecimiento de ondas estacionarias.

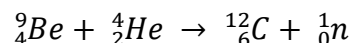
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Con esta propuesta de Broglie abre el camino para el modelo atómico de los orbitales (actual)

- En 1926 - ERWIN SCHRÖDINGER (1887-1961), propone su modelo atómico donde aparece por primera vez el concepto de orbital atómico. Las principales características o postulados en los cuales está fundamentado el modelo son: (Torres, 2015)

- Describe el movimiento de los electrones como ondas estacionarias.
- Los electrones se encuentran en constantemente movimiento en el átomo, es decir, no tienen una posición fija o definida dentro del átomo.
- En este modelo no predice la posición, como tampoco describe la trayectoria que sigue del electrón dentro del átomo. Solo establece una zona de probabilidad para encontrar al electrón.
- Estas zonas o regiones de probabilidad se denominan orbitales atómicos. Los orbitales describen un movimiento de traslación alrededor del núcleo del átomo.

- Estos orbitales atómicos tienen diferentes niveles y subniveles de energía, y pueden definirse entre nubes de electrones.
 - El modelo no contempla la estabilidad del núcleo, solo se remite a explicar la mecánica cuántica asociada al movimiento de los electrones dentro del átomo.
- En 1927 - GEORGE P. THOMSON (1892-1975) y CLINTON J. DAVISSON (1881-1958), confirman experimentalmente la naturaleza ondulatoria del electrón al conseguir la difracción de electrones a través de una red cristalina. Es de anotar que el fenómeno de difracción solo se puede dar cuando se experimenta con ondas.
- 1930 - PAUL A. DIRAC (1902-1984), postula la existencia de antipartículas, como el positrón (e^+), la antipartícula del electrón.
- En 1932 - JAMES CHADWICK (1891-1974), investigador del Laboratorio Cavendish y colaborador de Rutherford, identifica la radiación penetrante que aparece en la transmutación



como el neutrón. Partícula postulada por Rutherford y bautizada por William D. Harkins (1921).

- En 1932 – CARL C. ANDERSON (1905-1991), descubre el positrón (e^+) partícula subatómica con la misma carga que el electrón, pero cargada positivamente. Partícula que había sido predicha años antes (1930) por Paul A. Dirac.
- En 1964 - MURRAY GELL-MANN (1929) y GEORGE ZWEIG (1937), Proponen la existencia de los quarks, pequeños trozos de materia que son los

constituyentes fundamentales de la materia. Varias especies de quarks se combinan de manera específica para formar partículas tales como protones y neutrones.

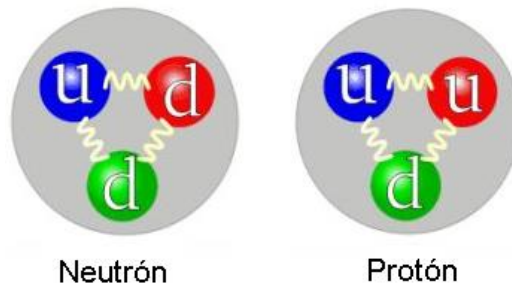


Figura 5. Composición en quarks del protón y el neutrón. Imagen recuperada de Wikipedia

- En 1964 - PETER HIGGS (1929), Propone (1964) la existencia de una partícula que explicaría la razón de la existencia de masa en las partículas elementales. Partícula conocida entre los físicos como la *partícula divina* o *bosón de Higgs*
- En 2012 (04.jul.12) – El Centro Europeo de Investigaciones Nucleares, conocido “CERN” por sus siglas en ingles anuncia la observación de una nueva partícula consistente con el “bosón de Higgs” pero que necesitaría más tiempo y datos para confirmarlo.
- En 2013 - FRANÇOIS ENGLERT (1932) y PETER W. HIGGS (1929), son galardonados con el Premio Nobel de Física “por el descubrimiento teórico de un mecanismo que contribuye a la comprensión del origen de la masa de las partículas subatómicas”.

De acuerdo con lo que se ha presentado hasta aquí se tiene que las verdaderas partículas elementales no son los átomos, protones, neutrones y electrones. Son los electrones y los quarks, dado que estos no tienen estructura interna, es decir, no están conformados por otras partículas.

Ahora se procederá ahondar un poco más sobre los quarks, pues de los electrones se tiene cierto conocimiento.

Los quarks se agrupan en tres generaciones, esta clasificación se realiza de acuerdo a la masa (la masa de las partículas elementales se mide en electrón volts, eV) de estos, siendo la primera generación menos masiva que la tercera. En la siguiente figura se ilustran los diferentes tipos de quarks y su correspondiente masa.

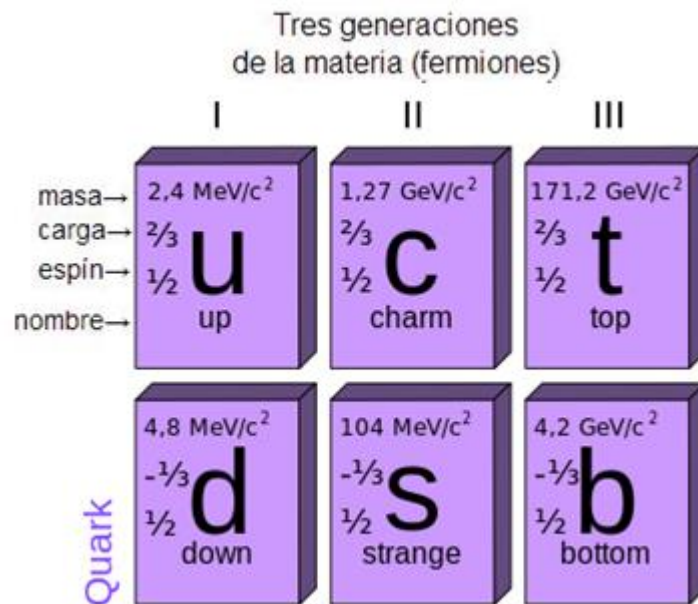


Figura 6. Tipos de quarks. Imagen recuperada de Wikipedia

La figura 6 muestra como ya se dijo los diferentes tipos de quarks existentes hasta hoy. Es de anotar que todas las partículas subatómicas vienen caracterizadas por tres parámetros: masa, carga, spin. El spin es una propiedad que está asociada con el momento angular intrínseco y tiene un valor fijo.

Las partículas elementales se clasifican en dos grupos de acuerdo con el valor de su spin, los fermiones o leptones tienen spin semi entero y los bosones (siguen la estadística de Bose -Einstein) que tienen spin entero (0 o 1). De acuerdo con lo que se acaba de mencionar y con la información suministrada en la figura anterior se tiene que todos los quarks son fermiones, (se llaman fermiones porque siguen la

estadística de Fermi-Dirac). Los bosones son las partículas que transmiten fuerzas de interacción.

La figura 6, también muestra los nombres de los diferentes tipos de quarks, tal como se puede observar estos nombres son bastante sui géneris, a continuación, se listan sus nombres con sus respectivas traducciones al español: quark up (arriba), quark down (abajo), quark charm (encanto), quark strange (extraño), quark top (cima), y quark bottom (fondo).

Es de anotar que los quarks *aborrecen* estar solos, entre ellos combinan en parejas y tríos para dar origen a otras partículas. Por ejemplo, en la figura 5 se puede observar que los protones y neutrones están formados por tres quarks, en el caso del protón dos up y un down, y el neutrón dos down y un up.

Cuando los quarks se combinan en parejas dan lugar a otras partículas llamadas mesones. La siguiente tabla ilustra algunos Mesones

MESONES $q\bar{q}$					
Los mesones son bosones hadrónicos. Hay unos 140 tipos de mesones.					
Símbolo	Nombre	Quark	Carga Eléctrica	Masa GeV/c^2	Spin
π^+	pión	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaón	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Tabla 1. Bosones hadrónicos (mesones). Recuperada de Wikipedia

En la tabla se observa que algunas partículas tienen una barra horizontal arriba de ellas, esta raya quiere simbolizar que se trata de una antipartícula.

Se tiene que para cada partícula existe también una antipartícula, con propiedades similares (masa, espín, etc.), pero carga eléctrica opuesta (y las cargas asociadas a las interacciones no electromagnéticas que también son opuestas).

Partícula	Símbolo	mc^2 (MeV)	carga	Antipartícula
electrón	e^-	0.511	-e	positrón, e^+
positrón	e^+	0.511	+e	electrón, e^-
protón	p	938.26	+e	anti-protón, \bar{p}
neutrón	n	939.53	0	anti-neutrón, \bar{n}
neutrino	ν	0	0	anti-neutrino, $\bar{\nu}$
antineutrino	$\bar{\nu}$	0	0	neutrino, ν

Tabla 2. Partículas y antipartículas. Recuperada de (Amaro, 2006)

Si los quarks se combinan en tríos, entonces dan lugar a otras partículas llamadas Bariones. En la siguiente tabla muestra algunos Bariones.

Bariones qqq			Antibariones $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$		
Los bariones son hadrones fermiónicos. Hay unos 120 tipos de bariones					
Símbolo	Nombre	Quark	Carga Eléctrica	Masa GeV/c^2	Spin
p	protón	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	Anti-protón	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutrón	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Tabla 3. Bariones. Recuperada de Wikipedia

En física de partículas las interacciones (fuerzas) entre las partículas (por ejemplo, ¿cómo es que el electrón está ligado al núcleo? o ¿Cómo es que los electrones están confinados en el núcleo?, etc.) se explican por medio de intercambio de otras partículas entre ellas, estas partículas de intercambio se llaman gluones (también campos de aforo o bosones gauge). Lo anterior quiere decir que a cada fuerza le corresponde un gluon. Por ejemplo, los quarks up y down que forman los protones y neutrones interactúan entre ellos intercambia gluones. Los gluones están caracterizados por unas cargas de color. Lo que explica la dinámica de los gluones al interior de las otras partículas es la cromodinámica cuántica (Q.C.D).

En la siguiente tabla se muestran las fuerzas fundamentales en la naturaleza y su correspondiente partícula.

Propiedad	Interacción:	Gravitacional	Débil (Electrodébil)	Electromagnética	Fuerte	
		Masa - Energía	Sabor	Carga eléctrica	Fundamental	Residual
Actúa sobre:		Todas	Quarks, Leptones	Eléctricamente cargadas	Carga Color	Ver Fuerte Residual Nota en Interacción
Partículas que lo experimentan:		Graviton	W^+ W^- Z^0	γ	Quarks, Gluones	Hadrones
Partículas mediadoras:					Gluones	Mesones
Fuerza relativa a la electromagnética para dos quarks up a una distancia de:	10 ⁻¹⁸ m	10 ⁻⁴¹	0.8	1	25	No aplicable a los quarks
	3×10 ⁻¹⁷ m	10 ⁻⁴¹	10 ⁻⁴	1	60	
		10 ⁻³⁶	10 ⁻⁷	1	No aplicable a hadrones	20

Tabla 4. Fuerzas fundamentales y sus correspondientes partículas asociadas.

Recuperada de Wikipedia

Tal como se puede ver en la tabla 4 las partículas mediadoras de fuerza son bosones puesto que tienen spin entero.

La siguiente figura muestra un resumen de las diferentes partículas elementales.

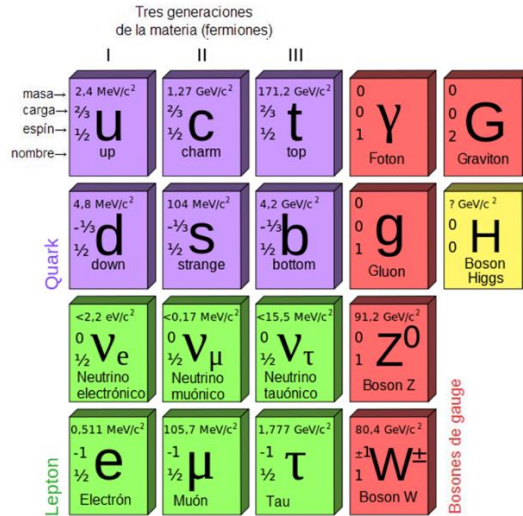


Figura 7. Partículas elementales descubiertas hasta el momento. Recuperada de (Francis (th)E mule Science's News, 2011)

Es de anotar que una de las partículas que más había sido buscada hasta el 2012 era en bosón de Higgs. Esta partícula es muy importante en el modelo estándar (el modelo estándar, al momento es la mejor teoría con la que los físicos tienen para describir el universo. Es uno de los logros más grandes de la ciencia del siglo XX), dado que con ella se puede explicar la masa de las demás partículas. Este bosón era una de las piezas que estaba faltando para completar parte del rompecabezas de la física de partículas.

En la tabla 6 y la figura 7 se “*resume*” el Modelo Estándar, que describe el universo usando 6 quarks, 6 leptones y algunas partículas “portadoras de la fuerza”. Hay cuatro fuerzas conocidas (o interacciones), cada una mediada por una partícula fundamental, conocida como partícula intermediaria o portadora. Tres de ellas son los fotones (interacción electromagnética), gravitones (interacción gravitatoria), y los gluones (interacción fuerte) que no tienen ninguna masa, mientras que las partículas W_{\pm} y Z , portadoras de la fuerza débil. (Cid Manzano & Cid Vidal, 2010)

La Gravedad está incluida solamente en el Modelo Estándar como hipótesis especulativa, pues los gravitones no se han observados directamente aún.

Conclusión

De todo lo expuesto anteriormente se concluye que existe todo un *zoológico* de partículas elementales, pero las “verdaderas” partículas elementales son los electrones y los quarks up y down pues de ellas está hecha toda la materia ordinaria tal y como se conoce hasta el momento. También no se descarta que en los próximos años aparezcan nuevas partículas o se descubran las que faltan por descubrir (gravitón).

Espero que este trabajo haya arrojado una luz y un entendimiento sobre los que son las partículas elementales.

BIBLIOGRAFÍA

Amaro, J. E. (21 de 3 de 2006). *universidad de granada*. Obtenido de <https://www.ugr.es/~amaro/radiactividad/tema1/node15.html>

Cid Manzano, R., & Cid Vidal, X. (2010). *Acercándonos al LHC*. Obtenido de https://www.lhc-closer.es/taking_a_closer_look_at_lhc/1.standard_model/idioma/es_ES

Felipe, A. (26 de Febrero de 2017). *Historia-Biografia.com*. Obtenido de <https://historia-biografia.com/democrito/#:~:text=Biograf%C3%ADa%20de%20Dem%C3%B3crito,cerca%20de%20la%20isla%20Tasos>.

Física cuantica en la red. (08 de 2014). Obtenido de <http://www.fisicacuantica.es/los-modelos-atomicos-primitivos/>

Francis (th)E mule Science's News. (19 de junio de 2011). Obtenido de <https://francisthemulenews.wordpress.com/2011/07/19/la-evidencia-experimental-de-la-existencia-de-los-gluones/>

INICIOS DE LA FÍSICA MODERNA HASTA LA ACTUALIDAD. (05 de 2015). Obtenido de <http://www.quimicas.net/2015/05/el-modelo-atómico-de-thomson.html>

INICIOS DE LA FÍSICA MODERNA HASTA LA ACTUALIDAD. (28 de 06 de 2017). Obtenido de

<http://fenomenoselectricosoyalum.blogspot.com/2017/06/modelo-atomico-de-thomson.html>.

Ruiza, M., Feranadez, T., & Tamaro, E. (2004). *Biografías y vida. La enciclopedia biográfica en línea*. Obtenido de Biografía de Empedocles de Agrigento: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/e/empedocles.htm>

Torres, J. (2015). *lifeder.com*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/modelo-atomico-de-schrodinger/>

Ulloa, N. (7 de 7 de 2017). <https://nataliaulloam.wordpress.com/>. Obtenido de <https://nataliaulloam.wordpress.com/2017/07/07/charles-thomson-camara-de-niebla/>

ORGANIZADORES:

ALBERTO VELEZ RODRIGUEZ
SANDRA MILENA RAMOS ARTEAGA
DALILA VICTORIA RINCON



FUERZA AÉREA COLOMBIANA
ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN "MARCO FIDEL SUÁREZ"
GRUPO ACADÉMICO - PROGRAMA CIENCIAS BÁSICAS



Hablando de Ciencia en EMAVI



Conferencia:

"COMUNICACIONES SATELITALES DE LA FAC EN LA ANTÁRTICA"

Conferencista:

MY. SONIA RINCÓN URBINA

<https://lobby.sar.ruav.edu.co/#/J015ZR03EPG>

12 MAYO | 11:45
2020 | A.M.



“COMUNICACIONES SATELITALES DE LA FAC EN LA ANTÁRTIDA”



Perfil Profesional:

Mayor Sonia Ruth Rincón Urbina Ingeniera Metalurgia con énfasis en Materiales compuestos de la Universidad Industrial de Santander.

Especialista en Logística Aeronáutica

MPhil Manufactura Aeroespacial Universidad de Cranfield.

Jefe del centro de investigación en tecnologías aeroespaciales de la fuerza aérea colombiana.

Con conocimientos en:

- Degradación y control corrosión
- Ensayos no destructivos y caracterización de materiales

- Experiencia aplicada a la integridad de estructuras aeronáuticas
- Aplicación de normas internacionales para estandarización de procesos de producción e inspección
- Conocimiento en calificación y certificación aeronáutica, habilidad en ensayos físico, mecánicos, químicos y fisicoquímicos de laboratorio
- Experiencia en modelamiento y simulación (Abaqus) por elementos finitos de estructuras logísticas
- Gerencia de proyectos, estructuración y liderazgo de proyectos en la generación, modificación, ejecución y control de planes, basados en metodologías adecuadas de trabajo
- Facilidades en el desarrollo de operación en post del mejoramiento.

VI EXPEDICIÓN ANTÁRTICA COLOMBIANA
PROSPECTIVA DE CAPACIDADES ESPACIALES EN LA ANTÁRTICA

TS. Carlos Tulcán, TE. Lorena Cárdenas, MY. Sonia Rincón

Resumen. Personal del Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE), representado por MY. Sonia Rincón Jefe CITAE, TE. Lorena Cárdenas Especialista en Desarrollo Tecnológico y TS. Andrés Tulcán Técnico Especialista en Desarrollo Tecnológico, hicieron parte de la VI Expedición científica de Colombia y la IV Campaña Antártica de la Fuerza Aérea Colombiana; se desplazaron en un avión C-130 Hércules FAC 1005, el 17 de enero de 2020 rumbo al Continente Antártico a más de 7 mil kilómetros de nuestro país, hasta la isla Rey Jorge en la Bahía Fildes, de allí su desplazamiento fue a bordo del buque “FUENTEALBA” de la Armada de Chile; donde navegaron cerca de un día y medio atravesando el Estrecho Bransfield hasta llegar a la Base Antártica administrada por el Ejército Chileno “Bernardo O’higgins Riquelme” donde implementaron la fase de campo del proyecto “Prospectiva de Comunicaciones Satelitales de la FAC en la Antártica.

Palabras clave: FACSAT-1, Antártida, Estación Terrena, Comunicaciones Satelitales

Introducción

El Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE) participó en la VI Expedición Científica de Colombia en la Antártida y IV Campaña Antártica FAC con el proyecto “Prospectiva de comunicaciones satelitales de la Fuerza Aérea Colombiana en la Antártida”, durante los días 17 de enero al 24 de febrero de 2020, con el objetivo de activar las capacidades en comunicaciones satelitales de la Fuerza Aérea Colombiana en la Antártica.

Se evidencian las actividades de campo realizadas durante la VI Expedición Antártica Colombiana y la IV Campaña Antártica de la Fuerza Aérea Colombiana, mediante la fabricación de un prototipo de antena Yagi y la instalación de una estación terrena portátil con el fin de verificar su funcionamiento y comunicación con el satélite FACSAT-1, en la Base Antártica del Ejército Chileno “Bernardo O’Higgins”.

Estas actividades se desarrollaron en el marco del cumplimiento de los objetivos propuestos en el proyecto, permitiendo al CITAE cumplir con su misión de apoyar las investigaciones que se adelantan actualmente con datos e información de implementación de estas en campo, para lo cual se propusieron los siguientes objetivos:

1. Definir los requisitos funcionales del sistema de recepción y transmisión.
2. Construir los componentes estación terrestre temporal del FACSAT-1
3. Implementar un protocolo técnico de comunicaciones para adquirir datos del satélite

FUERZA AÉREA EN EL CONTINENTE BLANCO

Con una mística ceremonia militar presidida por el Señor General Ramsés Rueda Rueda, comandante de la Fuerza Aérea Colombiana realizada en el Comando de Transporte Militar CATAM, se dio inicio a la IV Campaña Antártica y la VI Expedición Científica; a bordo del avión C-130 Hércules desde donde despegaron once investigadores y personal de tripulantes hacia el continente blanco. (Sección Estratégica de Prensa Fuerza Aérea Colombiana, 2020)

Despegando desde Bogotá el día 17 de enero hasta la Segunda Brigada Aérea de la Fuerza Aérea de Chile, recorriendo más de 4.300 kilómetros en nueve horas de vuelo, para al siguiente día partir hacia la Base Aérea Chabunco en Punta Arenas, estuvo el personal de investigadores dentro del Hércules 1005 de la FAC.

La tripulación del C-130 Hércules integrada por pilotos, instructores y técnicos especializados y certificados en operaciones polares, finalmente aterrizó el 19 de enero en la Isla Rey Jorge en la Antártida, en una operación totalmente autónoma, recorriendo más de mil 200 kilómetros sobre el océano antártico con condiciones meteorológicas de cielo y visibilidad favorables, aterrizando en una pista no preparada de superficie de tierra volcánica de mil 200 metros y enfrentando vientos de 18 kilómetros por hora, siendo esta la cuarta vez en la que una aeronave de la Fuerza Aérea Colombiana conquista el continente blanco. (Departamento Estratégico de Comunicaciones, 2020).

El programa Antártico de la Fuerza Aérea Colombiana tiene como finalidad contribuir a la presencia y compromiso de Colombia, a través de Investigación

Científica al descubrimiento de la Antártida, por lo que durante esta expedición los científicos desarrollarán proyectos como:

- Identificación y caracterización de fenómenos meteorológicos peligrosos para la navegación aérea asociados con los sistemas ciclónicos meso escalares antárticos.
- Identificación de peligros operacionales en la Antártida para la operación de la FAC.
- Estudios para el desarrollo de misiones análogas espaciales colombianas.
- Implementación de una turbina eólica en la Antártida, en su fase III
- Comunicaciones satélites de la Fuerza Aérea Colombiana en la Antártida.

Este último, es el proyecto del CITAE, el cual su lugar de desarrollo de actividades, a diferencia de los demás proyectos, no es la isla Rey Jorge sino la Península Antártica.

Paralelamente, el otro grupo de investigadores de la Fuerza Aérea Colombiana continúan sus estudios al interior de la Isla Rey Jorge, realizando sus investigaciones, pruebas y toma de datos como: el lanzamiento de globos sonda para la identificación y caracterización de fenómenos meteorológicos peligrosos para la navegación aérea en la Antártica y toma de imágenes con drones para la identificación de riesgos en la operación aérea. (Departamento Estratégico de Comunicaciones, 2020)

CITAE SE ADENTRA EN LA PENINSULA ANTÁRTICA

A su llegada a la Isla Rey Jorge el personal de investigadores del CITAE abordaron el buque OPV – 83 “Marinero Fuentealba” de la Armada de Chile, para iniciar el recorrido hacia la base Antártica General Bernardo O’higgins con el fin de entablar comunicación con el nanosatélite FACSAT-1 desde el continente blanco, recorriendo más 200 kilómetros sobre el mar Bransfield hasta llegar a la península Antártica, realizando antes una parada logística en la Base Naval Antártica “Arturo Pratt” de la Armada de Chile donde el personal de investigadores tiene sus primeras interacciones con la fauna y flora de territorio subantártico.



Ilustración 1. Base Naval Antártica “Arturo Pratt”. Fuente: autores, mapa elaborado en Google Earth

Al finalizar el recorrido la estación de investigación científica de Chile situada en el Islote Isabel Riquelme en territorio antártico mejor conocida como Base Antártica Bernardo Ohiggins esperaba por la llegada del personal de la FAC; estos investigadores permanecerán en esta base por tres semanas, en las que instalarán la antena para realizar pruebas de software, radio de seguimiento y enlace con el FACSAT-1, con el apoyo del personal de soporte logístico del Ejército de Chile que conforman la Dotación 2019-2020 de la Base.

¿POR QUÉ IR A LA ANTÁRTICA?

A la pregunta ¿por qué ir a la Antártica?, se plantean cuatro respuestas importantes que verifican la experiencia que se planteó y desarrolló con la participación del Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales y la Fuerza Aérea Colombiana en la VI Expedición Antártica Colombiana.

- Permite conocer las variaciones climáticas y como afectan en Colombia.

- Permite establecer y verificar requisitos, técnicos, científicos y logísticos para una futura Base Antártica de Colombia " Almirante Padilla".
- Permite generar experiencia sobre el despliegue logístico y adecuaciones para condiciones operativas de la FAC en la Antártica
- Desde el punto de vista de este proyecto en particular, permite evaluar condiciones técnicas e implementar capacidades en campo espacial (Comunicaciones).

Y por último y no menos importante con base en el trabajo conjunto que se viene adelantando en alianza con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi se realizó un levantamiento previo para el desarrollo de un modelo vicario de calibración radiométrica para las imágenes FACSAT -1. (Tulcan, 2020)

DESARROLLO PLAN TRABAJO

- **Verificación de condiciones técnicas y logísticas de la base**

La estación O'Higgins se encuentra ubicada en el islote Isabel Riquelme de la Rada Covadonga, fue fundada el 18 de febrero de 1948 y es administrada por el Ejército de Chile. Actualmente está dotada con taller de metalmecánica, soldadura, telecomunicaciones, carpintería, museo, estación de meteorología y áreas de servicio general. Adicional, en el mismo islote se encuentra la estación Alemana *German Antarctic Receiving Station* GARS instalaciones del German Aerospace Center DRL, encargada de monitorear la operación y recibir la información de la misión TanDEM-X



Ilustración 2. Instalaciones del islote Isabel Riquelme de la Rada Covadonga.

Fuente: autores

y ser el telecomandar el TerraSAR-X; para ello cuenta con una antena parabólica de nueve metros de diámetro. (Thomas Klügel, 2014)

La visita a esta estación terrena permitió verificar casos de éxito de comunicaciones satelitales desde la Antártica y los materiales e infraestructura necesaria, como insumo determinante para el proyecto que se adelanta por la Fuerza Aérea Colombiana.

- **Construcción e instalación de Estación Terrena Temporal de FACSAT-1**

En las instalaciones del CITAE se realizó la construcción del prototipo de antena Yagi y el grupo de investigación desarrollo el software de seguimiento de esta, adicionalmente, se acondicionó el sistema de anclaje y electromecánico a una estructura de antena parabólica existente en el CITAE, permitiendo complementar el sistema del prototipo de la antena.

Por otro lado, y en colaboración con el grupo de radioaficionados del Valle del Cauca, se contó con el apoyo para el acondicionamiento de un radio de comunicaciones que permitiera realizar el enlace de comunicación ente el segmento terrestre y satélite; permitiendo así complementar el sistema de comunicación en *downlink* entre FACSAT-1 y la estación Terrena temporal a instalar en la Antártida, para lo cual se generó un protocolo de pruebas y correcciones a cada desarrollo del grupo de investigación hasta lograr el seguimiento y comunicación con FACSAT-1 sin restricciones físicas o de señal.

El ensamble de la antena en territorio Antártico se realizó con la ayuda del personal técnico de dotación de la base, apoyando básicamente la verificación de las conexiones, cables y clavijas que se utilizan con la corriente 220 VAC y frecuencia de 50 Hz.

Tal como se presenta en la Ilustración 3, la estructura de montaje y la antena fueron instalados en la parte superior de la torre que tiene aproximadamente diez metros de altura. La estación de comando y control se ubicó en el PUMAC (Puesto de Mando y Control de la Estación), los equipos electrónicos (radio, computador, fuentes) fueron conectados por los cables, a través de un ducto que comunica el techo de la torre con esta oficina, lugar donde también se ubican los equipos de FAC.



Ilustración 3. Lugar de instalación de la antena. Fuente: autores

Debido a las bajas temperaturas que se presentan en la Antártica, los equipos de comunicaciones instalados deben tener las características técnicas que le permitan soportar este entorno para un correcto funcionamiento. Para ello, se desarrolla la instalación temporal de la estación terrena, en verano austral de 2019 – 2020 en la Base Antártica General Bernardo O'Higgins verificando el comportamiento del prototipo de la antena y equipos estructurados por el grupo de investigación del CITAE.

- **Pruebas de comunicación y seguimiento a pases de satélite FACSAT 1**



Ilustración 4. Estación de comando y control FACSAT 1 Antártida. Fuente: autores

Desde el día de la instalación del protocolo de comunicación, establecido en el alcance del proyecto, en territorio antártico, por seis días, se realizó seguimiento con la ayuda del software Gpredict (Ilustración 5) a cada uno de los pases del satélite en aproximaciones de la base O'higgins, verificando la efectividad de la comunicación del radio, comportamiento de los componentes electromecánicos del prototipo de la antena, tolerancia de rangos en azimut y elevación en el seguimiento estipulado y descarga de telemetría, condiciones meteorológicas entre otros factores. (Rincón , Cárdenas , & Tulcán , 2020)

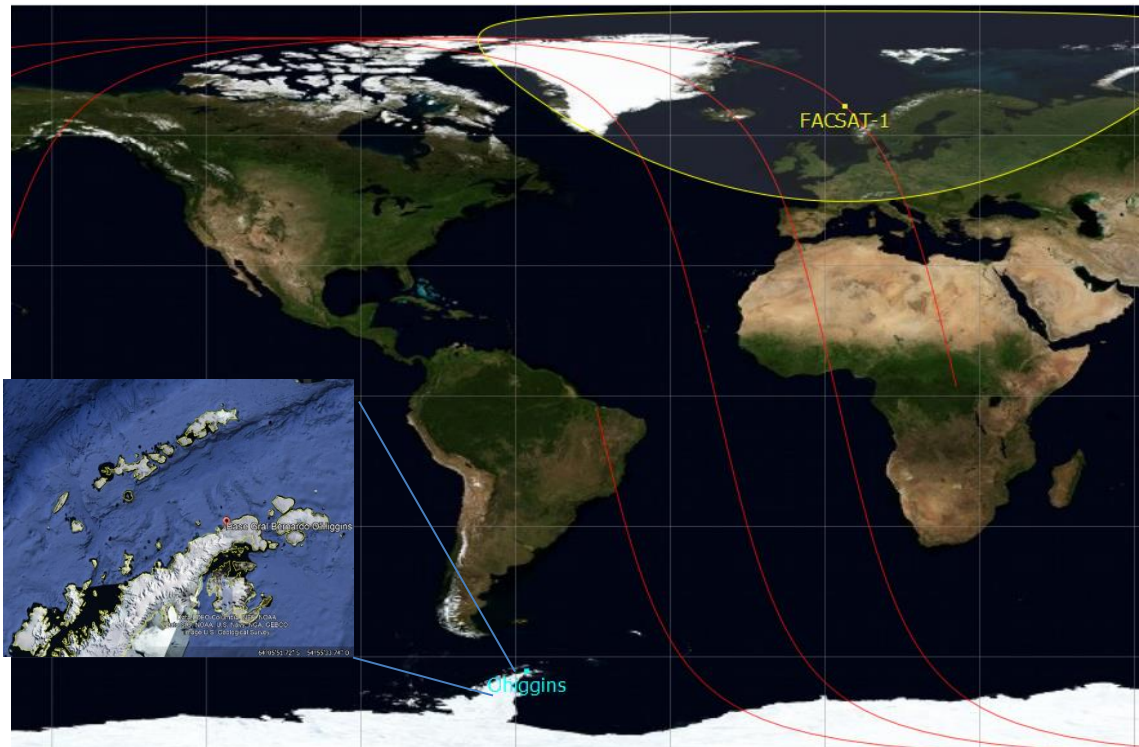


Ilustración 5. Trayectoria de FACSAT-1 respecto a la Estación Terrena temporal en la Base Bernardo

O'Higgins. Fuente: adaptación de los autores con base en imágenes de Google Earth y Gpredict

Se efectuaron pruebas al sistema de comunicación del FACSAT-1, rotores y software de control de seguimiento, así como a la estructura de la antena y cableado. Sin embargo, con las condiciones meteorológicas de vientos de más de 20 nudos, días nublados y presencia de nieve, se presentaron alteraciones en la rigidez de los cables y en la capacidad del motor para rotar contra el viento.

- **Adquisición de firmas radio espectrales**

Dado que los sensores a bordo de satelitales de observación de la Tierra requieren ser calibrados después de su lanzamiento, en términos muy generales, las mediciones hechas por el sensor en órbita (imagen) son comparadas con mediciones realizadas en campo, bajo parámetros conocidos. Esta comparación permite generar coeficientes de calibración que son aplicadas a las imágenes, permitiendo de esta forma, la mejora de información que es capturada por el sensor de acuerdo a su resolución espectral, en este caso las imágenes de FACSAT -1. (Thome, 2003)

Con base en lo anterior, se realizó un proceso de adquisición de firmas radioespectrales en el glaciar "La Meseta de la infantería" con una altura de 339 metros sobre el nivel del mar (msnm). En el lugar de adquisición tiene aparentemente una superficie de nieve compacta a temperaturas bajo los 0 °C, generando un área con tonalidad uniforme y siendo la razón principal y condición propicia para este tipo de estudios.



Ilustración 6. Fotografías del proceso de adquisición de información. Fuente: autores

Esta información se complementa con la adquisición de la imagen satelital de FACSAT -1 sobre el área de estudio, para luego realizar la correlación entre los valores que se obtienen en el terreno y los adquiridos por el sensor del satélite.

MISION CUMPLIDA, HORA DE REGRESAR AL CONTINENTE AMERICANO

Al finalizar la misión en esta base, continuaron los investigadores con el desplazamiento para el retorno al continente americano a bordo del buque “AQUILES” navegando más de mil quinientas millas náuticas por la Península Antártica, llegando hasta la latitud 65°; considerando al equipo de investigadores como el personal de la FAC que más tiempo duró en territorio antártico, aproximándose a bases como Vernadsky de Ucrania, Yelcho de Chile, Gonzalez Videla de Chile, Gonzalo de Castilla de España, Prat de Chile, Maldonado de Ecuador, Risopatron de Chile, Frei de Chile, Great Wall de China, Bellingshausen de Rusia entre otros, travesía que duro 15 días atravesando el Estrecho de Gerlache, Estrecho Bransfield, Isla Decepción, Isla Nelson, Isla Greenwich y el difícil mar de Drake. El Buque AP 41 adelantaba tareas de la Comisión Antártica “COMANTAR 2020”, por lo cual cumplía funciones logísticas de cargue y descargue de contenedores con insumos en las bases y adicionalmente transporte de personal científico, entre ellos personal de Ucrania, USA, Francia, Ecuador, Chile y Colombia. Una de las actividades relevantes desarrolladas por el buque es el despliegue logístico aéreo para llevar insumos a las bases por medio de sus dos helicópteros BO-05 BOLKOW, los cuales transportaban una carga de aproximadamente 300 kg

a una velocidad de 110 nudos, desde la plataforma de aterrizaje del buque hasta las bases que por condiciones meteorológicas no se podía llegar en sodiac (lanchas neumáticas).



Ilustración 7. Buque AP 41 Aquiles de la Armada de Chile, en la cual se transportó el personal de investigadores de la FAC desde la base O'higgins hacia Punta Arenas. Fuente: autores

CONCLUSIONES

- Se logró activar las capacidades de comunicaciones de la FAC en la Antártica
- La experiencia permitió no solo desarrollar los propósitos científicos, sino conocer sobre la logística y requerimientos de una base instalada en Antártica.
- Conocer los procedimientos, protocolos y operaciones realizadas por la Armada de Chile y aviación de Armada en el cumplimiento a los apoyos a las diferentes bases científicas

- Es necesario continuar con el estudio que permita Desarrollar capacidades en comunicaciones y estudios de radiometría del FACSAT-1
- Existen múltiples necesidades e investigaciones que pueden desarrollarse por la FAC en Antártica y de diferentes áreas del conocimiento.

Agradecimientos

Se agradece a la dotación 2019 – 2020 de la Base General Bernardo O´Higgins Riquelme encabezada por el señor coronel Humberto Julio Schweitzer, jefe de Centro Asuntos Antárticos del Ejército de Chile y a la patrulla SERO (Sección de Exploración y Rescate O´Higgins) por la disposición y logística organizada con el fin de poder realizar la adquisición de las firmas espectrales, adicionalmente el acompañamiento de representantes de la Universidad de Magallanes liderada por el profesor Alfredo Soto quien fue el contacto y persona encargada de apoyarnos con la logística para los desplazamientos y los permisos pertinentes para el desarrollo de las actividades de campo en el territorio antártico. Ilustración8.



ORGANIZADORES:
ALBERTO VELEZ RODRIGUEZ
SANDRA MILENA RAMOS ARTEAGA
DALILA VICTORIA RINCON

*Ilustración 8. Equipo logístico, de acompañamiento y de adquisición de datos.
Fuente. Autores*

BIBLIOGRAFÍA

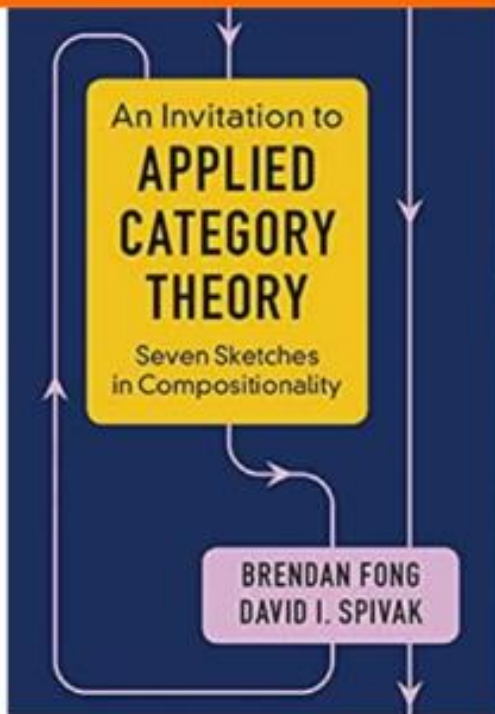
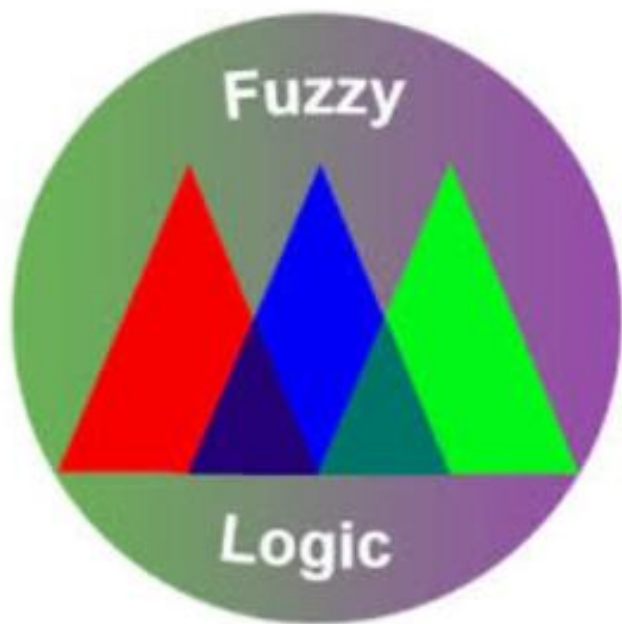
- Comisión Colombiana del Océano. (8 de 02 de 2015). *CCO - Programa Antártico Colombiano*. Obtenido de <http://www.cco.gov.co/programa-antartico-colombiano.html>
- Departamento Estratégico de Comunicaciones. (01 de 02 de 2020). *FAC*. Obtenido de Una nueva travesía de la Fuerza Aérea Colombiana al continente blanco: <https://www.fac.mil.co/una-nueva-traves%C3%ADa-de-la-fuerza-a%C3%A9rea-colombiana-al-continente-blanco>
- Departamento Estratégico de Comunicaciones. (05 de 03 de 2020). *Fuerza Aerea Colombiana*. Obtenido de IV Campaña Antártica de la Fuerza Aérea en su recta final: <https://www.fac.mil.co/iv-campa%C3%B1a-ant%C3%A1rtica-de-la-fuerza-a%C3%A9rea-en-su-recta-final>
- Rincón , S., Cárdenas , L., & Tulcán , C. (2020). *Informe de comisión proyecto final* . Santiago de Cali: CITAE .
- Sección Estratégica de Prensa Fuerza Aérea Colombiana. (26 de 05 de 2020). *FAC*. Obtenido de Fuerza Aérea Colombiana prende motores hacia la Antártica: <https://www.fac.mil.co/fuerza-a%C3%A9rea-colombiana-prende-motores-hacia-la-ant%C3%A1rtica>
- Thomas Klügel, K. H. (2014). Earth and space observation at the German Antarctic Receiving Station O'Higgins. *Polar Record*, Published online by Cambridge University Press.
- Thomas, H. (1999). *Sistemas tecnológicos . Contribuciones a una teoría general de la artificialidad* . Buenos Aires: Aike Editoriales.
- Tulcan, T. (2020). Participación del CITAE en la IV Campaña Antartica FAC. *Boletín N 9 Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales* , Enero - Marzo 2020 .



FUERZA AÉREA COLOMBIANA
ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN "MARCO FIDEL SUÁREZ"
GRUPO ACADÉMICO - PROGRAMA CIENCIAS BÁSICAS



Hablando de Ciencia en **EMAVI**



Conferencia:
"MATEMÁTICAS CONTEMPORANEAS Y APLICACION AL CONTROL AÉREO"

Conferencista:
GUILLERMO ORTIZ RICO
<https://lobby.sar.ruav.edu.co/#/IZXMDQ0EI7O>

14 MAYO | **10:00**
2020 | **A.M.**

“MATEMÁTICAS CONTEMPORANEAS Y APLICACIÓN AL CONTROL AÉREO”



Perfil Profesional:

Guillermo Ortiz Rico

Matemático, Universidad del Valle 1985

Magister en Matemáticas, Universidad del Valle 1990

Doctor en Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Chile 2007

Profesor Titular Departamento de Matemáticas Universidad del Valle – Colombia

Director de múltiples trabajos de pregrado y maestría en los programas de Matemáticas y Educación Matemática de la Universidad del Valle. Co-director de dos trabajos de Doctorado en Ciencias Matemáticas.

Algunas publicaciones:

The annotated logic OPBL Guillermo Ortiz Rico, Paraconsistency: the logical way to inconsistent pp 411-433 Marcel Dekker New York (2002)

La heterodoxia de las lógicas de da Costa Guillermo Ortiz Rico, Matemáticas:
Enseñanza Universitaria Vol. XVI, No 1, Junio (2008)

La categoricidad de los reales en Hilbert Guillermo Ortiz Rico & Sergio Iván Valencia
Marín, Revista Brasileira de Historia da Matemática - Vol. 10 no 19 (2010)

Una constitución para la lógica de comportamiento abstracto Guillermo Ortiz rico &
Jaime Castaño Perea, Rev. Integr. Temas Mat. 32 (2014)

Un acercamiento coinductivo al análisis real Guillermo Ortiz-Rico & Lina Isabel
Triviño Viera, Integración - UIS vol.35 no.1 Bucaramanga (2017)

ORGANIZADORES:

ALBERTO VELEZ RODRIGUEZ
SANDRA MILENA RAMOS ARTEAGA
DALILA VICTORIA RINCON

MATEMÁTICAS CONTEMPORANEAS Y APLICACIONES AL CONTROL AÉREO

Guillermo Ortiz Rico
Departamento de Matemáticas
Facultad de Ciencias
Universidad del Valle

Resumen

Las matemáticas constituyen una tecnología emergente en sí mismas. Sin matemáticas no hay tecnología, y sin tecnología no hay aplicación concreta de las matemáticas. El fundamento de la técnica es la matemática, porque todo lo que se construye es proyectado, experimentado, aprobado y perfeccionado con el auxilio insustituible de los modelos matemáticos. Se presenta primero: un breve recorrido histórico del cambio de las matemáticas clásicas como ciencia de la cantidad hasta mediados del siglo XIX, para dar lugar a las matemáticas como la ciencia de las estructuras; segundo: una corta descripción de las principales características de las matemáticas modernas, que continúan hasta mediados del siglo XX, y las contemporáneas que suceden a las modernas hasta el día de hoy; y tercero: dos ejemplos de matemáticas contemporáneas (1) las teorías de conjuntos fuzzy y (2) las teorías de categorías. Al final de cada uno de los ejemplos se comentan algunas relaciones actuales de _estos con el control aéreo.

1. De ciencia de la cantidad a la ciencia de las estructuras

Sin lugar a duda la tradición tomada de Euclides y Aristóteles ha dejado fuertes trazas sobre las matemáticas, muy particularmente en la presentación del cálculo y el análisis de los siglos XVIII y XIX. En esta herencia Euclidiana-Aristotélica se enfatiza en un énfasis ontológico basado en la geometría y las cantidades continuas." Sin embargo, a finales del siglo XIX y fuertemente a inicios del XX, surge una nueva concepción con énfasis en lo simbólico y operacional que rivaliza con la tradición griega. El origen de ésta última se puede ubicar con la tendencia, liderada por Lagrange, de colocar el álgebra como fundamento del análisis. La imagen de las matemáticas vista en la tradición griega como "ciencia de la cantidad" cambia profundamente a finales del siglo XIX. En Gran Bretaña emerge el uso del lenguaje simbólico en el álgebra que permite a Kummer, Grassmann, Hamilton y muchos otros extender gradualmente la noción de número. El análisis fue separado de la geometría y se encontraron imprecisiones en los argumentos euclidianos, que junto con la aparición de otras geometrías cuestionaron la autoridad de Euclides. Las intuiciones geométricas fueron cuestionadas con la aparición de funciones continuas no diferenciables. Veamos algunos antecedentes, relevantes a nuestra manera de ver, del fin de la tradición griega de las matemáticas.

Empecemos con Simón Stevin (1548-1620), quien introduce en occidente la notación decimal para los números fraccionarios, define número como aquello por lo cual se expresa la cantidad de una cosa. Lo que posibilita una noción de número asociado tanto a magnitudes discretas como a magnitudes continuas. Las prácticas euclidianas aristotélicas difieren sustancialmente de las de Stevin. Los griegos tengan una parte de la cantidad (número para ellos) y la magnitud en un nivel

cuantitativo. El concepto de número para los griegos se construye a partir de la oposición entre lo discreto y lo continuo. En contraste en Stevin el número "habla" de cantidad y magnitud como dos dominios diferentes; mientras la cantidad corresponde a una abstracción sobre un contexto empírico, el número vive en nivel estrictamente simbólico. Stevin en *L'Arithmetique* 1585, presenta un acercamiento teórico al concepto del número que dio una primera gran ruptura con la concepción griega. Controvierte la visión griega que la aritmética práctica y la teórica correspondan a niveles distintos e incompatibles de esta ciencia. Con *La Disme* 1585 logra explicar con reglas simples la notación decimal y explicita la operatividad. El punto de vista de Stevin va a permitir que se identifique el número, la cantidad y la magnitud. Es así como se tiene una aceptación de los irracionales, puesto que intuitivamente se interpretan en términos de medida de magnitudes. Se representan por aproximaciones de fracciones decimales. Se puede con ellos con reglas de cálculo análogas a las de los racionales. En principio establece la esencia del concepto de número en las operaciones. La visión de número en Stevin fue dominante hasta mediados del siglo XIX. De hecho, Newton en *Arithmetica Universalis* 1707, en una de las primeras definiciones de número que incluye explícitamente a los irracionales, identifica la idea de número de Stevin con la de razón entre magnitudes de los griegos.

Presentación del cuerpo de los números reales no sufrirá modificaciones, por sus sucesores, hasta las primeras construcciones de los números reales de Cantor, Weirstrass, Heine y Dedekind en 1872.

Es claro que la noción de cantidad del siglo XVIII muta hacia la estructuración a través de las teorías de conjuntos y las definiciones de número real en dicho marco. Estos hechos embebidos en una axiomática fortalecida por la aparición y discusión sobre lenguajes de primer orden de Frege et al.

En líneas generales cualquier intento de organizar lleva intrínsecamente una noción de estructura. En las teorías del conocimiento estos intentos dan lugar a la emergencia del estructuralismo. Esta visión en las matemáticas es anticipada tempranamente por Dedekind en 1870's. Hilbert en 1900's retoma a Dedekind adjuntando un método axiomático fortalecido por el advenimiento de los nuevos lenguajes de la lógica de primer orden. Pero es con el grupo Bourbaki que orece en 1950's; grupo conformado en 1930's por un colectivo de jóvenes talentos de la École Normale Supérieure de Paris: Weil, Cartan, Diedonné, Ehresmann, Herbrand y Chevalley que se proponen su, hoy famoso, programa de estructuración de las matemáticas. Imponen exigencias de claridad y rigor absolutos en la escritura de las pruebas matemáticas. Ellos llevan a la práctica el pensamiento de Hilbert. Con ellos el estructuralismo se centra en la búsqueda de axiomatizaciones mini males que proporcionen una estética simple y limpia en las pruebas matemáticas; se guarda como dogma de belleza lo más simple y general. Los objetos atómicos de las matemáticas son ahora las estructuras. Visión que dará paso, casi naturalmente, al desarrollo de la teoría de categorías, que emerge paralelamente con Eilemberg, Mac Lane, Lawvere y Freyd entre otros.

El concepto estructura, en matemática, lo explican Resnick y Ford 1988: En qué consisten exactamente las estructuras matemáticas? La mayoría de los profanos

nunca han concebido las matemáticas como nada más que una colección de procedimientos que sirven para resolver cálculos. Pero cualquier matemático sabe que las matemáticas forman un sistema unificado de conceptos y de operaciones que explican algunos patrones y relaciones que existen en el universo. Además de conceptos y operaciones, hay declaraciones más o menos abstractas de patrones y relaciones, expresadas en forma de axiomas o de reglas en fórmulas matemáticas, que dan significado a dichos patrones en relación con los otros. Y, además, existe un cuerpo de procedimientos que permiten manipular conceptos y patrones de forma ordenada y precisa. Es corriente que estos patrones y procedimientos se descubran de forma “accidental” o que se intuyan antes de presentarlos con demostraciones matemáticas formales; tanto la intuición como la presentación formal son actividades reconocidas en el ámbito de las matemáticas.

En los últimos 150 años se han efectuado amplios avances en los fundamentos de las matemáticas. Estos permiten percibir que las matemáticas se han desarrollado a la luz del paradigma estructuralista, con lo cual es natural considerar este paradigma como un punto de partida fundamental en la comprensión de las matemáticas.

En un periodo reciente, tenemos el advenimiento generalizado de la teoría de categoría, como un magistral representante de las estructuras. En palabras del profesor Fernando Zalamea: *“En esta nueva visión estructuralista aparecen nuevos problemas en las matemáticas, es fundamental clasificar conceptos y comportamientos. Surge la necesidad jerarquizar propiedades al interior de las estructuras para introducir nuevas herramientas de clasificación. Abordar*

caracterizaciones sintéticas, única con axiomáticas mini males. Relacionar diferentes estructuras. Entender que todas las transformaciones de un objeto lo definen completamente, génesis de la teoría de categorías. Acoplamiento local y global en una estructura, que origina la teoría de haces"

En la misma línea de pensamiento de Zalamea, consideramos muy pertinente al filósofo francés Lautman, quien idéntica algunos rasgos específicos (1-5) que constituyen un primer plano de separación entre las matemáticas elementales y las matemáticas modernas (de mediados del siglo XIX a mediados del siglo XX), pero además las matemáticas contemporáneas (1950-hoy) incorporan otros criterios adicionales que refuerzan su especificidad. Además de conservar las características propias de lo moderno (1-5), las matemáticas contemporáneas aportan nuevos (6-10):

1. Compleja jerarquización de las diversas teorías matemáticas, irreducibles entre sí relativamente a sistemas intermedios de deducción;
2. Riqueza de modelos, irreducibles a meras manipulaciones lingüísticas;
3. Unidad de métodos estructurales y de polaridades conceptuales detrás de la anterior multiplicidad efectiva;
4. Dinámica del hacer matemático, contrastado entre lo libre y lo saturado, atento a la división y a la dialéctica;
5. Enlace teoremático de lo que es múltiple en un nivel con lo que es uno en otro nivel, por medio de mixtos, ascensos y descensos.
6. Impureza estructural de la aritmética (conjeturas de Weil, programa de

- Langlands, teoremas de Deligne, Faltings y Wiles, etc.);
7. Geometrización sistemática de todos los entornos de la matemática (haces, homologías, cobordismo, lógica geométrica, etc.);
 8. Esquematación y liberación de restricciones conjuntistas, algebraicas o topológicas (grupoides, categorías, esquemas, topos, motivos, etc.);
 9. Fluxión y deformación de los linderos usuales de las estructuras matemáticas (no linealidad, no conmutatividad, no elementalidad, cuantización, etc.);
 10. Reflexividad de teorías y modelos sobre sí mismos (teorías de la clasificación, teoremas de punto fijo, modelos monstruo, clases elementales y no elementales, etc.).

Es así como nos sumamos a la contundente idea de las matemáticas como ciencia de estructuras.

2. Matemáticas contemporáneas: Conjuntos Fuzzy Set y Teoría de Categorías

2.1. Conjuntos Fuzzy

Las palabras en inglés “crisp” y “fuzzy” son antagónicas. La primera describe la claridad y la segunda la falta de claridad, la zona de los grises. Lamentablemente en la traducción habitual para “fuzzy” se pierde este antagonismo. Por este motivo aquí evitaremos su traducción. Por demás cada vez que miramos un concepto con un cierto cuidado inevitablemente adquiere cierto carácter fuzzy. Baste revisar el siguiente listado ser: Alto, Joven, Amable, Decente, Democrático por citar unos

106

cuantos. Por ejemplo, en el uso estándar del lenguaje, decir que alguien que mida más de 1.70 ms es alto nos obliga a decir que personas con 1.69 ms de altura no son altas; y que alguien de 1.71 ms de altura es alto como otro de 2.35 ms.

En general en el uso lenguaje natural, con gran frecuencia intercambiamos información donde hay una gran imprecisión que no puede ser formalmente definida, estos enunciados son ejemplos de conjuntos fuzzy. es decir, los conjuntos fuzzy describen conceptos que no tienen límites claros. Éstos fueron introducidos formalmente en 1965 por Zadeh.

Los conjuntos clásicos surgen por la necesidad del ser humano de clasificar objetos y conceptos. Estos conjuntos pueden definirse como un conjunto bien definido de elementos o mediante una función de pertenencia que toma valores de 0 o 1 de un universo para todos los elementos que pueden o no pertenecer al conjunto. La necesidad de trabajar con conjuntos fuzzy surge del hecho que existen conceptos que no tienen límites claros, como por ejemplo estatura o juventud de cierta persona, por esta razón un conjunto fuzzy se encuentra asociado por un valor lingüístico que está definido por una palabra o adjetivo, es decir, podemos usar el lenguaje natural para expresar una lógica en vez de una escala numérica. Las variables lingüísticas tienen por valores palabras o frases en un lenguaje natural; por ejemplo, para el concepto Edad, se pueden tomar los valores lingüísticos muy joven, joven, no tan joven, no muy joven, etc.

El conjunto de términos lingüísticos es una estructura ordenada de etiquetas. Mientras que la semántica de los términos lingüísticos se deriva de la propia estructura ordenada, la cual puede o no estar uniformemente distribuida en el intervalo $[0, 1]$. Esta es la forma habitual de elegir los descriptores lingüísticos.

Sea un conjunto X fijo. Un conjunto fuzzy F en X se define como

$F = \{(x, \mu_F(x)) : x \in X\}$, donde $\mu_F(x)$ es la función de pertenencia del conjunto fuzzy $F = \mu_F(x) : X \rightarrow [0,1]$, y $\mu_F(x)$ indica el grado de pertenencia de x en F .

La función de pertenencia envía cada elemento x a un grado de pertenencia entre 0 y 1, incluyendo ambos. Si el grado de pertenencia es restringido a $\{0,1\}$ el conjunto fuzzy se convierte en un conjunto ordinario.

A continuación, ilustramos, el caso estándar de una teoría de conjuntos fuzzy, en este sentido se definen las operaciones estándar entre conjuntos para conjuntos fuzzy. Es natural percibir que sobre una teoría de conjuntos fuzzy se erige una matemática fuzzy.

Un conjunto fuzzy F se llama vacío si su función de pertenencia es idénticamente cero, $\mu_F(x) = 0, \quad \forall x \in X$.

Un conjunto fuzzy, A es un subconjunto de un conjunto fuzzy B siempre que se cumpla. $\mu_A(x) \leq \mu_B(x), \quad \forall x \in X$. Esto se denota como $A \subseteq B$.

Dos conjuntos fuzzy A y B son iguales si $\mu_A(x) = \mu_B(x), \quad \forall x \in X$.

El complemento de un conjunto fuzzy F se denota por F' y su función de pertenencia está dada por

$$\mu_{F'}(x) = 1 - \mu_F(x) \quad \forall x \in X$$

La unión y la intersección de dos conjuntos fuzzy A y B se define por,

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}.$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \quad \forall x \in X.$$

Ahora mostraremos cuan general se puede extender a otras muy variadas teorías de conjuntos. En este camino daremos la presentación general de las t-normas y t-c-normas, como generalizaciones de la conjunción y la disyunción respectivamente. Se incluyen algunos importantes resultados con generadores de t-normas. De igual forma haremos presentaciones generales de las negaciones y las implicaciones. Con estos elementos esperamos ver el nivel de generalidad en el cambio de la lógica fuzzy.

Se resumen que un conjunto borroso sobre un conjunto usual U es una función $U \rightarrow [0,1]$: En el caso estándar las operaciones sobre conjuntos borrosos están dada en la siguiente lista.

- $\chi_{A \cup B}(x) = \text{Max}\{A(x), B(x)\} = A(x) \vee B(x).$
- $\chi_{A \cap B}(x) = \text{Min}\{A(x), B(x)\} = A(x) \wedge B(x).$
- $\chi_{A'}(x) = 1 - \chi_A(x).$

Esto nos brinda una estructura de retículo al intervalo $[0; 1]$

- $x \vee y = \text{Max}\{x, y\}$

- $x \wedge y = \text{Min}\{x, y\}$
- $x' = 1 - x$

El complemento es una operación tal que $x'' = x$ $x \leq y \Rightarrow y' \leq x'$ $0' = 1$ y $1' = 0$
(Una *involución* que satisface las leyes de DeMorgan). Es decir, el retículo $[0; 1]$ es un *álgebra de DeMorgan*.

Con lo cual el conjunto de todos los conjuntos borrosos definidos sobre un conjunto U tiene naturalmente estructura de álgebra de DeMorgan, $\langle \mathcal{F}(U), \vee, \wedge, ', 0, 1 \rangle$ es un álgebra de DeMorgan, donde $\mathcal{F}(U) = [0, 1]^U$.

Con un poco de abstracción la noción de conjunción se puede generalizar con las t-normas. Una **t-norma** es una función $\Delta: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ tal que:

1. $1 \Delta x = x$
2. $x \Delta y = y \Delta x$
3. $x \Delta (y \Delta z) = (x \Delta y) \Delta z$
4. Si $w \leq y$ e $y \leq z \rightarrow w \Delta y \leq x \Delta z$

Veamos unos ejemplos:

- $x \Delta_0 y = \begin{cases} x \wedge y & \text{si } x \vee y = 1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$
- $x \Delta_1 y = 0 \vee (x + y - 1)$
- $x \Delta_2 y = \frac{xy}{2 - (x + y - xy)}$
- $x \Delta_3 y = xy$
- $x \Delta_4 y = \frac{xy}{x + y - xy}$
- $x \Delta_5 y = x \wedge y$

Observación:

Si Δ es una t-norma entonces para todos $x, y \in [0,1]$; se cumple que $x \Delta_0 y \leq x \Delta y \leq x \Delta_5 y$

Diremos que una t-norma es *arquimediana* si es continua y para todo $x \in (0,1)$ se cumple que $x \Delta x < x$. Cuando $x \Delta x = x$, diremos que es *idempotente*, la única tal norma es Δ_5 .

Los generadores de las t-normas dan lugar a la infinidad de teorías de conjuntos fuzzy. Sea $a \in [0,1)$ y f un isomorfismo de orden de $[0,1]$ a $[a, 1]$: Definiendo Δ_f por

$$x \Delta_f y = f^{-1}(f(x)f(y) \vee a)$$

tenemos que es una t-norma arquimediana.

Cuando $\Delta = \Delta_f$; diremos que f es un generador de Δ .

bigskip

Hay una caracterización de t-normas arquimedianas: si Δ es una t-norma arquimediana entonces existen un $a \in [0,1)$ y un isomorfismo de orden $f: [0,1] \rightarrow [a, 1]$ tal que $x \Delta y = f^{-1}(f(x)f(y) \vee a)$ para todos $x, y \in [0,1]$. Más aún, si tenemos que g es un isomorfismo de orden $g: [0,1] \rightarrow [a, 1]$ entonces $x \Delta y = g^{-1}(g(x)g(y) \vee a)$, sí y solo si $f(x) = g(x)^r$ para algún $r > 0$.

Una t-norma se dice *nilpotente* si para todo $a \neq 1$ existe un número natural n tal que $a^n = 0$; donde $a^n = a \Delta a \Delta \dots \Delta a$ (n veces a). Por ejemplo Δ definida por $x \Delta y = 0 \vee (x + y - 1)$

Si f es un generador de una t-norma arquimediana Δ , entonces Δ es nilpotente si y solo si $f(0) > 0$.

Las t-normas arquimedianas se clasifican en las nilpotentes y las que no lo son, a las que denominaremos *estrictas*. Por ejemplo Δ definida por $x\Delta y = xy$ es estricta.

También se tiene una caracterización de t-normas estrictas: una t norma arquimediana Δ es estricta si y solo si existe un isomorfismo de orden $f: [0,1] \rightarrow [a,1]$ tal que $x\Delta y = f^{-1}(f(x)f(y))$ para todos $x, y \in [0,1]$; o equivalentemente $f(x\Delta y) = f(x)f(y)$ para todos $x, y \in [0,1]$.

En consecuencia: una t-norma arquimediana Δ es estricta si y solo si $x\Delta y$ es estrictamente creciente para todo $x, y \in (0,1)$.

Veamos algunos ejemplos:

1. La t-norma arquimediana estricta Δ definida por $x\Delta y = xy$ tiene por generador $f(x) = x$.
2. La t-norma arquimediana estricta Δ definida por $x\Delta y = \frac{xy}{x+y-xy}$ tiene por generador $f(x) = e^{-\frac{1-x}{x}}$.
3. La t-norma arquimediana nilpotente Δ que está definida por la relación $x\Delta y = 0 \vee (x + y - 1)$ tiene por generador $f(x) = e^{x-1}$.

Ahora veamos las denominadas negaciones fuertes: una negación fuerte es una función $\eta: [0,1] \rightarrow [0,1]$ tal que:

1. $\eta(0) = 1, \eta(1) = 0$.
2. η es decreciente.
3. $\eta(\eta(x)) = x$.

Veamos unos ejemplos:

$\alpha: [0,1] \rightarrow [0,1]$ definida por $\alpha(x) = 1 - x$.

Si η es una negación fuerte, entonces existe un automorfismo f de $\langle [0,1], \leq \rangle$ tal que $\eta = f^{-1}\alpha f$.

Dada Δ una t-norma arquimediana nilpotente y f un generador de Δ , considerando $\eta_\Delta(x) = \bigvee \{y: y\Delta x = 0\}$ y $\eta_f(x) = f^{-1}\left(\frac{f(0)}{f(x)}\right)$ entonces $\eta_\Delta = \eta_f$ es una negación fuerte.

Ahora las generalizaciones de las disyunciones, las t-conormas. Una **t-conorma** es el operador dual de alguna t-norma con respecto a una negación fuerte, es decir,

$$x \nabla y = \eta(\eta(y) \Delta \eta(x))$$

Se tiene una caracterización de t-conormas: una operación binaria ∇ sobre $[0,1]$ es una t-conorma si y solo si

1. $0 \nabla x = x$
2. $x \nabla y = y \nabla x$
3. $x \nabla (y \nabla z) = (x \nabla y) \nabla z$
4. Si $w \leq x$ e $y \leq z$ entonces $w \nabla y \leq x \nabla z$

Veamos unos ejemplos:

- $x \nabla_0 y = \begin{cases} x \vee y & \text{si } x \wedge y = 0 \\ 1 & \text{en otro caso} \end{cases}$
- $x \nabla_1 y = 1 \wedge (x + y)$
- $x \nabla_2 y = \frac{xy}{1+xy}$
- $x \nabla_3 y = x + y - xy$
- $x \nabla_4 y = \frac{x+y-2xy}{1-xy}$
- $x \nabla_5 y = x \vee y$

Ahora terminemos con las Implicaciones fuzzy. Hay por lo menos tres formas estándar de obtener implicaciones, que describiremos a continuación.

R-implicaciones asociadas con Δ

Una R-implicación es una función

$$\Rightarrow: [0, 1] \times [0, 1] \longrightarrow [0, 1]$$

de la forma

$$x \Rightarrow y = \bigvee \{z \in [0, 1] : x \Delta z \leq y\}.$$

Con lo cual tenemos que:

- Para $x \Delta y = x \wedge y$

$$x \Rightarrow y = \bigvee \{z \in [0, 1] : x \wedge z \leq y\}$$

Luego

$$x \Rightarrow y = \begin{cases} 1 & \text{si } x \leq y \\ y & \text{si } x > y \end{cases}$$

- Para $x \Delta y = xy$

$$x \Rightarrow y = \bigvee \{z \in [0, 1] : xz \leq y\}$$

Luego

$$x \Rightarrow y = \begin{cases} 1 & \text{si } x \leq y \\ \frac{y}{x} & \text{si } 0 \leq y < x \end{cases}$$

- Para $x \Delta y = 0 \vee (x + y - 1)$

$$x \Rightarrow y = \bigvee \{z \in [0, 1] : 0 \vee (x + z - 1) \leq y\}$$

Luego

$$x \Rightarrow y = 1 \wedge (1 - x + y)$$

Un resultado importante: si Δ es una *t-norma* arquimediana y f un generador de Δ .

Entonces por

$$x \Rightarrow y = f^{-1}\left(\frac{f(y)}{f(x)} \wedge 1\right)$$

tenemos que es una *t-norma* arquimediana.

∇ -implicaciones

Una ∇ -implicación es una función

$$\Rightarrow: [0, 1] \times [0, 1] \longrightarrow [0, 1]$$

de la forma

$$x \Rightarrow y = \eta(x) \nabla y$$

Con lo cual se tiene que:

- Para $x \nabla y = x \vee y$ y $\eta(x) = 1 - x$ tenemos que la ∇ -implicación está dada por

$$x \Rightarrow y = (1 - x) \vee y$$

- Para $x \nabla y = x + y - xy$ y $\eta(x) = 1 - x$ tenemos que la ∇ -implicación está dada por

$$x \Rightarrow y = (1 - x) \nabla y$$

y, por tanto

$$x \Rightarrow y = 1 - x + xy$$

- Para $x \nabla y = 1 \wedge (x + y)$ y $\eta(x) = 1 - x$ tenemos que la ∇ -implicación está dada por

$$x \Rightarrow y = 1 \wedge (1 - x + y)$$

Q-implicaciones

Dado un sistema de *DeMorgan*: $\langle \Delta, \nabla, \eta \rangle$ una Q-implicación es una operación binaria

$$\Rightarrow: [0, 1] \times [0, 1] \longrightarrow [0, 1]$$

de la forma

$$x \Rightarrow y = \eta(x) \nabla (x \Delta y)$$

Veamos unos ejemplos:

- Para el sistema de DeMorgan

$$\begin{aligned}x\Delta y &= x \wedge y \\x\nabla y &= x \vee y \\ \eta(x) &= 1 - x\end{aligned}$$

la Q-implicación es

$$x \Rightarrow y = (x \wedge y) \vee (1 - x)$$

- Para el sistema de DeMorgan

$$\begin{aligned}x\Delta y &= (x + y - 1) \vee 0 \\x\nabla y &= (x + y) \wedge 1 \\ \eta(x) &= 1 - x\end{aligned}$$

La Q-implicación es

$$x \Rightarrow y = (1 - x) \vee y$$

Ahora conectaremos un poco los conjuntos y las matemáticas fuzzy con el control aéreo, en particular con los sistemas de control de los vehículos aéreos no tripulados, que hoy representan una industria de millones de dólares por las múltiples aplicaciones tanto militares como civiles. Sin lugar a duda los avances en los sistemas de control y los logros en tamaños cada vez más pequeños de los componentes electrónicos permiten cada día novedosas aplicaciones, como transporte de alimentos en épocas de pandemia y control de incendios. Sin embargo, quedan retos por vencer para lograr desplazamiento autónomo. En este punto hay un punto importante de investigación en la búsqueda de sistemas

funcionales eficaces como alternativa a los sistemas de control actuales. En general los sistemas de control de los cuadricópteros utilizan modelos matemáticos complejos, dada la naturaleza misma de los vehículos aéreos no tripulados (UAV por sus siglas en inglés: Unmanned Aerial Vehicle). Existen diversas técnicas de soft computing para de UAV, pero el control de la altitud sigue a la espera de sistemas flexibles, rápidos

y robustos. Entre los múltiples UAV, la capacidad de los UAV de ala giratoria (RUAV) en el despegue y aterrizaje vertical, para desplazarse y realizar maniobras rápidas concentran buena parte de la investigación para desarrollar modelos de control totalmente autónomos. Es aquí donde las matemáticas fuzzy parecen lo más apropiado, pues permiten incorporar y manejar diversas incertidumbres.

De hecho, hay diversos trabajos, incluso a nivel nacional como Zambrano [Trabajo de Grado Eafit 2012] donde se diseñan e implementan a través de simulación, utilizando el toolbox MATLAB/SIMULINK, una serie de controladores difusos tipo Mandani para el control de un mini-helicóptero robot tipo XCell. Se obtienen controles difusos para todas las variables del modelo del mini- helicóptero logrando resultados mejores en lo relacionado con el tiempo de estabilización.

En la denominada inteligencia artificial se combinan las diferentes formas de representación de conocimiento: lógicas fuzzy, redes neuronales, procesos estocásticos y computación evolutiva. En el caso de control de UAV ha sido relativamente exitoso la combinación de lógica fuzzy con las redes neuronales dando lugar al control con redes neuronales fuzzy.

La neurona es el elemento básico de una red neuronal. Al igual que las existentes en el cerebro humano, estas neuronas son células de procesamiento; reciben varias entradas de datos y devuelven una única salida. Cada neurona contiene uno o varios pesos propios, en función del número de variables que reciba, que se relacionan con ellas de la siguiente forma: $Y = f(xw + b)$ donde las x como las variables de entrada, w los pesos, b desplazamiento y f es la función de activación. Una neurona podría resolver cualquier problema linealmente separable, sin embargo, le es difícil resolver problemas de aprendizaje automático más complejos. Es así como, simulando un cerebro humano, las neuronas se pueden agrupar por capas, dando lugar a una red neuronal. Las capas constan de tipos y cantidades de datos devueltos por las neuronas de la capa anterior, pero, devolviendo resultados diferentes cada una.

Las redes neuronales compuestas por varias capas, de forma que las salidas de la anterior forman las entradas de la siguiente. Entre ellas, podemos distinguir la capa de entrada, que es la que recibe los datos a analizar, la capa de salida, que es la que devuelve los resultados en el formato que nos interesa en función del problema, y las capas intermedias u ocultas. _Estas son las encargadas de abstraer todos los datos recibidos por la capa anterior para que sea más fácil procesarlos y analizarlos.

Las características de los sistemas difusos y neuro-difusos han generado recientemente importantes investigaciones para desarrollar un controlador difuso y

neuro-difuso basado en el sistema inteligente evolutivo, que fortalezca el vuelo del UAV en los cambios repentinos y las perturbaciones como las ráfagas de viento, como por ejemplo el controlador neuronal difuso robusto adaptativo y autoorganizable (SARFNC) propuesto por Dong et al. en 2016. Este controlador puede seguir la trayectoria con un ligero error de seguimiento y funciona mucho mejor que el controlador adaptativo de retroceso.

Una mejora significativa de estas técnicas estáticas difusas y neuro difusas se logra configuraciones estáticas con estructura adaptativa. En los sistemas difusos adaptativos, solo los parámetros de red pueden ajustarse utilizando diversas técnicas, como la propagación inversa, la regresión recursiva de mínimos cuadrados o la teoría SMC, entre otras. Los sistemas fuzzy y neuro-fuzzy en evolución en el modelado y control de RUAV logran robustez, adaptabilidad, capacidad de optimización, inteligencia, estructura evolutiva, tiempo de respuesta, precisión, simplicidad, evitación de perturbaciones, la capacidad de manejo de parámetros no modelados.

Realmente modelar y controlar un sistema complejo y altamente no lineal como el RUAV quadcopter con una precisión específica es un desafío. Los sistemas fuzzy y neuro fuzzy ahora son de amplio uso para modelar y controlar varios RUAV. Aunque no se logra un rendimiento satisfactorio en el manejo algunas de las incertidumbres. Se espera que las investigaciones logren desarrollar un controlador difuso de

evolución avanzada que mejore la capacidad de control de altitud y posición de los RUAV en un nivel de inteligencia similar al humano.

2.2. Teoría de Categorías

En el interior de los topos, las categorías que generalizan las buenas propiedades de las teorías de conjuntos están lógicas intuicionistas que desbordan el alcance de esta nota. Pero esto implica que no se pueden usar los principios de contradicción y disyunción de casos de la lógica clásica; con lo cual todas las pruebas deben ser constructivas y por ende generan algoritmos con posibles implementaciones computacionales. En un sentido muy práctico este hecho ha llamado el interés de muchos de los recientes desarrollos computacionales por esta teoría.

Una categoría \mathcal{C} consta de una clase $Obj(\mathcal{C})$ de objetos, y para cada par de objetos X e Y de \mathcal{C} de un conjunto $Hom_{\mathcal{C}}(X, Y)$ ó (ó $Mor[X, Y]$) de morfismos de X en Y que satisfacen:

- $X \neq X' \wedge Y \neq Y' \rightarrow Hom_{\mathcal{C}}(X, Y) \neq Hom_{\mathcal{C}}(X', Y')$.
- Está definida una composición

$$\begin{aligned} Hom_{\mathcal{C}}(Y, Z) \times Hom_{\mathcal{C}}(X, Y) &\longrightarrow Hom_{\mathcal{C}}(X, Z) \\ (f, g) &\mapsto f \circ g \end{aligned}$$

que es asociativa.

- Para cualquier objeto X , existe un morfismo identidad Id_X tal que si $f: X \rightarrow Y$ entonces $f \circ Id_X = f$ y $Id_Y \circ f = f$.

Ejemplos de categorías:

- La categoría $\mathcal{C} = Set$ de todos los conjuntos junto a las funciones entre los conjuntos.
- La categoría Pos formada por los conjuntos parcialmente ordenados como objetos, y las funciones crecientes como morfismos.
- La categoría Top de todos los espacios topológicos junto a las funciones continuas.

Funtor: $F: \mathcal{C} \rightarrow \mathcal{D}$ tal que:

- Para cada objeto X de \mathcal{C} , se obtiene un objeto \mathcal{C} de \mathcal{D} .
- Para cada morfismo $f: X \rightarrow Y$ de \mathcal{C} , se obtiene un morfismo $F(f): F(X) \rightarrow F(Y)$

y cumple los siguientes dos axiomas:

- Para cada objeto X de \mathcal{C} , $F(id_X) = id_{F(X)}$, y
- Si $g: X \rightarrow Y$ y $f: Y \rightarrow Z$ son dos morfismos en \mathcal{C} , entonces $F(f \circ g) = F(f) \circ F(g)$.

Ejemplos de Funtores:

- El functor partes $\mathcal{P}: Set \rightarrow Set$ asocia a cada conjunto X el conjunto

$$\mathcal{P}(X) = \{U / U \subseteq X\}$$

y a una función $f: X \rightarrow Y$ la aplicación $\mathcal{P}(f): \mathcal{P}(X) \rightarrow \mathcal{P}(Y)$ la cual está dada por

$$\mathcal{P}(f)(U) = f[U] = \{f(u) | u \in U\}$$

- El functor partes finito $\mathcal{P}_w: Set \rightarrow Set$ asigna a cada conjunto X el conjunto

$$P_\omega(X) = \{U \mid U \subseteq X, |U| < \omega\}$$

de los subconjuntos finitos de X , sobre las funciones $f: X \rightarrow Y$ este funtor es definido como

$$\mathcal{P}(f)(U) = f[U] = \{f(u) \mid u \in U, |U| < \omega\}$$

- Para un conjunto fijo M , el funtor potencia $F: Set \rightarrow Set$ dado por $F = (-)^M$ que asocia a un conjunto X el conjunto $X^M = \{\tau: M \rightarrow X\}$ de las funciones de M a X . A la función $f: X \rightarrow Y$ se le asocia una función $f^M: X^M \rightarrow Y^M$ definida por

$$(f)^M(\tau) = f \circ \tau$$

- Para un conjunto C , el funtor constante K_C asocia a cada conjunto X el conjunto fijo C , y a toda función $f: X \rightarrow Y$ la identifica con la función id_C .
- Nuevos funtores pueden ser obtenidos desde otros ya definidos por composición, y productos. Como ejemplo, el funtor $C \times (-)^M$, asigna a un conjunto X el conjunto $C \times X^M$ y a la función $f: X \rightarrow Y$ la aplicación $id_C \times f \circ (-)$, es obtenido con el producto cartesiano de K_C con el F funtor potencia.

Sea \mathcal{C} una categoría y consideremos un endofunctor $F: \mathcal{C} \rightarrow \mathcal{C}$. Una **F**-álgebra o un álgebra debida al funtor F es un par $\mathbf{A}(A, \alpha_A)$ que consiste en un conjunto A y una aplicación $\alpha: F(A) \rightarrow A$.

Si $F: Set \rightarrow Set$ es definido por $F(A) = A \times A + 1$, donde $1 = \{\emptyset\}$; \times el producto cartesiano y $+$ la unión disjunta de conjuntos. Un álgebra por este funtor consiste en un conjunto A y la función $\alpha: A \times A + 1 \rightarrow A$. Esta función se puede, equivalentemente, describir por un par de funciones $\cdot_\alpha: A \times A \rightarrow A$ y $\alpha: 1 \rightarrow A$.

Un homomorfismo entre álgebras $\mathbf{A}(A, \alpha_A)$ y $\mathbf{B}(A, \alpha_B)$ es un morfismo $\varphi: A \rightarrow B$ para el cual el siguiente diagrama conmuta:

$$\begin{array}{ccc}
 F(A) & \xrightarrow{F(\varphi)} & F(B) \\
 \alpha_A \downarrow & & \downarrow \beta_B \\
 A & \xrightarrow{\varphi} & B
 \end{array}$$

Dada la signatura $\Sigma = \{f, e\}$ donde f y e son símbolos de operación de aridad uno y cero respectivamente. Formemos la categoría \mathcal{C} que tiene por objetos todas las Σ -álgebras y por morfismos los Σ -homomorfismos entre ellas. En la literatura es usualmente llamada la categoría de las álgebras tipo uno-cero. Los objetos de \mathcal{C} son F -álgebras, es decir, álgebras de la forma $\mathbf{A} = \langle A, f^A, a^A \rangle$, donde $f^A: A \rightarrow A$ es una función y a^A es un elemento distinguido de A . Las cuales por comodidad las representaremos abreviadamente, como ya los habíamos notado antes, por una sola aplicación $[f^A, a^A]: A + 1 \rightarrow A$. Entendiéndose que $a^A: 1 \rightarrow A$ toma como distinguido de A al elemento a^A . En particular el álgebra $\mathbf{N} = \langle \mathbb{N}, s^{\mathbb{N}}, 0^{\mathbb{N}} \rangle$ de los números naturales, donde $s^{\mathbb{N}}$ representa la función sucesora es un objeto de esta categoría \mathcal{C} ; y que representaremos abreviada según convenimos por $[s^{\mathbb{N}}, 0^{\mathbb{N}}]$.

Dado $[f^A, a^A]$ un objeto cualquiera de la categoría \mathcal{C} entonces existe una única $h: \mathbb{N} \rightarrow A$ definida por $h(0) = a$ y $h(s(n)) = f(h(n))$ para todo n , que hace conmutativo el siguiente diagrama:

$$\begin{array}{ccc}
 \mathbb{N} + 1 & \xrightarrow{[h, id_1]} & A + 1 \\
 [s^{\mathbb{N}}, 0^{\mathbb{N}}] \downarrow & & \downarrow [f^A, a^A] \\
 \mathbb{N} & \xrightarrow{h} & A
 \end{array}$$

Coálgebras

Sea \mathcal{C} una categoría y consideremos un endofunctor $F: \mathcal{C} \rightarrow \mathcal{C}$. Una F -coálgebra es un par $\mathbf{A}(A, \alpha_A)$ que consiste en un objeto A y un morfismo $\alpha: A \rightarrow F(A)$.

Sea A un conjunto y el funtor $F: Set \rightarrow Set$ dado por $F = A \times (-)$, es decir, $F(X) = A \times X$. Para el caso en particular en que $X = A^{\omega}$, donde A es un conjunto de símbolos $\omega = \{0, 1, 2, \dots\}$ entonces la coálgebra de todas las sucesiones infinitas de elementos del conjunto A y la función $\langle h, t \rangle: A^{\omega} \rightarrow A \times A^{\omega}$ definida por:

$$h(a_0, a_1, a_2, \dots) = a_0$$

$$t(a_0, a_1, a_2, \dots) = (a_1, a_2, \dots)$$

En particular si tomamos $A = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ aparece el intervalo $[0, 1)$ dotado con una co-operación como una coálgebra dado que cualquier número real $x \in [0, 1)$ se puede representar como una sucesión infinita de dígitos considerando los decimales exactos con ceros en la cola de la sucesión.

Máquinas de Mealy, éstas permiten tratar muchos de los sistemas dinámicos, y por tanto estar en el centro de las aplicaciones de ingeniería.

$(S, out, next)$ donde S es el espacio de estados, $next: S \times I \rightarrow S$ y $out: S \times I \rightarrow O$.

Sea $f: A \times B \rightarrow C$ y $a \in A$ fijo. $\text{curry}(f): A \rightarrow C^B$ tal que $a \rightarrow f_a$ donde $f_a: B \rightarrow C$ es la función que a cada b le asigna el elemento $f(a, b)$.

$\text{curry}(\text{out} \times \text{next}): S \rightarrow (O \times S)^I$, es decir, como una coálgebra sobre el funtor $FX = (O \times S)^I$.

Un homomorfismo entre dos coálgebras $\mathbf{A}(A, \alpha_A)$ y $\mathbf{B}(B, \alpha_B)$ es una flecha $\varphi: A \rightarrow B$ para la cual el siguiente diagrama conmuta:

$$\begin{array}{ccc}
 A & \xrightarrow{\varphi} & B \\
 \alpha_A \downarrow & & \downarrow \beta_B \\
 F(A) & \xrightarrow{F(\varphi)} & F(B)
 \end{array}$$

Si consideramos la clase cuyos objetos son F -coálgebras y los morfismos son los homomorfismos de F -coálgebras, tenemos la categoría de las F -coálgebras, que se denota $\text{Coalg}(F)$.

Una F -coálgebra es final si es un objeto final en la categoría $\text{Coalg}(F)$. Si consideramos $A \times A^\omega$ junto con la función estructura

$$\langle h, t \rangle : A^\omega \rightarrow A \times A^\omega$$

es la coálgebra final para el funtor $F = A \times (-)$, más precisamente esto significa que para toda coálgebra X junto con la función destructora $\langle k, s \rangle: X \rightarrow A \times X$ induce el único homomorfismo $[\langle k, s \rangle]$.

Este acercamiento nos permite inferir la denominada **La Ecuación de Pavlovic**

$\frac{Ind}{Ar} \approx \frac{Coind}{An}$ que nos muestra que los procesos inductivos son propios de la aritmética, mientras que los coinductivos lo son del análisis.

La Teoría de Categorías tiene impresionantes logros de integración conceptual en las matemáticas. Un ejemplo la teoría de convergencia. Se constituye en una herramienta fundamental para la integración conceptual de las ciencias, incluida la Educación. No modela los objetos, modela solo las relaciones entre los objetos. Si los objetos tienen una

estructura interna; en Teoría de Categorías esta estructura interna solo se puede ver usando otros objetos como sondas. La estructura interna de un objeto solo se puede apreciar en términos de sus relaciones con otros objetos. Se tiene una apuesta por un lenguaje de modelado universal, en el que las relaciones entre los objetos son primordiales. Es una herramienta para modelar muchas de las ideas reales y formas de pensar que existen dentro de la ciencia. Examinar e interactuar con una versión simplificada de tales ideas, las matemáticas proporcionan rigor y comunicabilidad. Si se quiere proporciona un modelo teórico de las ideas, en lugar de las meras cantidades, puede capturar formalmente un marco conceptual completo, por ejemplo, ideas sobre la naturaleza jerárquica de los sistemas organizacionales. La teoría de categorías no es una teoría de todo. Es más como, como dijo el topólogo Jack Morava "Una teoría de las teorías de cualquier cosa". En otras palabras, es un modelo de modelos" Describir cualquier disciplina en TC tiende

a brindar una mayor claridad conceptual. Permite comparar diferentes modelos, llevar conocimiento de un dominio a otro, siempre y cuando se pueda construir la “analogía” apropiada, morfismos entre categorías (funtores). Permite comparar las comparaciones, morfismos entre funtores (transformaciones naturales).

Ahora tenemos el reto de relacionar la teoría de categorías con el control aéreo. Esto se ha logrado parcialmente con el trabajo de Spivak et. al. con el que se cierra esta nota.

Estamos en el centenario de la construcción de la primera torre de control, a 10 *km* al sur de Londres en Croydon. El día 25 de febrero de 1920 se inicia un servicio de ayuda para los pilotos de avión, que con el transcurso del tiempo se convertirá en una parte esencial e imprescindible tanto del sector civil, como del militar. Se trataba de un pequeño cobertizo de madera sobre 4 pilares con una altura de 4.5 metros. Justo, en Croydon, empezó la historia de la aviación comercial en 1919, con un vuelo hasta Paris, y conjuntamente se decidió implementar medidas técnicas de seguridad a todos los usuarios. El cobertizo se dotó de ventanas en sus 4 paredes, y una terraza exterior alrededor del mismo. Croydon logró su esplendor en 1928, se reemplaza la vieja torre por una construcción moderna y dotada con los últimos avances tecnológicos de la comunicación y navegación aérea. En 1946 se opera desde el nuevo hub de Heathrow, y la torre de control de Croydon se convierte en un museo sobre aviación.

Ahora en varios países europeos se trabaja rápidamente hacia una torre de control remoto. Se ha desarrollado una revolucionaria torre remota digital de control aéreo que ofrece unos niveles de seguridad y de eficiencia sin precedentes en el aterrizaje y despegue gracias al uso de la inteligencia artificial. El sistema emplea arquitecturas avanzadas de Deep Learning entrenadas para llevar a cabo múltiples procesos operativos mediante visión artificial autónoma. El Deep Learning o aprendizaje profundo se define como un algoritmo automático estructurado o jerárquico que emula el aprendizaje humano con el fin de obtener ciertos conocimientos. Destaca porque no requiere de reglas programadas previamente, sino que el propio sistema es capaz de “aprender” por sí mismo para efectuar una tarea a través de una fase previa de entrenamiento. Es capaz de detectar cualquier anomalía en la configuración de la aeronave para comunicarla al operador. Si, por ejemplo, el tren de aterrizaje de un avión no se despliega o si sus **flaps** no se abren correctamente antes de despegar, el controlador es alertado de forma inmediata. Del mismo modo, el sistema identifica y sigue de manera autónoma cualquier aeronave, vehículo o persona en movimiento. Vigila con especial atención las zonas de mayor interés, alertando de la presencia de vehículos no autorizados, personas, animales, aves, e incluso drones que puedan suponer un riesgo para la seguridad. Cuenta con el sistema antidron **ARMS** capaz de neutralizar de forma selectiva cualquier **UAV**. Emplea cámaras **4K**, que ofrecen la máxima calidad de imagen, y cuenta con visión nocturna iluminada excelente. Se ha integrado con múltiples sistemas externos para presentar al controlador información relevante directamente

sobre la pantalla panorámica, correlacionándola con la aeronave o activo que está viendo. todo esto en manos de **Indra** (www.indracompany.com). Esta compañía, junto al proveedor de servicios de navegación noruego **Avinor** y la empresa **Kongsberg**, ha logrado recientemente que una aeronave comercial haya aterrizado en un aeropuerto noruego con la ayuda de controladores que se encontraban a cientos de kilómetros de distancia. Este hito se consiguió el pasado 19 de octubre, cuando un avión de pasajeros pidió permiso para aterrizar en el aeropuerto de la isla de Rost a la torre de control de Bodo, situada en la zona continental de Noruega.

Los controladores supervisaron la maniobra de aproximación y le dieron en remoto las indicaciones para tomar tierra de forma segura. Está previsto que la torre remota de Bodo vaya asumiendo progresivamente el control de hasta 15 aeropuertos en los próximos meses. En una fase posterior, podrá incluso llegar a gestionar 36 de los 46 aeropuertos del país. La experiencia adquirida en este proyecto, junto con el trabajo de **I + D** de la compañía dentro de programas europeos como **Sesar**, son las bases que han permitido cimentar el éxito de Indra en el desarrollo de la solución de una torre remota digital más avanzada del mercado. En 2018, Indra tuvo unos ingresos de 3.104 millones de euros, 43.000 empleados, presencia local en 46 países y operaciones comerciales en más de 140 países. Su presencia con Consultoría de transformación digital y Tecnologías de la Información en España y Latinoamérica a través de su filial **Minsait**.

En una dirección cercana Spivak et. al. usan el lenguaje de categorías para modelar la “separación segura en el Sistema Nacional del Espacio Aéreo (**NAS**)” Los aviones, sus pilotos y equipos a bordo, así como los radares y muchos otros factores interactúan para formar el NAS. Una propiedad de este sistema que debe mantenerse constantemente es la de una separación segura: que los aviones mantengan una distancia segura entre sí. Hacen un estudio de caso que involucra varios contratos de comportamiento dispares. En el Sistema Nacional del Espacio Aéreo, varios sistemas como el sistema de prevención de colisiones de tráfico (**TCAS**) interactúan para mantener los aviones separados de forma segura. Esto convierte a la teoría de categorías en una tecnología emergente.

BIBLIOGRAFÍA

- Bart, J., & Rutten, J. (1997). A tutorial on (Co)algebras and (Co)induction. *EATCS bulletin*, 222-259.
- Fong, B., & Spivak, D. (2019). *An Invitation to Applied Category Theory*. Cambridge University Press.
- Lautman, A. (2011). *Ensayos sobre la dialéctica, estructura y un idad de las matemáticas modernas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Nguyen, H. T., Walker, C. L., & Walker, E. A. (2000). *A First Course in Fuzzy Logic* (4ta ed.). London: Chapman-Hall CRP Press, INC.
- Spivak, D., & Schultz, P. (2019). *Temporal Type Theory*. Springer.



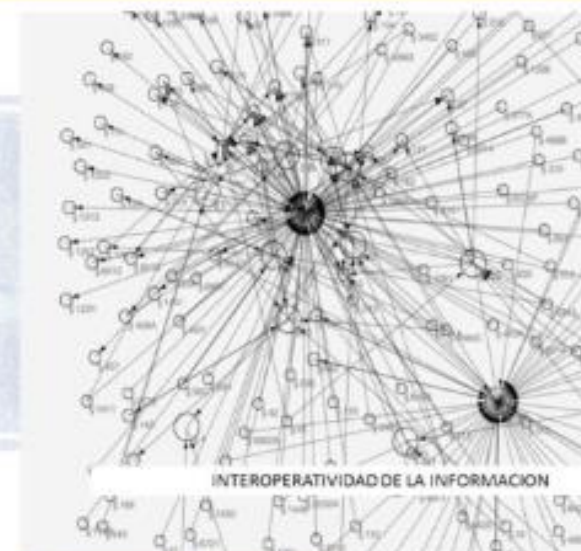
FUERZA AÉREA COLOMBIANA
ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN "MARCO FIDEL SUÁREZ"
GRUPO ACADÉMICO - PROGRAMA CIENCIAS BÁSICAS



Hablando de Ciencia en EMAVI



LOS DATOS



INTEROPERATIVIDAD DE LA INFORMACION

"Los datos son el nuevo petróleo",
Clive Humby, Dunnhumby



Conferencia:

"LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA ADMINISTRACIÓN"

Conferencista:

SONIA YAMILETH CASTRO YAMA

Enlace:

<https://lobby.sar.ruav.edu.co/#/KX5JR53CKTW>

21 JUEVES
MAYO 10:00
2020 | **A.M.**

“LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA ADMINISTRACIÓN”



Perfil Profesional:

Sonia Yamileth Castro Yama

Ponente en congresos de Gobierno Digital – Universidad Nacional, Congreso Internacional de Innovación y Tecnología: COGESTEC, evaluadora de textos científicos e innovación en el Consejo Latinoamericano de Escuelas de Administración – CLADEA, participó en la docencia en temas de Legislación Tributaria Departamental. Entre sus aportes están productos en innovación para la fiscalización de rentas departamentales, la ideación de la primera App en Colombia gestionó la creación de una asesoría virtual en impuestos (Chatbots). Recibió agradecimientos de la OCDE en el libro “Hello, World: Artificial Intelligence and Its use in the Public Sector”. Es contadora Pública y Magister en Económica de la Universidad Javeriana. Se desempeñó como Directora Financiera de grupo empresarial. Actualmente se labora como asesora del despacho en temas de innovación digital en la Gobernación del Valle del Cauca.

Luis Carlos Torres Soler

Matemático y Magister en Ingeniería de Sistemas: Universidad Nacional de Colombia; Maestría en Ciencias de la Educación: Universidad de Sherbrooke (Canadá); Doctorado Pensamiento Complejo: Multiversidad Mundo Real Edgar Morin, México. Docente investigador de varias universidades del territorio colombiano. Ponente en variados congresos nacionales e internacionales. Escritor de artículos en diversas revistas. También tiene en su haber la escritura de varios libros en creatividad, Inteligencia artificial, Pensamiento complejo e Investigación, entre otras áreas del conocimiento. Se destacan los libros: Problemas para la inteligencia artificial y natural y Creatividad en el aula. Actualmente se desempeña como docente-investigador en la Universidad del Bosque.

ORGANIZADORES:

ALBERTO VELEZ RODRIGUEZ
SANDRA MILENA RAMOS ARTEAGA
DALILA VICTORIA RINCON

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA ADMINISTRACIÓN

Sonia Castro Yama
Contadora Pública Titulada
Magister en Economía
e-mail: sonia.castroyama@gmail.com

Luis Carlos Torres Soler
Matemático
Magister en Ingeniería de Sistemas
Magister en Educación
Doctorado en Pensamiento Complejo
e-mail: lctorress@gmail.com

Resumen: Hoy día, ante las diferentes crisis que suceden en todo el mundo como es el caso de la pandemia generada por el Covid-19, el mundo debe tener capacidad para abordar los diferentes problemas complejos, sobre todo porque cuenta con gran avance científico y tecnológico y, es el caso de implementar herramientas con inteligencia artificial (IA) en la administración. Las distintas herramientas tecnológicas que proveen las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), además de facilitar el acceso a la información y conocimiento de cualquier lugar del mundo, las personas deben establecer políticas para emplear BigData, Minería de datos, Aprendizaje profundo (Deep Learning) y distintos procesos que se asocian a la IA, con el fin de garantizar los mejores resultados, sobre todo, empezar a aplicar el Internet de las cosas (IoT), que simplifica la interoperabilidad de la información para tomar decisiones en la administración. A la vez, deben estructurarse diversos modelos son soporte en algún proceso o varios de estos para predecir riesgos que pueden darse, además de entender el comportamiento de algunas situaciones complejas.

Palabras clave: *Inteligencia artificial, administración, modelos, herramientas.*

Introducción

La tecnología es un medio que ayuda a cumplir variados objetivos, personales o grupales;

sin embargo, debe conocerse sus procesos, herramientas y posibles aplicaciones. La Inteligencia artificial (IA), como disciplina que busca diseñar mecanismos para que el computador aprenda y resuelva problemas complejos con autonomía, condujo a proyectar el BigData, la internet de las cosas, la minería de datos y otras técnicas, métodos y modelos para los procesos de toma de decisiones, en especial que debe ser muy eficiente y oportuna en la administración. Se aborda en este escrito aspectos de cómo incluir la IA en la Administración pública, en beneficio de todo el país.

La implementación de la IA en el ambiente público es de amplia trascendencia aunque requiere todo un discernimiento sobre las políticas públicas, para evitar sesgos sociales, optimizar la seguridad informática y compartir datos abiertos, es decir, en la gestión pública debe estar inmersa la ética y la moral, que implícitamente estructuren una cadena de valor, desde los primeros años de vida escolar hasta ser funcionarios públicos, en las ramas de un Estado, la legislativa, ejecutiva y judicial.

Poderes públicos

La ubicuidad de los sistemas para emplear IA trae cada vez mayor atención; sin embargo, cómo regularlos requiere atención. Un sistema con herramientas de IA puede inferir respuestas amplias, basándose en grandes cantidades de datos, lo que permite mayor precisión para la toma de decisiones. El razonamiento de sentido común, cuando se trata de datos cualitativos, es mejor que el empleo de la IA, pero cuando se debe manipular volúmenes de datos, aquel es insignificante, hasta consecuencias negativas se hallan, por ello se emplea sistemas con IA [Bostrom, 2003, Amodei, 2016, Sculley, 2014].

Por esto es importante iniciar con una voluntad política para implementar con visión estratégica, una estructura que soporte procesos algorítmicos para una gobernanza en

datos, quizá soportada por BigData, aprendizaje profundo en las instituciones del estado, con el fin de facilitar:

a. Digitalizar procesos para cumplir con las políticas anti tramites, con el fin de que toda persona pueda realizar su proceso en línea y obtenga resultados oportunos.

b. Generar una comunicación efectiva y constante con las diferentes dependencias e todos los poderes públicos.

c. Los funcionarios y los ciudadanos puedan conocer los procesos con una visión holística de las interacciones que surgen ante un trámite. Donde, en las oficinas públicas deben contextualizar las aplicaciones de IA con el fin que la información fluya en los diferentes sistemas estatales: judicial, forense, criminal, político y otros que lleven a regular los mismos procesos. Es decir, se requiere una alfabetización con equipos multidisciplinarios, heterogéneos y plurales.

d. La transversalidad, invisibilidad, complejidad, escalabilidad y actualización constante en las estructuras gubernamentales deben adoptar una gestión de cambio e incorporar lo digital. Ser autores y empoderadores, como agentes de cambio para guiar al estado a dónde desea ir.

e. Ciber-física y Ética es una de las prioridades que tiene inmersa la convergencia de información para los trámites, ya que además de la seguridad, la encriptación, el consumo de energía, y ante todo, debe existir la ética en todas las personas; para ello se debe mejorar la legislación para evitar sesgos sociales. Lo que es claro, es que no es difícil tomar decisiones cuando se tienen valores.

La IA en la administración pública

El incorporar mecanismos, sistemas, procesos con IA se lograrán muchos beneficios, entre ellos, aumento de productividad, competitividad; sin embargo, su incorporación requiere de legislación, no solo para protección de datos, sino también que determine el uso e implementación.

No obstante, la transformación digital en lo gubernamental conduce a considerarse distintos contextos: estructura productiva (microelectrónica, robótica, computación en la nube, 5G, etcétera), dando prioridad a áreas como salud, educación, agricultura. Se puede pensar en sistemas inteligentes para seguimiento de los trabajos que licita el gobierno, de forma que sean razonables y midan equitativamente, igualmente para el aprendizaje de las personas. Los sistemas inteligentes reflejan el funcionamiento del cerebro humano, servirían mucho para la focalización de subsidios, transferencias estatales, prevención de enfermedades, diagnósticos de trastorno de estrés, etcétera.

La inteligencia artificial

El nacimiento de la IA surge en conferencia de 1956 organizada por John McCarthy en el Dartmouth College de New Hampshire, para rendir tributo a Alan Turing. Varios trabajos se presentaron, en especial empleando redes neuronales artificiales, modelo muy simple. Se empezó a desarrollar variados juegos, en particular programas de ajedrez para computadores.

Hoy día se desarrollan los sistemas basados en conocimiento (SBC), que se direccionan a conocimientos de expertos para solucionar problemas complejos, pero deben poseer amplio conocimiento para que las inferencias sean adecuadas y razonables. Emulan el proceso de aprendizaje, de memorización, razonamiento, comunicación y de acción de un experto humano en un área específica del saber. También se hallan en apogeo las

redes neuronales artificiales (RNA) que emulan el trabajo de las neuronas biológicas en el cerebro humano. Se emula la sinapsis neuronal para responder a diferentes estímulos (datos). Las RNA consta de dos procesos esenciales, aprendizaje y aplicación.

Grafo de interacción de gestión pública

Para implementar sistemas inteligentes para la gestión pública, se requiere de etapas:

1. Estandarización Normativa: Se estandarizan las leyes, decretos o normas promulgadas. En pocas palabras, nombrar procedencia normativa de cada una, indicando artículos de la constitución que influyen en ella. De ahí se desprenden decretos, ordenanzas, resoluciones departamentales, acuerdos, resoluciones municipales.

2. Modelo: Se determinan redes para interconexión de las dependencias gubernamentales, en especial porque el mundo se mueve por redes, sociales, de comunicación, de procesos, eléctricas, de conocimiento, de investigación, redes de innovación, redes organizacionales, redes ecológicas, y, desde luego, la red de administración pública. La red del modelo en la estructura, llamada GIGP (Grafo de Interacción de Gestión Pública), donde los nodos son artículos, leyes, decretos, ... Por tanto, el modelo se formula para entender las propiedades estructurales, las dinámicas y elementos, que simulen el funcionamiento en la administración pública. Red que puede sumar 1000 computadores, con 500 o más procesos totalmente diferentes, lo que lleva a tener un comportamiento imprevisible, pues existen en esa red nodos que entran y salen al azar, por tanto, se construyen y destruyen conexiones como canales para la transferencia o flujo de energía (recursos materiales, información, ideas, comunicaciones, ...). Entonces, la estructura de la red es dinámica no tanto por las funciones sino por los servicios, restricciones y contradicciones para las personas.

La red tendrá un nodo principal cuya función es reunir datos, quizá con diversas características, a la vez ser catalizador de los otros nodos. Nodos secundarios que especifican las leyes, los decretos, las ordenanzas, etcétera, que estarán en bases de datos en cada entidad, donde existe también bases de datos de los tramites. La interconexión de nodos es la muestra de flujos según los diferentes trámites y la interacción de ellos con las leyes, decretos, ...

La estandarización de trámites consiste en que todos deben de tener las siguientes variables: Tipo, número de identificación, fecha de registro, nombre del trámite, tipo anterior de trámite, nombre institución o dependencia.

Cada persona realiza su solicitud (trámite) ante la entidad (Estado) en línea, llenando todos los detalles. Pero se exige un conjunto de datos (parámetros) indispensables para el trámite: identificación (cedula, registro civil, tarjeta de identidad, pasaporte, cedula de extranjería, ...), identificación de la entidad destino, número de identificación tributaria (NIT), código de identificación del trámite, normativa legal (ley que soporta el trámite), normativa constitucional (artículos constitucionales que lo ampara). También existen parámetros específicos que definen las características del trámite.

3. Definición del modelo

El modelo utilizado es el de una red, en general social, pero que computacionalmente su estructura es como una red biológica, en general, es un entramado complejo de conexiones entre diferentes nodos, donde algunos nodos pueden tener pocos enlaces, mientras otros tener multitud, algo así como un número infinito de enlaces, que simplemente indica que es difícil contarlos.

El proceso con el modelo es emplear mecanismos de IA (Machine Learning, Deep Learning, BigData, ...) en los diferentes nodos (entidades del Estado); donde además contarán con programas estadísticos (R, SPSS) y, desde luego, las bases de datos de los trámites, como también de diferentes algoritmos sofisticados con diferentes funciones a la vez, dado que estarán compuestos por agentes inteligentes. Por tanto, los algoritmos a emplear en la administración pública van desde la detección y predicción de enfermedades graves, la focalización de políticas públicas, programas, proyectos sectoriales, planes de ordenamientos territoriales, planes de acción, planes desarrollos nacionales y subnacionales, base y fundamentación técnica de planeación nacional y territorial.

Conclusiones

Hoy día, bastante desarrollo tecnológico para las organizaciones se centra en la robotización de las industrias y automatización de diferentes procesos que se realizan en las diferentes organizaciones públicas y privadas. La robotización es la construcción de dispositivos con ciertas características del ser humano empleando internamente mecanismos de la inteligencia artificial, con el fin de que esas máquinas con características humanas también realicen acciones como los humanos, sobre todo aquellas que emulan procesos cognitivos; de forma que puedan inferir respuestas a problemas complejos que se les plantea, para ello cuentan con variados agentes inteligentes con miras a que cada uno realice una función específica, pero que en conjunto puedan realizar otras funciones de mayor nivel, también cuentan con bases de conocimiento, bases de datos y, desde luego con diversidad de algoritmos sofisticados para definir de manera “autónoma” qué hacer.

La automatización es una necesidad hoy día de toda organización por el inmenso volumen de datos que recopilan, procesan y emiten ante las diversas transacciones que deben realizar para cumplir con los servicios que prestan; en general, se soporta en los computadores. Cuando el volumen de datos a procesar es bastante amplio, se debe contar con diferentes herramientas computacionales con el fin de que el proceso sea rápido y eficiente, aunque esto depende de los algoritmos que se han diseñado.

La administración pública, en sus diversas dependencias no debe ser ajena a las diferentes herramientas que realiza el desarrollo tecnológico y que, en las organizaciones, como lo es cualquier entidad pública, se deben implementar. Variadas herramientas de esas tienen involucrado mecanismos con técnicas y métodos de inteligencia artificial, las cuales emulan variados procesos cognitivos del ser humano, como: reflexionar, razonar, inferir, clasificar datos cualitativos (no se cuenta aquí datos cuantitativos pues esto lo hace todo computador) y, en cierta forma, aprender.

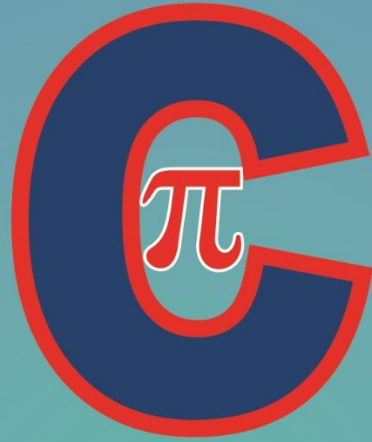
La administración pública debe implementar en cada una de las entidades y oficinas herramientas con mecanismos de inteligencia artificial a fin de, por lo menos, hacer que los trámites que realizan las distintas personas presenten transparencia y ningún sesgo, además rapidez de encadenamiento para que la respuesta sea oportuna y eficiente, entre otras cosas, cumpliendo con las regulaciones que amparan el debido proceso.

La administración pública, en Colombia, debe incluir diferentes herramientas computacionales que incluyan mecanismos de inteligencia artificial, que en esta crisis generada por el virus Covid-19, facilitaría la realización de diferentes trámites en línea con las diferentes entidades del Estado, dado que las personas trabajarán desde su casa con el fin de que no exista desplazamientos; sin embargo, las crisis pueden seguir surgiendo pues este virus como otros, siempre están renovando su estructura para

defenderse de los medicamentos con que se les ataca, es decir, los virus tiene capacidad para adaptarse a los cambios que suceden en el entorno, siempre con la función “autónoma” de traer resultados de mayor alcance de deterioro de la vida humana.

BIBLIOGRAFÍA

- Boden, M. A. (1994). *Filosofía de la inteligencia artificial*. Mexico: Fondo de Cultura Económica.
- Broncano, F. (2000). *Mundos artificiales. Filosofía del cambio tecnológico*. Mexico D. F., Mexico: Paidós.
- Bruner, J. (1997). *La educación: puerta de la cultura*. Madrid, España: Visor.
- Debenham, J. K. (1989). *Knowledge System Design*. New York, USA: Prentice Hall International.
- Garzon Torres, N. M., & Torres Soler, L. C. (2012). *Inteligencia artificial. Una aproximación*. Berlin: Academica Española, Berlin.
- GEECT-Grupo Europeo sobre Etica de la Ciencia y las Nuevas Tecnologías Inteligencia artificial, robótica y sistemas autónomos. (2018). *Declaración sobre Inteligencia artificial, robótica y sistema "autónomos"*. Luxemburgo: Comisión Europea.
- Nebendahl, D. (1988). *Sistemas expertos*. Siemens, Alemania: Marcombo.
- OCDE. (2003). *La comprensión del cerebro. Hacia una nueva ciencia del aprendizaje*. Mexico: Universidad Católica Silvia Henríquez .
- Rich, E., & Knight, K. (2003). *Artificial Intelligence*. Mexico: McGraw Hill.
- Rumelhart D., H. G., & Williams, R. (s.f.). *Learning Representation by Back- Propagating Errors* (Vol. 323). Nature.
- Thomas, H. (1999). *Sistemas tecnológicos . Contribuciones a una teoría general de la artificialidad* . Buenos Aires: Aike Editoriales.
- Torres Soler, L. C. (2017). *Creatividad y complejidad en el aula* . Mexico.
- Turban, E. (1992). *Expert Systems And Applied Artificial Intelligence*. New York: MacMillan.
- Winston, P. H. (1999). *Artificial Intelligence*. (t. edition, Ed.) Addison Wesley.



*Hablando de
Ciencia en
EMAVI*

