

# Cambios en la ciencia y la sociedad ocasionados por el desarrollo del cálculo infinitesimal

EDVCATIO PHYSICORVM



ISSN 1870-9095

Pablo Isidro Ayala de Santiago<sup>1</sup>, Sara Gallegos Buenrostro<sup>1</sup> y Juan Manuel Rivera Juárez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad Académica de Física, Universidad Autónoma de Zacatecas, Campus II, Zacatecas, México.

<sup>2</sup>Unidad Académica de Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia, Universidad Autónoma de Zacatecas, Campus UAZ Siglo XXI, Zacatecas, México.

E-mail: jmriviera@uaz.edu.mx

(Recibido el 12 de enero de 2021, aceptado el 15 de mayo de 2021)

## Resumen

Una de las herramientas más usadas por los físicos al momento de desarrollar y estudiar las matemáticas de la naturaleza es sin duda el cálculo. El desarrollo del cálculo infinitesimal, cómo lo conocemos hoy en día, cambió radicalmente el rumbo de la civilización humana, impulsando significativamente una revolución en la ciencia. Además, influyó en otros campos aparentemente ajenos para él, como la ingeniería, la política, incluso la religión. En este trabajo se exponen los principales cambios socioculturales y científicos que propició la creación del cálculo a mediados del siglo XVII. No se aborda en su esencia puramente matemática, dado que ya existen numerosos artículos al respecto. El trabajo está plenamente enfocado en dar a conocer cómo el cálculo cambió el modo de entender el mundo y la forma de vivir de las personas del siglo XVII. "El interior de un átomo, las cambiantes poblaciones de la vida salvaje, el clima... todo eso puede explicarse mediante el lenguaje del cálculo. De alguna manera este lenguaje... es simplemente la mejor herramienta que jamás hayamos inventado [1]", Steven Strogatz.

**Palabras clave:** Historia de la Ciencia, Cálculo Infinitesimal, Física.

## Abstract

One of the physicists' most useful and important tool for developing and studying nature's mathematics is, without a doubt, calculus. The creation of infinitesimal calculus, as we know it today, has radically changed the course of human civilization, significantly boosting a revolution in science. Besides, it has influenced other fields of investigation such as engineering, politics, and even religion. In this article, we expose the principal sociocultural and scientific changes that the creation of calculus has propitiated at half of the XVII century. We do not discuss the mathematical essence, due to the existence of several articles about it. This article is totally focused on exposing how calculus changed the way of understanding the world and way of living of XVII century people. "The interior of an atom, the changing populations of wildlife, the climate ... all of this can be explained by the language of calculus. In some ways this language ... is simply the best tool we have ever invented [1]", Steven Strogatz.

**Keywords:** History of Science, Infinitesimal Calculus, Physics.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de nuestra civilización el hombre ha necesitado de una herramienta que le ayude tanto a entender el mundo que lo rodea como a explicar lo que él mismo ha desarrollado. Esta herramienta es el lenguaje de la ciencia, la manera que tiene el universo de comunicarse con nosotros y la manera que tenemos nosotros para entender al mismo, esta herramienta son las matemáticas.

Las matemáticas surgieron de la necesidad de contabilizar cosas, práctica útil en el comercio, por ejemplo. Posteriormente la humanidad evolucionó y junto con ella su manera de ver el mundo y por tanto las matemáticas. A lo largo de las épocas las hemos usado para prácticamente

todas las actividades humanas, desde la agricultura y la ganadería hasta la exploración espacial, pasando por la medicina, la ingeniería, la arquitectura y la robótica, por mencionar algunas pocas.

Varios momentos son destacables en la historia de las matemáticas, sin embargo, pocos han sido tan relevantes y revolucionarios como lo fue la invención del cálculo. Esta es sin duda la herramienta más potente y eficaz para el estudio de la naturaleza que jamás hayan desarrollado los matemáticos, además de que marcó el antes y el después de la ciencia y con esta, de la sociedad en general. El cálculo construyó el mundo moderno y cambió nuestro modo de vida.

## II. LA CIENCIA Y LA SOCIEDAD ANTES DEL CÁLCULO INFINITESIMAL

Hoy en día nos resulta imposible pensar en un mundo sin internet, sin vehículos, sin fármacos eficientes y para no hacer más larga la lista, sin circuitos eléctricos funcionales. Sin embargo, a mediados del siglo XVII las personas no podían sino soñar con estos desarrollos pues, para ellos, era inverosímil el mero hecho de creer que algo tan avanzado pudiese existir y mucho menos ser desarrollado por los seres humanos.

Las condiciones vida en aquella época, por lo menos en Europa, eran mediocres; cada vez había más pobres, hacinados en callejones y conviviendo en edificios con arquitectura mediocre y contruidos y modificados para tratar de adaptarse a las circunstancias, pero por lo mismo, olvidándose de las condiciones mínimamente esperables de vivienda y salubridad. Las calles estaban llenas de ratas y otros animales, la enfermedad se sentía a flor de piel y, debido a la escasa eficacia de la medicina de ese entonces, no hacía más que expandirse de poco en poco [2].

¿El consuelo de la gente? Al no existir una solución tangible para los problemas de la época, el pueblo se consolaba en la religión, principalmente en el cristianismo, el cual, a partir de la invención de la imprenta alrededor de 1450 por mano de Johannes Gutenberg tomó una importancia esencial en la forma de vida de los habitantes de Europa. Tanta era la influencia de la iglesia que incluso guerras fueron libradas en nombre de la fe, la más adecuada para mencionar en este trabajo es la guerra de los treinta años, librada en la puerta de la invención del cálculo.

La visión general de la iglesia era la de un Dios creador omnipotente y perfecto en todos sus sentidos, pero no sólo eso sino que además se consideraba al universo cómo un gran reloj, creado y puesto a andar por Dios y como no podía ser de otra manera, al ser obra del creador era perfecto e incomprensible al ser humano.

Cabe decir que la religión no se oponía a la ciencia, al contrario, la instaba a florecer; basta con mencionar nombres como el de Nicolás de Cusa; padre de la filosofía alemana y autor de numerosos textos de astronomía y matemáticas quien además de esto fue también nombrado cardenal y obispo de Bresanona, ciudad al norte de Italia, en el siglo XV. Y el de Nicolás Steno, médico y padre de la geología y además nombrado beato por el papa Juan Pablo II a trescientos años de su muerte. La lista de personas e instituciones científicas es demasiado extensa para mencionarla en su totalidad sin embargo con los ya señalados y con los mismísimos Newton y Leibniz, de quienes se hablará más adelante, es suficiente para mostrar el compromiso de la iglesia con la ciencia.

En el ámbito académico las universidades se regían “bajo el argumento de que la plenitud de la cultura se había alcanzado en el periodo de la antigua Grecia, los trabajos realizados en el medioevo y aún después de éste trataban de hacer referencia constante a las ideas antiguas asumiendo así un culto a las teorías y filosofías griegas, impidiendo en cierto grado, una producción autónoma y original del

conocimiento bajo nuevos paradigmas de producción científica menos cualitativas [3].”

No podemos decir que la ciencia se encontrase estancada, la astronomía se hallaba en un cenit con los recientes aportes de Galilei, Brahe y Kepler, por mencionar algunos y las demás ciencias marchaban a buen ritmo. Principalmente, en una de las áreas que más nos interesan; las matemáticas, se estaba dando un brusco cambio en la manera de hacer investigación, los pensadores modernos poco a poco se alejaban de las matemáticas helénicas, las cuales habrían fungido como base para el desarrollo de nuevas matemáticas por varios siglos, para en su lugar, poner una mirada incesante en los pensadores y la filosofía de la época, para así, tratar de abordar esta ciencia desde un punto de vista nuevo. La desventaja más notable era una pérdida en el formalismo, la misma comunidad comenzaba a mostrar avances conformados por una gran mezcla heterogénea de técnicas, métodos, notaciones, teorías y paradojas.

Con todo y todo hacía falta algo, un detonante, un descubrimiento o desarrollo fundamental y revolucionario que cambiase la ciencia y la forma de vida de Europa. Algo que resolviese el problema de la falta de formalismo de las matemáticas, que le diera al pueblo una nueva concepción del mundo y de sí mismo. Este desarrollo llegó de la mano de dos de los más importantes matemáticos de la historia: el inglés Sir. Isaac Newton y el alemán Gottfried Leibniz, quienes a pesar del proceso de cambio en el que se encontraban las matemáticas, supieron afrontarlo y solventar las dificultades del mismo para darle al mundo un formalismo excepcional y que caracteriza a las matemáticas de nuestra era.

## III. CREACIÓN DEL CÁLCULO

Si bien este artículo no está enfocado en hablar sobre los formalismos matemáticos que llevaron a la creación del cálculo, no está de más mencionar un poco de historia al respecto.

Si bien no fue sino hasta el siglo XVII que llegó el cálculo como lo conocemos hoy en día, la idea del mismo surgió mucho antes, debido a las dificultades que tuvieron los antiguos matemáticos griegos en su intento por explicar sus ideas intuitivas para expresar razones o proporciones de líneas, que vagamente eran conocidas como continuas.

El verdadero origen del cálculo infinitesimal se remonta a hasta 1800 años antes de Newton, de la mano del matemático griego Arquímedes de Siracusa. El primer texto del que se tiene registro que menciona el uso de infinitesimales para calcular áreas y volúmenes es “Sobre el método relativo a los teoremas mecánicos”, mejor conocido como “El método”. Dicho texto es una carta de Arquímedes a Eratóstenes y cuya única copia fue descubierta por el filólogo danés Johan Ludwig Heiberg en el siglo XX quien utilizó diversas técnicas fotográficas sobre un palimpsesto con contenido religioso cuyo contenido original era la ya referida carta. El texto encontrado es una copia hecha en el siglo X, de algunas obras de Arquímedes, todos los textos

excepto uno ya se conocía. Ese único texto es “El método” y hasta la fecha es la única copia conocida de dicha carta. Si este texto no se hubiese perdido, el cálculo infinitesimal hubiera sido desarrollado varios siglos antes [4].

Sin embargo, para pesar de algunos y gloria de otros el palimpsesto de Arquímedes se descubrió hasta 300 años después de que Newton publicase los “Principios matemáticos de filosofía natural”, por tanto, la gloria se la llevan él y su contemporáneo Leibniz.

Antes de estos dos estuvieron otros tantos grandes matemáticos quienes sentaron las bases para que pocos años después el cálculo pudiese consolidarse. Para no desviarnos del objetivo de este texto no se hará más que mencionar a dichos personajes sin realizar un exhaustivo análisis ni de sus vidas ni de sus trabajos. John Wallis, Blaise Pascal, Pierre de Fermat, Isaac Barrow, René Descartes, Galileo Galilei, Johannes Kepler, y muchos otros. De no haber sido por sus aportes a la geometría y al álgebra, el desarrollo del cálculo no hubiese llegado tan pronto.

Irónicamente uno de los problemas sociales resuelto por el desarrollo del cálculo fue a su vez un catalizador que permitió la creación de este. Como ya se ha mencionado en este texto, las condiciones de vida en Inglaterra a mediados del siglo XVII eran deplorables, cada vez más gente y cada vez peores condiciones sanitarias. Esto y otros factores dieron pie a la conocida peste bubónica o peste negra la cual en 1666 ya había acabado con la quinta parte de la población de Londres. Ante tan precaria situación muchos jóvenes estudiantes optaron por refugiarse en sus lugares de nacimiento, comunidades rurales alejadas del descontrolado crecimiento urbano que había dado pie a la peste. Entre estos jóvenes se encontraba un estudiante del Trinity College, sin muchas aspiraciones o pretensiones, que pasó los días de retiro pensando sobre las cuestiones más íntimas y profundas de la filosofía natural, pensamientos que no compartiría con nadie sino hasta varios años después, tras terminar un máster y convertirse en profesor de su alma mater. Este joven era Isaac Newton y los pensamientos que lo acompañaron en su autoimpuesta cuarentena fueron los que se convertirían en uno de los más importantes libros jamás escritos: “Principios matemáticos de filosofía natural”. Si bien dicha publicación no dio vida al cálculo infinitesimal por sí sola, sí sirvió para que otros encontrarán en ella lo mismo que encontró su autor, descubrimiento que a su vez traería con él innumerables desarrollos e inventos que construyeron el mundo contemporáneo [2].

A tan solo unos países de distancia, en Alemania, nos encontramos con Gottfried Wilhelm Leibniz, un filósofo, matemático, teólogo, cartógrafo, diplomático y político contemporáneo de Newton quien, además de las innumerables aportaciones a los campos ya mencionados, fue también el desarrollador paralelo a Newton del cálculo infinitesimal y debido a ello, el rival del físico inglés.

Newton es considerado como uno de los más grandes genios de la historia, sin embargo, Leibniz no se queda atrás. No por nada es mencionado por Diderot en una de las más grandes obras de la humanidad; L'Encyclopedie, en donde su autor se refirió a él en los siguientes términos:

“Quizá nunca haya un hombre leído tanto, estudiado tanto, meditado más y escrito más que Leibniz [...] Lo que ha elaborado sobre el mundo, sobre Dios, la naturaleza y el alma es de la más sublime elocuencia. Si sus ideas hubiesen sido expresadas en el olfato de Platón, el filósofo de Leipzig no cedería en nada al filósofo de Atenas [5].”

Leibniz desarrolló el cálculo a la par de Newton, hay quienes afirman que ambos genios llegaron a la misma conclusión de manera enteramente autónoma e independiente, otros autores mencionan un posible acceso por parte del alemán a textos no publicados del inglés en el año 1676 durante un viaje que el primero realizó a Londres. Si bien en 1711 la Royal Society se decantó por Newton como primer inventor de cálculo, algo es indudable e inapelable; mientras que Newton publicó “Principios matemáticos de filosofía natural” en 1687, Leibniz realizó las publicaciones correspondientes al asunto entre 1682 y 1686 en el “Acta eruditorum” de Leipzig, revista científica de la ciudad natal de Leibniz, por tanto, a pesar de las sospechas de plagio, este último fue el primero en publicar [5].

Aunque esencialmente los dos genios desarrollaron lo mismo, la verdad es que llegaron a sus conclusiones por distintos caminos: Newton dio con el Cálculo mientras realizaba una investigación sobre física y geometría. Vio a este como la descripción científica de la generación del movimiento y las magnitudes. Llamó al cálculo “el método de fluxiones” y todo lo pensó en términos de movimiento. Consideró “fluida” a la variable dependiente y “fluxante” a la velocidad. En cambio, Leibniz se enfocó en el problema de la tangente y creyó que el cálculo era una explicación metafísica del cambio. Vio todo en términos de sumas y diferenciales [6]. Al final del día no importó la causa sino las consecuencias del cálculo, de las cuales se hablará más adelante.

El desarrollo y difusión del cálculo por mano de estos dos eruditos trajo consigo una revolución sin precedentes en áreas muy variadas, algunas aparentemente independientes entre sí: física, teología, filosofía, matemáticas, política, demografía, ingeniería, etc.

#### **IV. IMPLEMENTACIÓN DEL CÁLCULO**

Al igual que todos los cambios importantes, el cálculo tomó tiempo, no fue algo que se adoptase de la noche a la mañana.

Para empezar, se tiene la cuestión de la tardanza de Newton por publicar sus desarrollos. Si los testimonios de Sir. Isaac son correctos podemos estar seguros de dos cosas; la primera es que él dio con el punto clave para la invención del cálculo durante el tiempo que pasó de cuarentena en el campo, escapando de las grandes urbes y de la peste bubónica. Y la segunda; que realmente Newton no tenía demasiado interés por hacerse con la fama de haber revolucionado la física y las matemáticas, él esperó a terminar sus estudios, hacer un master y convertirse en profesor para por fin, comenzar a publicar sus ideas. Por sí solo, esto fue ya suficiente para entorpecer la

*Pablo Isidro Ayala de Santiago et al.*

implementación del cálculo en Reino Unido y posteriormente en el mundo, sin embargo, hay algo más para tener en cuenta, algo que retrasó más el asunto de lo que ya estaba en un inicio, esto fue el miedo de Newton a publicar.

No es un secreto para nadie que Isaac Newton era un hombre solitario, que evitaba siempre que podía las relaciones y el contacto con otros seres humanos. Complementario a esto tenemos que Newton le temía a la crítica, factor que influye directamente en el tema a discutir puesto que fue este miedo el que le impidió publicar sus escritos referentes al cálculo, por miedo a, como ya se ha dicho, ser criticado por sus contemporáneos. Esto hizo que Newton fuera postergando algunos de sus textos a tal punto de que incluso unos cuantos fuesen publicados tras la muerte del físico.

Entre los años de 1664 y 1669 Newton pensó y escribió el tratado “De analysi”, obra que muchos consideran la carta magna del cálculo, sin embargo, este texto no fue publicado sino hasta 1711, cuarenta y dos años después de terminado. “De methodis”, la que podría considerarse continuación de “De analysi” fue escrita 2 años después que su antecesora, en 1671, pero no se publicó sino hasta 1736, sesenta y cinco años después de ser redactado y nueve después de la muerte de Newton. Posteriormente estos escritos servirían para demostrar la prioridad del descubrimiento del cálculo por parte de Newton sin embargo en su momento no se tenía fe de que estas notas existiesen por tanto el debate Newton Leibniz se mantuvo abierto más tiempo del necesario, se ahondará en dicho aspecto más adelante [7].

La obra más importante de Newton es “Principios matemáticos de filosofía natural” o “Principia”, en este tratado Newton plantea solución a diversas cuestiones matemáticas y físicas de su época. Como ya se ha dicho, Newton llegó a muchos de los resultados aquí plasmados por medio de su método de fluxiones, más el mismo miedo que le impidió publicar “De analysi” y “De methodis” también lo hizo recapacitar sobre su idea de mostrar sus descubrimientos acompañados del formalismo que él mismo desarrolló. A última hora Newton reescribió “Principia” optando por un lenguaje meramente geométrico, hermético y oscuro, pero más riguroso desde el punto de vista lógico. Esto retrasó a la comunidad científica, sin embargo, Newton no fue capaz de eliminar todo rastro del cálculo, y sus contemporáneos se las arreglaron para, por medio de la ingeniería inversa, descubrir el razonamiento de Newton y poder seguir sus pasos hasta descubrir ellos mismos las ideas detrás de tal obra [7].

Más adelante se hablará de la polémica sobre el desarrollo del cálculo y del problema que hubo con la iglesia al respecto sin embargo debemos mencionar que estos dos factores entorpecieron también la rápida implementación de la nueva disciplina.

Si bien debemos agradecer a Newton y a Leibniz por la creación del cálculo, a quien debemos agradecer por corregir, pulir y darle difusión al mismo, es a los hermanos Bernoulli. La historia de la familia Bernoulli es muy

interesante pero también es extensa por lo que en este texto nos limitaremos a mencionar a los directos involucrados en lo ya tratado.

El cálculo se difundió rápidamente por Europa continental, en Reino Unido tenían sus propios problemas pero de ello se hablará más adelante. Los principales difusores de la nueva disciplina fueron los hermanos Jacob y Johann Bernoulli, quienes organizaron y dotaron de estructura al cálculo de Leibniz, aportando multitud de ejemplos y desarrollos nuevos además de que se encargaron de esparcirlo por todo el continente. Una de las maneras de difundirlo fue por medio de desafíos, se lanzaba un problema para que los matemáticos de la época lo resolvieran usando métodos nuevos o poco explorados. El más famoso de estos retos, lanzado al mundo matemático por Johann Bernoulli, fue el de encontrar la curva por la que un cuerpo desciende entre dos puntos, no alineados, en el menor tiempo posible. Esta curva es la conocida braquistócrona. Al final fue el mismo Leibniz quien encontró la solución, sin embargo, el ejemplo sirve para mostrar cómo el cálculo fue ganando cada vez más allegados [4].

Al final el cálculo terminó por llegar a cada rincón del mundo, no sin antes pasar por exhaustivas revisiones en sus respectivos lugares de nacimiento y tras haber afrontado diversos ataques y críticas, de los que se hablarán en el siguiente apartado.

La difusión de las nuevas ideas fue muy lenta y al principio sus aplicaciones eran escasas. Poco a poco, los nuevos métodos tuvieron cada vez más éxito y permitieron resolver con facilidad más y más problemas. Los nuevos logros fueron sometidos a severas críticas, la justificación y las explicaciones lógicas y rigurosas de los procedimientos empleados no se dieron hasta avanzado el siglo XIX, cuando aparecieron otros matemáticos, más preocupados por la presentación final de los métodos que por su utilización en la resolución de problemas concretos. A pesar de todo podemos decir que en general el cálculo fue un éxito, prueba de esto son sus aplicaciones, de las que se hablará más adelante.

## **V. LA CIENCIA Y LA SOCIEDAD DESPUÉS DEL CÁLCULO**

Algo tan revolucionario e innovador como la creación del formalismo matemático más importante de la historia no iba a pasar desapercibido para nadie.

Para empezar; en el ámbito político el cálculo llevó a una disputa entre los científicos ingleses y los continentales, unos a favor de Newton y los otros a favor de Leibniz.

Desde que Leibniz publicó sus resultados comenzaron a levantarse las voces sobre quien había tenido la prioridad del descubrimiento, las cosas comenzaron a calentarse entre los científicos de toda Europa. Leibniz insistía en que el método difería, cosa que era cierta, pero no pudo vencer a los demás de su inocencia. El asunto llegó a un punto sin retorno cuando Nicolas Fatio de Duillier, discípulo y amigo de Newton, acusó públicamente a Leibniz de plagio. A esta

acusación le siguieron contra acusaciones por parte de los continentales. La polémica se extendió a tal punto que Leibniz se vio obligado a solicitar una comisión a la Royal Society para que estos zanjaran el asunto. La comisión de la Royal Society, de la cual Newton era presidente, se decantó obviamente por el inglés [4].

A más de 3 siglos de lo sucedido se pueden tomar algunos hechos por reales: Según varias fuentes Leibniz visitó la oficina del Newton en 1676, en donde se especula, pudo copiar parte de sus escritos sobre el cálculo; ambos científicos mantuvieron correspondencia entre 1675 y 1677, con Henry Oldenburg como intermediario, ambos cambiaron información sobre sus avances sobre los infinitesimales [4, 5], ambos pudieron haber llegado al mismo resultado por medio de diferentes puntos de partida; el primer descubridor fue Newton; el primero en publicar fue Leibniz.

Esta polémica trajo serias repercusiones; los científicos ingleses cortaron contacto con los continentales y dejaron de compartir información sobre sus avances científicos. Para los ingleses esto supuso un serio retraso en materia de investigación, pero a los continentales no les afectó en prácticamente nada, ellos, con los hermanos Bernoulli a la cabeza, supieron adaptar el cálculo para sacarle el mayor provecho posible.

A pesar de la gran aceptación de la nueva herramienta matemática hubo quienes se opusieron a ella; en las matemáticas podemos mencionar a Bernard Nieuwentijt, filósofo y matemático holandés quien criticó duramente a Leibniz por la concepción de los “infinitesimales”, cosa que él consideraba absurda y con fallos lógicos. A pesar de que Leibniz explicó a qué se refería con dichos términos, la verdad es que no acabó por convencer a Nieuwentijt quien mantuvo firme su crítica [2].

Por otro lado, hubo una crítica que no solo afectó al ego de los involucrados, sino que puso en duda las convicciones religiosas de Newton. La crítica a la que nos referimos es a la realizada por George Berkeley, filósofo anglo-irlandés y obispo de Cloyne.

Al principio de este artículo se mencionó que Newton fue la prueba viviente de que la religión no se oponía a la ciencia ni viceversa. Él mismo, a lo largo de su vida leyó y escribió más sobre teología que sobre física. Sin embargo, esto no evitó que Berkeley atacase al cálculo por plantear este una idea de un Dios distante, que se mantiene alejado de su creación. En este sentido se podría decir que Berkeley, impulsado por sus propias convicciones religiosas y morales, puso en contra a Newton y a la iglesia.

Si bien este alejamiento no se vio tan marcado como lo fuesen otros de la misma naturaleza como el de Galileo o el de Giordano Bruno, sí marcó un fuerte descontento por parte de la iglesia, la cual veía a la teoría de Newton como una amenaza a la ya planteada visión de un Dios personal e inmanente. Eventualmente el cálculo sí ayudaría a que la humanidad tuviese una nueva manera de comprender el universo y a la par, que esta se alejase de algunas ideas planteadas por la religión, los ejemplos más claros de esto son la teoría del Big Bang y el principio antrópico, las cuales vieron la luz en parte gracias a la invención del

cálculo y que ayudaron a refrescar la concepción de la humanidad de sí misma. Por tanto, el cálculo impactó también en la religión y la filosofía [2].

Estas críticas tuvieron eco en las matemáticas y la religión respectivamente pero no fueron un impedimento para que la comunidad científica siguiera adelante con ellas.

Por último, en el ámbito social, no hubo un cambio notable de la noche a la mañana, pero fue aquí donde fue más perceptible a largo plazo. Toda la sociedad actual se construyó gracias a la ciencia y la ingeniería y estas a su vez llegaron a ser lo que son gracias al cálculo.

Sin el cálculo seguiríamos viviendo hacinados en callejones, con una esperanza de vida de 20 años y con condiciones de vivienda y salud deplorables.

## VI. APLICACIONES DEL CÁLCULO

El cálculo es una herramienta tan poderosa que podemos encontrar su aplicación en diversas ramas de estudio que no necesariamente tienen relación entre sí. Algunas de estas ramas son: matemáticas, física, química, biología, actuaría, ciencias computacionales, estadística, ingeniería, economía, negocios, medicina y demografía por mencionar algunas.

Es absurdo siquiera tratar de señalar aplicaciones del cálculo en matemáticas siendo que este se convirtió en una de las ramas más importantes del mismo por sí solo y es en sí uno de los mayores avances que se hayan conseguido.

En química se usa para determinar los ritmos de reacción y el decaimiento radioactivo de compuestos. En la biología, se usa para estudiar la dinámica de población, la cual requiere de las tasas de natalidad y defunción para modular los cambios de la población.

En la medicina, el cálculo puede ser utilizado para encontrar el ángulo de ramificación de vasos sanguíneos en el cuerpo humano para maximizar el flujo de medicamentos.

Para el cálculo de probabilidades, existen funciones de distribución de probabilidad y también funciones de densidad de probabilidad, herramientas muy útiles para calcular seguros de vida, daños, tasas de intereses, etc. En actuaría y demografía se pueden crear modelos matemáticos a base de ecuaciones diferenciales para proponer modelos tangibles de crecimiento poblacional, crecimiento de activos de empresas, posibilidades de riesgo y distribución demográfica.

En ingeniería se puede estudiar el comportamiento de partes mecánicas de maquinaria, la resistencia de materiales en construcción, el comportamiento de circuitos eléctricos e incontables cosas más referentes a esta área.

Su aplicación en administración y economía es también variada: sirve para procesos estocásticos, que son modelos muy avanzados que involucran variables que crecen de manera aleatoria en el tiempo. También se aplica para maximizar o minimizar factores, como, por mostrar un ejemplo: para reducir los costos de una empresa que se dedica a empacar cierto producto “X”, pues se puede calcular un modo de empaquetar la misma cantidad de “X” pero con cajas más pequeñas.

Pablo Isidro Ayala de Santiago et al.

En cuanto a las ciencias computacionales el cálculo se aplica en la fabricación de chips, miniaturización de componentes internos, administración de las compuertas de los circuitos integrados, compresión y digitalización de imágenes, sonidos y videos, investigación sobre inteligencias artificiales, simulaciones con emulación de comportamientos de sistemas mediante la resolución de sistemas de ecuaciones, etc.

En la física el cálculo es particularmente necesario, toda la física que se enseña actualmente a nivel licenciatura estaría incompleta sin este. Todos los conceptos de la mecánica, fluidos, termodinámica, electromagnetismo y física cuántica se relacionan mediante el cálculo. Cuando el cálculo se encontraba aún en pañales los problemas que se podían resolver usándolo en física y astronomía eran pocos, las aplicaciones se incrementaron exponencialmente durante del siglo XVIII. Posteriormente llegaron muchos otros gigantes de la física que usaron el cálculo cada quien en diferentes problemas: Laplace y Lagrange introdujeron al mundo una nueva rama de estudio que se centraba en el estudio de las fuerzas en todo el reino del análisis matemático partiendo del cálculo. Tenemos a Euler en las vibraciones de cuerdas; a Sophie Germain en las membranas elásticas; a Poisson, Lamé, Saint-Venant y Clebsch en la elasticidad de objetos tridimensionales; a Fourier en la difusión del calor; a Fresnel en el estudio de la luz; a Maxwell, Weber y Hertz en la electricidad; a Hansel, Hill y Gylde en astronomía; a Boltzmann, Lord Kelvin y Gay-Lussac en termodinámica; a Lord Rayleigh en acústica; a Kirchhoff, Ampere y Ohm en circuitos; a Turing en computación; a Planck, Heisenberg, Dirac y Pauli en física cuántica; a Einstein, Lemaitre y Hubble en cosmología y a cientos y cientos de más físicos que construyeron la física que tenemos hoy en día y que lo lograron gracias a la invención del cálculo.

## VII. CONCLUSIONES

Podemos concluir que el cálculo es una de las pocas cosas en la historia de la humanidad que han causado un cambio tan notable y abismal. Sin el cálculo la vida no sería lo que es. Las condiciones, no solo de vivienda y salud, sino también religiosas y filosóficas dieron un giro drástico a

partir de la creación de esta hermosa herramienta matemática y nos permitieron tener la vida que tenemos ahora.

Televisión, puentes, celulares, antenas de radio, rascacielos, aviones, transatlánticos, medicinas, equipos de rayos X, modelos económicos estables, vacunas, controles de población demográficos, luz eléctrica, tecnologías sustentables, celulares, cine, cámaras de video, fotografías, internet, satélites, GPS, transbordadores espaciales, ropa inteligente, energías renovables, reactores nucleares, auditorios, telescopios, microscopios y para resumir: sociedades tecnológicas, con la capacidad de proveer a sus ciudadanos de condiciones de vida óptimas, conectadas física y virtualmente, una visión del cosmos nunca antes imaginada, una evolución tecnológica y científica inconmensurable. Todo esto gracias a un puñado de hombres que lograron lo que pocos se han atrevido a imaginar; revolucionar el mundo usando únicamente pluma, papel e ingenio.

## REFERENCIAS

- [1] Strogatz, S. H., *Infinite powers: how calculus reveals the secrets of the universe Poderes infinitos: cómo el cálculo revela los secretos del universo*, (2019).
- [2] Stewart, Ian., *17 ecuaciones que cambiaron el mundo*, (Ed. Crítica, México, 2016).
- [3] Castañeda, A. & Cantoral, R., *Un acercamiento a la construcción social del conocimiento: Estudio de la evolución didáctica del punto de inflexión*, (2004).
- [4] Santonja Muñoz, J., *La invención del cálculo infinitesimal. Leibniz*, (RBA Coleccionables, México, 2017).
- [5] Félix González, R., *Leibniz. Dios que es perfecto, ha creado el mejor de los mundos posibles*, (RBA Coleccionables, México, 2015).
- [6] [https://www.fitchburgstate.edu/uploads/files/Undergraduate\\_Research\\_Conference/Sample-Math-Poster.pdf](https://www.fitchburgstate.edu/uploads/files/Undergraduate_Research_Conference/Sample-Math-Poster.pdf) consultado en Sep/24/2019.
- [7] Durán Gardueño, A. J., *LA LEY DE LA GRAVEDAD NEWTON La fuerza más atractiva del universo*, (RBA Coleccionables, México, 2012).