

# HERMENÉUTICA ACERCA DE LA CAÍDA DE LOS CUERPOS UN MODELO FILOSÓFICO-PEDAGÓGICO PARA EXPLICAR EL VACÍO TECNOLÓGICO

---

## Debate about the falling bodies phenomena; philosophical and pedagogical model to explain the technological vacuum

FRANKLIN ERAZO \*

ferazo@ups.edu.ec

Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador / Quito

---

### Resumen

El presente trabajo constituye una alegoría didáctica en donde los filósofos Galileo Galilei (1564-1642) y Aristóteles (384 a.C.–322 a.C), en una simulada confrontación de criterios, debaten ante un tribunal científico moderno para dilucidar quién tuvo más certeza al juzgar la caída de objetos. Se plantea la pregunta: ¿si se sueltan dos objetos de distintos pesos desde un mismo nivel, cuál de ellos llegará primero al suelo? Para esto, se introduce la definición de “grave” y se realiza un estudio comparativo entre la visión clásica griega y la llamada galileo-newtoniana, arbitrado por la ciencia moderna para lo cual se crea un modelo físico-pedagógico que explica el vacío tecnológico. Desde un punto de vista puramente cualitativo, se muestra la coherencia de la física pragmática de Aristóteles frente a la física ideal de Galileo Galilei.

Después de esta contraposición a nivel cualitativo, se hace una extensión cuantitativa de la visión galileana, en donde se muestra la metodología moderna de la ciencia, para concluir respondiendo la pregunta inicial y establecer en qué medida eran acertadas las posiciones de estos grandes filósofos.

---

### Palabras clave

Caída, graves, Aristóteles, Galileo Galilei, espacio vacío.

---

### Abstract

The present research is a didactic allegory where the philosophers Aristotle and Galilei in a simulated confrontation argue their ideas in front of a modern scientific tribunal, in order to identify who of both was right in the case of falling bodies, and answer the question: when two objects are left, which of them arrives first to the ground?. Firstly, the definition of “grave” is done with a comparative analysis between the classical philosophy and the galilean-newtonian position, under the eyes of the modern physics. To explain the vacuum, a pedagogical model is done. Judging the situation only in a qualitative way, the coherence of the Aristotle’s physics is shown in comparison with the Galilei’s ideal physics. Finally, a quantitative extension of the Galilei’s point of view is made to show the methodology of modern sciences and answer the mentioned question.

---

### Keywords

Fall, grave, Aristotle, Galilei, vacuum space.

**Forma sugerida de citar:** ERAZO, Franklin. 2013. “Hermenéutica acerca de la caída de los cuerpos: un modelo filosófico-pedagógico para explicar el vacío tecnológico”. En: *Revista Sophia: Colección de Filosofía de la Educación*. N° 15. Quito: Editorial Universitaria Abya-Yala.

---

\* Franklin Erazo se graduó de Físico en la EPN en Quito-Ecuador (2000), realizó estudios de posgrado en el ICTP en Trieste, Italia (2000) en Ciencias Computacionales de la Materia Consensada, obtuvo una Maestría en Docencia Universitaria en la UI de Quito- Ecuador (2007); actualmente se desempeña como profesor de física y matemáticas en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Politécnica Salesiana de Quito-Ecuador.

## Introducción

Al considerar la pregunta ¿Si se sueltan dos objetos de distinto peso, cuál de ellos llegará primero al suelo?, un gran número de personas responde que el más pesado. Luego al preguntar: ¿Cuál de entre los filósofos Aristóteles o Galileo Galilei, tuvo más éxito en la historia? La mayoría dice que Galilei, lo que resulta curioso porque en realidad era Aristóteles quien aseguraba que el objeto más pesado llega primero al suelo. Esto es un indicativo de que la física de Aristóteles era bastante cercana al sentido común (Solaz & Portolés, 2008).

Estas preguntas producen resultados contrarios en ambientes más escolarizados, es decir, se falla contundentemente a favor de Galilei admitiendo que los dos objetos llegarán al suelo simultáneamente por cuanto es justamente ésto lo que se enseña en las escuelas. De allí que, en general, es común que se juzgue de simplistas a los pensadores antiguos. Es así como en los tiempos modernos, injustamente se ha tomado la física de Aristóteles como un cúmulo de ingenuos errores de apreciación. El presente trabajo pretende, por un lado, profundizar en el pensamiento de estos filósofos hasta encontrar el fondo de su discrepancia; y, por otro, tratar de reivindicar la coherencia del pensamiento aristotélico.

Para contraponer las dos visiones: aristotélica y galileana, conviene ubicar las ideas de estos dos filósofos en un contexto común. Para Aristóteles existen categorías de objetos: Los objetos del mundo sublunar o también llamados “graves”, y los del mundo supralunar, pertenecientes a esferas con niveles “jerárquicos superiores”.

Bajo éste punto de vista, todos los objetos están compuestos por cinco tipos de elementos: tierra, agua, aire, fuego y éter. El mundo tiene su centro en la Tierra donde abundan los objetos con mayor “pesantez”; es decir, con mayor porcentaje de átomos de tierra.

Más allá de la superficie terrestre, Aristóteles considera que de acuerdo a una suerte de esferas imaginarias y concéntricas al planeta, se van ubicando los objetos de cada vez menor pesantez; así por ejemplo una piedra tendría un aporte casi total de átomos de tierra, una pluma de ave, si bien tendría predominancia de átomos de tierra, albergaría una considerable contribución de átomos aéreos y en menor medida de átomos acuosos; no así las nubes, donde la predominancia aérea por sobre la acuosa, y más aún sobre la terrosa, es notoria; de ahí su comportamiento (moviéndose por los aires). Mientras que en las estrellas, predominan los sublimes átomos del éter.

La órbita lunar se considera una especie de frontera; mientras en los objetos sobre este nivel, la predominancia del éter en ellos los obliga a cumplir una ley consistente en mantenerse en movimiento circular,

constante y perpetuo (características de la perfección). Los objetos que se ubican bajo la órbita lunar, son llamados del “mundo sublunar” o “graves”, a los que su predominancia terrosa les somete a otra ley que consiste permanentemente intentar localizarse en la superficie del planeta, y en reposo (Aristóteles, 1995). Como se ve, para el filósofo griego las leyes de cada mundo son distintas y notoriamente contrapuestas; es decir, la ley de los graves o de “gravedad” no es compatible con la ley de eternidad.

Es así como se concibe a los “graves” como objetos sublunares con considerable predominancia terrosa, en desmedro de sus otros componentes susceptibles de ser desplazados desde su estado natural (en reposo y sobre la superficie del planeta) por efectos motores arbitrarios. Para Galilei, en cambio, no hay categorías, todos los objetos sub y supra-lunares, obedecen a las mismas leyes (Koyre, 1990: 127); no obstante, el contexto común de discusión entre los dos filósofos, desde este aporte, se halla restringido al estudio del movimiento de caída libre de los objetos sublunares o “graves”.

## Posición de Aristóteles

Si se toman dos graves distintos, por ejemplo dos esferas pequeñas, una de hierro y otra de madera (se entiende que para Aristóteles dos graves solamente son distintos de acuerdo a su composición química, en otras palabras, dos graves son distintos en tanto su terrosidad o pesantez lo es); los soltamos al mismo tiempo desde un mismo nivel de altura y nos preguntamos: ¿cuál de ellos alcanzará primero la superficie terrestre? Para Aristóteles, la respuesta es obvia: el objeto de mayor pesantez llegará primero (en nuestro ejemplo: el de hierro), y luego el otro objeto (Aristóteles, 1977: Cap. VIII).

Este criterio responde al siguiente razonamiento lógico: los dos objetos en el estado inicial (de partida) están a una altura determinada y sujetos, por lo que el filósofo llamaba: un “efecto motor arbitrario”, agente externo al objeto que evita su caída. Este estado artificial, indica que aquellos graves tuvieron un estado natural anterior (de acuerdo al principio natural de los graves) y que de allí, fueron arbitrariamente desplazados (levantados) en contra de su “voluntad”.

Este ir en contra de la ley que obliga a los graves a ubicarse en reposo y sobre la superficie del planeta, tuvo una repercusión más intensa para el objeto más terroso por cuanto la predominancia del elemento tierra, prevé mayor inestabilidad al ocupar esferas ontológicas superiores (Alvarez, 2012: 37); no tanto así para el otro objeto menos terroso. De allí se entiende que, aquel objeto más “agraviado” se precipitará con mayor

“interés” que el otro, en busca de su estado natural: la superficie terrestre y el reposo (Aristóteles, 1995: 279).

*Resultado: Aristóteles 1, Galileo 0*

## Posición de Galileo Galilei

La posición de Galilei se contrapone a la de Aristóteles, en tanto para Galileo los dos cuerpos se precipitan al suelo bajo la influencia de una misma ley no discriminatoria. La ley es para todos los graves y es la ley de atracción gravitatoria; por tanto, los dos llegarán al suelo simultáneamente (Galilei, 1981: 161). Para Galilei el experimento es el juez último de la verdad. Al realizar el experimento a este respecto, se logra constatar que efectivamente los objetos mencionados, dejados caer libremente y al mismo tiempo, llegan al suelo (un mismo nivel referencial) simultáneamente, sin importar su composición química, es decir en favor de su ley no discriminatoria (Galilei, 1988: 125).

*Resultado: Aristóteles 1, Galilei 1*

Del examen anterior, se entiende que la observación directa de la naturaleza, esto es a “ojo desnudo”, apunta en favor de la física de Galilei, puesto que “aparentemente” dos objetos como los del ejemplo (dos esferas), llegan simultáneamente al suelo; sin embargo, un caso más extremo en el escogimiento de los graves, da la vuelta al asunto. Así, si el primer grave es ahora una esfera de plomo, y el segundo una pluma de ave, ¿Cuál de los dos llegará primero? La visión aristotélica no tiene problemas con este asunto, pues como se mencionó, Aristóteles diría que en efecto, la pluma con mucha menos predominancia terrosa que la esfera de plomo (la composición química de la pluma tiene contribuciones aéreas importantes en desmedro de su fracción terrosa), advierte menos interés de llegar al suelo, no así la esfera de plomo para la que aterrizar le resulta totalmente imperioso (Aristóteles, 1995: 314). Este resultado es confirmado en la práctica de manera contundente.

*Resultado: Aristóteles 2, Galilei 1*

Evidentemente en este punto del análisis, el asunto se complica para Galilei. La particular situación descrita estaría echando por tierra su posición filosófica. En su defensa, Galilei diría que éste es un caso extremo debido a la diferencia de materiales y formas entre los graves, en donde

el medio (aire) por donde se desplazan juega un papel fundamental. En otras palabras, en esta carrera (Pluma versus esfera de plomo), el medio ya no es un juez justo y boicotea la carrera. Mientras este medio se complace en permitir a la esfera cruzar su interior, mejor que cuchillo caliente en mantequilla, la pluma lucha en tortuosos vaivenes en su movimiento de caída. Por tanto, Galilei cree que es el aire el que introduce falencias en la verificación empírica de su teoría, por lo que propone pensar más bien en un experimento ideal, en donde prescindamos de éste injusto medio, que trata de tan distinta forma a los objetos en su caída libre, para verificar que los graves llegaran iguales al suelo sin importar lo distintos que sean.

¿Cuál sería entonces ese ambiente especial carente de todo, en donde se cumpliría el vaticinio de Galilei? Simplemente el “espacio vacío”: idealización según la cual el filósofo italiano vuelve a dar coherencia a su pensamiento (Galilei, 1988: 125). Esta posición idealista, se contrapone al pragmatismo aristotélico, en donde la mencionada prescindencia es inoperable. En éste punto, hay que admitir que, si sólo por un instante se acepta tal constructo mental, se constataría que en efecto, dos objetos soltados desde un mismo nivel y dentro de un contenedor “lleno” de éste “espacio vacío”, se precipitarían en igualdad de condiciones pues ya no habría ningún medio, ni justo ni injusto, opositor al movimiento y llegarían al suelo simultáneamente.

Resultado: Aristóteles 2, Galileo 2

## Análisis moderno

Ciertamente, la forma y sustancia de los objetos que se desplazan en medios materiales, determinan la manera en que el medio les afecta en su movimiento de caída libre, de manera que, la ley gravitatoria (que como tal no es discriminatoria pues constituye una argucia teórica creada de manera arbitraria para entender la realidad), es bajo cierto punto de vista “ultrapragmática”, y discriminatoria, pues al no existir dos objetos idénticos en la naturaleza (por más parecidos que sean), el medio, con la sola condición de su existencia, les discriminará en alguna pequeña medida (Resnick et al, 2001: 29-30).

Si se analiza más exhaustivamente, para el caso de las esferas de distintos materiales (hierro y madera), sucede que en realidad la más pesada llega primero. Pero el adelanto de ésta, respecto a la otra en el momento de llegada, no es perceptible por el instrumento de medición (el ojo desnudo); es decir, ocurre que simplemente el instrumento no alcanza a resolver tan pequeña diferencia. En otras palabras, se trata en última



instancia de un problema de resolución óptica, en donde el observador falla diciendo que llegan iguales al no poder percibir la diferencia de posición de los objetos en la última imagen (esto es, en el instante de la llegada del evento “caída”) que su cerebro procesa. Ciertamente existe para el observador una incertidumbre (en la determinación de cuál objeto llega primero) que es categóricamente la misma en el acto de asegurarse que los graves sean soltados desde un mismo nivel de altura, y así inicien su movimiento al mismo tiempo, pues se trata del mismo fenómeno: el acto de medida con su inseparable error.

En efecto, un análisis más exhaustivo del asunto, usando por ejemplo, instrumentos ópticos modernos (algo así como una “foto finish”), confirmaría inmisericordemente para Galilei, lo previsto por Aristóteles: El objeto más terroso llega primero (De Lucas S. et. Al, 2010: 1). Entonces, la carrera pluma versus esfera de plomo, no es un caso extremo sino un caso particular donde, fortuita y simplemente, la percepción del resultado es detectable con la simple observación.

¿Y qué sucedería en el “espacio vacío? Más adelante se analizará con más detalle esta idealización galileana. Empecemos por Aristóteles, ¿qué diría este filósofo de las argucias de Galilei? Posiblemente el filósofo griego no encontraría consistencia en este concepto, bajo su perspectiva, podría decir que el vacío es una cualidad de algo inexistente. En efecto, para Aristóteles tanto la infinitud del universo como el espacio vacío son conceptos ficticios cuya consistencia es solamente potencial y no en acto. El espacio vacío, como una suerte de lugar contenedor de materia, resulta un absurdo: si la materia por axioma es el ser, y se define como aquello que ocupa espacio, y si el espacio vacío existiera, entonces también tendría un ser, luego dos objetos materiales, por ejemplo un cubo de madera y el espacio cúbico del mismo volumen, contradictoriamente podrían ocupar el mismo espacio, consecuentemente el uno existe (el cubo) y el otro no (el lugar cúbico vacío). Por otro lado, podría argumentar que el espacio no pertenece a la realidad tangible sino que es una cualidad ontológica del ser, pero esto incurriría en una contradicción mayor, porque de esta manera existirían formas sin contenido, esto es: atributos de objetos inexistentes, luego inexistentes también (Aristóteles, 1995: 138).

Por su parte, la ciencia moderna tiende a confirmar, en acuerdo con el filósofo griego, que el vacío no existe naturalmente en el universo, y de hecho se podría extender la argumentación aristotélica diciendo que un contenedor tal como una botella “llena” de espacio vacío flotando en el cosmos, sería un “imposible filosófico” y por tanto, una flagrante contradicción para el universo, puesto que un objeto hecho para contener cosas<sup>1</sup>, a pesar de que “la nada absoluta” por definición, no es una cosa, sería un absurdo dado que la existencia de tal objeto contradeciría su pro-

pósito de fabricación que es, como ya se dijo: contener cosas. De manera que encontrarse con algo así en alguna parte del universo sería tan raro como hallar un barco en un planeta que siempre estuvo desértico. Es decir ¿por qué se molesta en existir si no tiene utilidad?

No obstante, aún podría argüirse que tales cosas como el barco y la botella vacía, podrían existir si el universo fuese “extraño”, y una de sus extrañezas consistiría en justamente permitir la existencia de objetos inútiles. En ese universo de intrínseca condición caótica podrían ocurrir eventos raros, algo así como en el país de las maravillas de Alicia, donde al lanzar un dado, cae un huevo; no obstante, en un universo cuyo modelo es gestado por una mente como la de Aristóteles, -heredero del pensamiento pitagórico, en los albores de la cultura occidental-, que concibe al universo ordenado (cosmos), esto sería absolutamente imposible.

En definitiva, a la luz del conocimiento actual se puede decir que si bien pueden existir ambientes enrarecidos (de bajas presiones manométricas), el vacío absoluto no existe, ni tampoco puede ser creado artificialmente. En otras palabras, aunque teóricamente puede predecirse la extracción material por ejemplo, de todas las moléculas de un gas dentro de un contenedor, en la práctica, este estado llamado de “alto vacío”, corresponde a una baja presión crítica en donde a partir de allí se produce radiación (radiación de Casmir), de manera que no puede asegurarse que el alto vacío esté totalmente vacío, por cuanto a saber, la realidad se compone de un ente integrado e indisoluble llamado “masa-energía” (Lambrech tet al, 2002:197).

Este punto es importante puesto que si se pudiese obtener por medios tecnológicos un recipiente totalmente vacío, es decir succionar el aire del recipiente hasta vaciarlo completamente, éste constituiría la prueba del “delito”. Delito del universo de ser capaz eventualmente de violar ciertas leyes filosóficas, (ciertamente, en ese caso, sería la filosofía en tanto búsqueda de la verdad, la que contendría fallas estructurales axiomáticas, y no el universo), es decir, sería la evidencia irrefutable de que el vacío sería posible y que su consecución sería cuestión de tiempo, esfuerzo y por supuesto, dinero. Pero ¿qué tan real es esta expectativa? Es decir, ¿podrá, bajo ciertas condiciones locales de alta entropía, el universo aunque sea por un instante permitir en su seno la consecución del vacío? Como se dijo, hasta el momento esta condición no tiene evidencia empírica. Sin embargo, si es cierto que la ausencia de evidencia no constituye evidencia de ausencia, se le puede otorgar al filósofo italiano, al menos el beneficio de la duda y emprender la labor –teórica por cierto- de fabricar el vacío.



## Un modelo teórico para explicar las connotaciones filosóficas del vacío tecnológico

Con el fin de explicar las el punto de vista galileano del vacío, a continuación se supondrá que se extrae sistemáticamente el medio (por ejemplo gas monoatómico) usando un artefacto como el que se muestra en la figura 1, compuesto de un contenedor de paredes rígidas, con “ $n$ ” átomos de gas, y que tiene acoplado un mecanismo llamado “trampa”, que consta de una compuerta C, una cámara M y un brazo extractor X.

### Modelo pedagógico para explicar la responsabilidad de el vacío

132

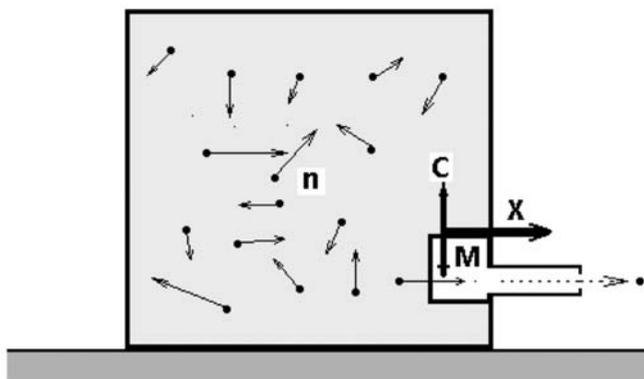


Fig. 1 El contenedor cerrado contiene “ $n$ ” partículas de gas, consta de un mecanismo automático que extrae una partícula del contenedor y luego otra y así sucesivamente hasta que colapsa el contenedor con una energía “ $E$ ” que se disipa.

Fuente: Investigador (F. Erazo 2012)

La situación ocurre así: como el movimiento de las partículas de gas dentro del contenedor es aleatorio, entonces si “ $n$ ” es suficientemente grande, existirá un tiempo finito de espera y un alto valor de probabilidad de que un átomo ingrese a la cámara y se cierre la compuerta cayendo así en la trampa para que luego el brazo extractor expulse el átomo del recipiente. Después la trampa automáticamente volverá a su posición inicial a esperar que otro átomo ingrese a la cámara, pero para el segundo átomo, la probabilidad ( $P$ ) de atraparlo es menor que antes, debido a que hay menos átomos, por lo que la trampa tendrá que esperar un tiempo mayor para atraparlo; pero si ocurriese, esta vez el brazo necesitaría más fuerza ( $F$ ) para la extracción, debido a que con cada extracción, la presión se decrementa al interior del contenedor, inclusive las paredes del conte-

nedor podrían colapsar con una energía (E) mientras el brazo extractor se mueve.

Al repetir esta operación sucesivamente hasta que en la extracción del  $i$ -ésimo átomo, el contenedor colapsa, verificaríamos esta tendencia: E y F aumentan, mientras “n” y “P” disminuyen. Si sucesivamente se refuerzan las paredes del contenedor, solo se consigue que el colapso ocurra después; esto es, al haber extraído un número “n” más grande de átomos, pero siempre manteniendo las tendencias mencionadas. Resumiendo, esta operación haría que la energía del colapso del contenedor – y también la fuerza-, se incremente ad infinitum, al mismo ritmo que “n” y también la probabilidad P, se acerquen a cero. Cabe señalar, como una situación interesante, que el tiempo de espera para atrapar al último átomo teóricamente, sería igual a infinito donde el sistema habría caído en un estado de “indecibilidad” entre el colapso, o el vacío, los dos en condición absoluta.

Experimentalmente se encuentra que, a presiones muy bajas los gases se comportan semejantes a los gases ideales. Las leyes para estos gases, llamadas De Avogadro, De Boyle y De Guy Lussac, en combinación; producen la ecuación llamada “de estado” ( $PV=nRT$ ), la que describe el comportamiento de un gas ideal (Resnick et al 2001: 567). De allí se puede concluir que: al disminuir sistemáticamente el número de átomos, la relación matemática entre la Energía del colapso y el número n de átomos que queda en el contenedor, ocurre en proporcionalidad inversa (Resnick et al 2001: 576-577); es decir, según una ecuación del tipo:  $E=k/n$ , donde K es una constante de equiparación dimensional, cuyo significado es evidente: un recipiente colapsará con mayor energía cuanto menos átomos de gas se hallen en su interior.

Esta ecuación que refleja verazmente el comportamiento de la naturaleza, delata la imposibilidad del vacío, mediante el absurdo de la división por cero, porque como se ve, en esta paradoja que bien podríamos llamar “de la botella vacía”, la energía E con la que colapsan los contenedores por presiones muy bajas, siendo inversamente proporcional al número de átomos que aún quedan contenidos en su interior, implicaría que en el momento justo cuando el brazo X intentase extraer el último átomo de gas ( $n=1$ ); a la par el contenedor estaría a punto de cargarse con energía infinita, su colapso -al desechar esta energía- se produciría en similares infinitas proporciones; es decir, que implosionaría todo el universo, o dicho de otra manera, todo el universo intentaría introducirse en el recipiente, para así auto-resarcirse de la energía perdida.

La idea de este terrible escenario: un átomo rondando una trampa mortal y el universo circundante dispuesto a practicarse un harakiri antes de permitir la consecución de un absurdo, nos ayuda a concluir



que conseguir un nivel de presión cero en un recipiente, no constituye una limitación técnica circunstancial, sino una limitación filosófica, una violación directa de las leyes de la naturaleza, y por lo visto hasta ahora, nuestro indestructible universo, no permite tales transgresiones.

De lo analizado, podríamos decir que ante la obligada existencia de un medio discriminador en el fenómeno de la caída de los graves, en cuanto a cuál objeto llega primero al suelo, lo que ocurre es aquello previsto por Aristóteles.

Resultado: Aristóteles 3, Galilei 2.

### Cuadro comparativo de los criterios vertidos

134



Como se acaba de ver, el análisis cualitativo de Galilei le deja en mal predicamento frente a la física de Aristóteles; sin embargo, una extensión cuantitativa del asunto va a cambiar las cosas. Antes de empezar con la cuantificación, una recapitulación: La física de Aristóteles constituye una representación muy pragmática de la realidad, mientras que la física de Galilei resulta ser una aproximación a la realidad, porque entre sus ideas y la realidad, media un concepto tanto arbitrario como ficticio: el espacio vacío. Por otro lado, para Aristóteles existen categorías de objetos, los de elevada pesantez, que tienden al reposo; y los etéreos que tienden al movimiento perpetuo, cuyo movimiento es generado por un llamado “motor Inmóvil”. Para Galilei no existen tales categorías dado que todos los objetos obedecen a la misma ley. Estas comparaciones se muestran en el cuadro No. 1.

Puntos de comparación	Aristóteles	Galileo Galilei.
Categoría de la visión filosófica	Física real (pragmática) No introduce conceptos ideales	Física ideal (introduce el concepto ideal del espacio vacío)
Categorización de objetos	Existen dos tipos: Sublunares (graves) y supralunares	No hay Categorización. Todos los objetos tienen la misma naturaleza
Causas del movimiento	Existen dos causas: 1 Causa particular, se aplica a los graves y está basada en el principio natural, y 2 Causa general, Se aplica al movimiento natural y al movimiento perpetuo de los objetos supra lunares, y se basa en el Motor Inmóvil.	Todos los objetos se mueven bajo la acción de una misma ley natural
Niveles admitidos en el análisis	Cualitativo, no cuantitativo	Cualitativo, cuantitativo

Cuadro No 1. Comparación de los puntos más importantes de la contraposición ideológica Aristóteles-Galileo en torno a la caída de los graves. Fuente: Investigador (F. Erazo 2012)

## Análisis galileano a nivel cuantitativo. La ley de caída de los graves

En éste punto del análisis, cabe la pregunta ¿cuál es cuantitativamente la ley que rige la caída de los graves desde el análisis galileano? Este procedimiento, que para la época resultaba inusual, no es más que la medición (conteo) de las unidades correspondientes de dos magnitudes físicas distintas, para luego contraponerlas. Esto es describable en una gráfica cartesiana donde se pueda apreciar la forma de variación de una dimensión (distancia, velocidad, aceleración, etc.) respecto a la otra (el tiempo).

Habrían dos posibles resultados para el enfoque galileano: 1) la caída es ordenada, y 2) la caída es desordenada. La caída desordenada describiría un universo caótico en donde los graves caen de manera irregular; es decir su velocidad variaría sin un ritmo regular predecible: frenan, aceleran, regresan, se estacionan, etc. En estas circunstancias sería imposible hallar una única expresión matemática que relacione cada dato

de tiempo con su correspondiente dato de posición; al soltar dos objetos desde el mismo nivel, podría ocurrir en un primer experimento, que uno de ellos llegue primero; y, en un segundo experimento, en igualdad de condiciones, sea el otro el que se adelante.

De lo anterior se desprende que este tipo de universo imprevisible, imperfecto y sin mayores atributos estéticos; no ameritaría de un ingenio creador de existencia previa a su origen. Por otro lado, si la caída resulta ser ordenada, ésta referiría a un universo especial en su estética, con características perfectas y óptimas.

Bajo estas expectativas, a continuación se procederá a mostrar los resultados que obtiene Galilei en su cuantificación y evaluación de variables físicas observables, mediante gráficas. El experimento consiste en dejar caer un objeto desde una altura dada, haciendo coincidir el momento inminente de caída (instante en que es soltado) con los datos cero metros y cero segundos para la distancia y el tiempo respectivamente. (ver cuadro No 2).

Magnitud física medida (Observable físico)	Resultados de la 1ra medición	Resultados de la 2da medición	Resultados de la 3ra medición	Resultados de la 4ta medición	Resultados de la 5ta medición	.....	Resultados de la n-ésima medición	Resultados de la n+1-ésima medición
Distancia medida en metros; x (m)	0	5	20	45	80	...etc.	?	?
tiempo medio en segundos; t (s)	0	1	2	3	4	...etc....	5	t

Cuadro No 2. Datos obtenidos desde el análisis galileano cuantitativo de la caída de un objeto desde una altura determinada. La distancia y el tiempo se incrementan a medida que cae el objeto partiendo desde el nivel 0 m y 0 s. Fuente: Investigador (F. Erazo 2012)

¿Cuál es exactamente la ley que rige este movimiento? En otras palabras: ¿existe una sola transformación (ecuación) simple y racional que transforma un dato de tiempo en su correspondiente observado de distancia, que permita no solo completar la Tabla 2 para el tiempo  $t = 5s$  por ejemplo, sino en general, para cualquier tiempo  $t$ ?

Inicialmente, Galilei propuso relaciones erróneas, en realidad fue Leonardo de Vinci, (1452–1519) quien por primera vez dio con una ley correcta para la caída de los objetos, solo que ésta no relacionaba la distancia con el tiempo sino la rapidez con el tiempo en proporción directa (Duhem, 1913: 514). Posteriormente y después de un análisis muy cuidadoso, finalmente Galilei enunció correctamente la ley de caída que relacionaba la posición con el tiempo, y ésta es:  $x = 5t^2$  (Galilei, 1981: 275). Es decir, cuando los datos de tiempo se multiplican por sí mismos y luego por el número cinco, se transforman en los correspondientes datos de distancia observados en el experimento. Este resultado es sorprendente porque de allí se puede concluir que el universo es ordenado, dada la regularidad matemática registrada en la caída del objeto.

La idea del universo caótico cuya curva cartesiana distancia versus tiempo tendría un aspecto ruidoso y desordenado, se desvanece ante la comprobación empírica-racional de Galileo Galilei. Este orden puede ser expresado gráficamente “dibujando” la variación de la distancia en relación con la variación de tiempo (Aguilar et al, 2002: 5). Dicha matematisación es mostrada en la Fig. 2.



**Altura vs. tiempo en la caída de los graves**

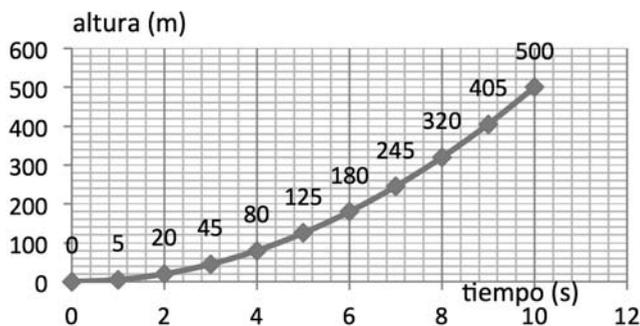


Fig. 2 Relación entre los tiempos y las distancias para la caída libre de los graves, según una visión cuantitativa galileana. La curva mostrada, guarda un orden especial:  $x = 5t^2$ , Fuente: Investigador, (F. Erazo, 2012).

Esta ley:  $x=5t^2$ , es a todas luces, desde la visión galileana, una expresión única, simple y racional que rige el movimiento de caída libre de todos los objetos de la naturaleza sin discrimen alguno<sup>1</sup>. El origen de esta nueva visión curiosamente subyace, al igual que para el caso de Aristóteles, en la observación directa DE LA NATURALEZA, pero esta vez se trata de observar con instrumentos de medida.

En efecto, con su telescopio, Galilei observó la orbitación de las lunas del planeta Júpiter. Posteriormente, Isaac Newton (1640-1727), heredero de los aportes de Galilei y Descartes (1596-1650), concluyó que aquella ley que las rige, no debe ser otra sino la misma que rige el movimiento de nuestra luna alrededor de la tierra y la misma que rige el movimiento de la tierra y los planetas alrededor del sol: la ley de gravitación universal (Hernández, 1996: 44).

En la época de Galilei, la primigenia ley de caída que había descubierto, por un lado, se constituyó en el germen de la naciente metodología sustentada a la par en la razón y la observación; y por otro, se transformó en una verdad que pretendía ser absoluta o traducción lingüística exacta de la mente de Dios; sin embargo, una justificación más general y matemáticamente más rigurosa del fenómeno, sería establecida años más tarde por Newton. La mecánica clásica de Newton prevé la derivación de la fórmula empírica hallada por Galilei, desde un problema más general que consiste en la resolución de la ecuación  $F=ma$ , donde “F” es la fuerza gravitacional (peso) que se ejerce sobre una partícula de masa “m” y donde “a” es la aceleración (de gravedad) en ella producida, con la condición de velocidad inicial nula (Hewitt, 2004: 55).

Desde lo expuesto, la ley de Galilei no es más que una verdad científica circunstancial en donde, el extraño número cinco<sup>1</sup> es una inquietante constante, mientras que para Newton es la mitad de una magnitud (aceleración gravitatoria) que parece ser constante, pero que en realidad varía inversamente proporcional a la altura inicial. Más tarde, también la mecánica newtoniana caerá en la misma recategorización que sufrió la visión galileana con el advenimiento de Albert Einstein (1879–1955). Este proceso de generación de verdades circunstanciales con pretensiones absolutistas, se ha repetido y probablemente se repetirá siempre a lo largo de la historia, (Bunge, 2004: 771) denunciando así las limitaciones del lenguaje (en este caso matemático) en la búsqueda de la Verdad.



## La cuantificación de las magnitudes físicas. El método científico moderno. La deificación de la razón.

Aunque se debe reconocer la contundencia del razonamiento aristotélico, su gran fama e influencia; el filósofo tenía sus días contados en cuanto a vigencia, porque con Galilei surgía una nueva metodología consistente en la observación (medición) minuciosa de la realidad, la cuantificación de magnitudes y su análisis matemático formal, para concluir en leyes. De esta manera se redefine, para la posteridad, a la física como una nueva ciencia eminentemente experimental. Estos y otros logros sirvieron de preámbulo para la gestación del nuevo instrumento con el que se pretendía llegar a la verdad: el Método Científico, práctica que se abrió paso, no sin dificultades, entre el conservadurismo dogmático de la época y condujo a muchos pensadores a adoptarla.

La fiebre de la cuantificación dio origen a un breve período calculista-empírico en tiempos de Galilei. Los máximos exponentes de esta inclinación científica fueron los astrónomos T. Brahe (1546-1601) y J. Kepler (1571-1630), entre otros, quienes realizaron mediciones impresionantemente exactas para su época, de los tiempos y posiciones de los astros. Kepler, por ejemplo, llegó a establecer sus tres leyes empíricas de orbitación planetaria. Tal fue la influencia de la cuantificación galileana que, 200 años después de Galilei, la sociedad científica sostenía que no era suficiente hablar de las cosas, sino medirlas. Lord Kelvin sintetiza el pensamiento de la época diciendo: “Una magnitud es completamente conocida, solamente si esta se puede medir” (O’Connor y Robertson , 2013).

### El último round

Volviendo a la contienda, a Galilei le faltaría agregar una reflexión final y por cierto contundente, en torno a este escabroso asunto de la caída de los graves; no tanto en favor de sus métodos, sino en contra de los de Aristóteles. Galilei pondría un ejemplo en el que dos objetos, uno nominado “A”, el más pesado, y otro nominado “B”, notoriamente más liviano que el anterior, son soltados desde un mismo nivel. En efecto y según se dijo, el más pesado adelanta una distancia tan pequeña que resulta imperceptible a simple vista (la figura 3 caricaturiza la situación agrandando esta diferencia), en donde se nota claramente que lo ínfimo de este adelanto, no justifica la gran diferencia entre los pesos de los objetos y de ahí proviene la fuerte sospecha de que no son los pesos los parámetros que determinan el orden de llegada; por lo menos no en proporción directa (Galilei, 1981: 161).

En un segundo experimento imaginario en donde se pega uno de los objetos encima del otro, por ejemplo el más liviano B, arriba de A, según lo muestra la figura 3, podría creerse que bajo la previsión de Aristóteles, el conjunto llegará al suelo antes que cualquier objeto sea “A” o sea “B” separadamente, debido a que el conjunto (A+B) tiene incrementada su pesantez. En la práctica, esto se confirma otra vez de forma ínfima e imperceptible a simple vista; es decir, en realidad el cotejo de estos tiempos tiende a darle la razón a Galilei, porque estos valores son casi iguales, o sea que el conjunto no adelanta notoriamente.

### Experimento: graves cayendo en conjunto

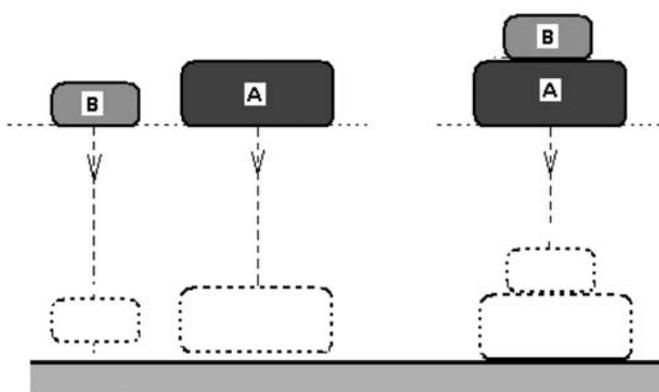


Fig. 3 Cuando se sueltan los objetos A y B, el objeto A adelanta, mientras que si se pegan los objetos A y B, este conjunto demora un tiempo menor que el tiempo de los objetos A y B cayendo individualmente. Fuente: Investigador (F. Erazo, 2012).

Aunque el anterior razonamiento parece coherente, en realidad no lo es y constituye un craso error, y he aquí, en opinión del autor, la fuente primordial de injusticia para estigmatizar al filósofo griego como un pensador ingenuo. En realidad, Aristóteles argüiría que al constituir el conjunto, no necesariamente habremos incrementado la pesantez respecto de los objetos individuales; es decir que el concepto de “peso” de Galilei, no equivale al de “pesantez” o de “gravedad” de Aristóteles (Alvarez, 2012: 36). Para Aristóteles la pesantez es una suerte de predominancia estadística de átomos de tierra, mientras que Galilei se refiere al peso llamado específico del objeto (Alvarez, 2012: 38) de manera que, según Aristóteles, el conjunto tendría aproximadamente la misma pesantez que los elementos que lo constituyen, y de ahí la cercanía de los tiempos registrados en la caída. En realidad Galilei más bien sostendría exactamente lo contrario,

es decir consideraría la previsión de Aristóteles en la dirección opuesta; esto es, que el conjunto según Aristóteles en realidad debería demorar notoriamente más tiempo en llegar al suelo, comparado con la caída del cuerpo pesado “A” cuando cae solo, debido a que en el conjunto, el objeto “B”, al ser más liviano, iría permanentemente frenando el descenso del conjunto, como si hiciera las veces de un paracaídas, demorando la caída, cosa que en la práctica, para nada ocurre (Galilei, 1988: 147). Es más, imperceptiblemente ocurre lo contrario y he aquí el golpe de suerte de Galilei porque, aunque es ínfima la diferencia de distancia de adelanto, ésta existe; quizás no para impresionar los sentidos, pero sí para cambiar la historia y subordinar la física de Aristóteles, dado que el artificioso caso de los bloques pegados, constituye un contraejemplo muy válido.

Otro ejemplo que muestra de manera aún más notoria la mencionada falencia en la física de Aristóteles, consiste en considerar dos nuevos objetos: dos esferas metálicas, donde la una pesa el doble que la otra. Si bien como ya se ha aclarado, en la práctica la más pesada adelantaría en algo a la otra, una variante significativa en la forma de la esfera pesada, mostraría un resultado contrario muy interesante: suponer que con la esfera pesada se construye una lámina cuadrada muy delgada y de varios metros cuadrados de superficie, tal como muestra la figura 4. Al realizar el experimento de la caída simultánea de la esfera liviana y la mencionada lámina, se verifica en la práctica que es el objeto liviano el que llega primero. El anterior resultado es evidente y Galilei no lo desconocía, de hecho, se conocen registros de experimentos realizados en la época de Galilei en donde el objeto liviano en efecto, adelanta al pesado (Schmitt, 1996: 111).

142



#### Experimento: cambio de forma de un grave que cae

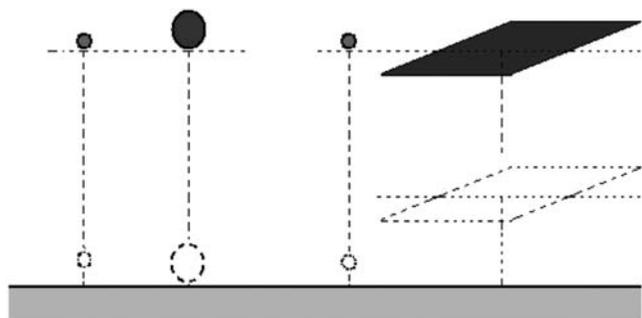


Fig. 4 Si dos esferas metálicas de distinto peso son soltadas, la más pesada adelanta; pero si ésta última se abre hasta formar una amplia lámina, ocurre lo contrario. Fuente: Investigador (F. Erazo 2012).

Ante esto, Aristóteles aún podría sostener que este cambio de esfera a lámina, que bien podría ocurrir a punta de martillazos (para Galilei solo sería un cambio físico), para Aristóteles constituiría una especie de cambio químico, puesto que ésta operación cambiaría la causa final del objeto (Aristóteles, 1995: 34). Recordemos el profundo carácter teleológico del pensamiento aristotélico, y este cambio fundamental, gestaría en realidad un nuevo objeto con otra composición química, donde se habría incrementado el contenido porcentual de átomos aéreos, en desmedro de los átomos terrosos, y de ahí el resultado. No sería atinado quitarle razón al gran Aristóteles, pero sí pertinente decir que esta última justificación introduce cierta vaguedad en los conceptos aristotélicos, juzgando claro está, desde un punto de vista moderno, y que su física, a partir de aquí, se “dispara” en cuanto a orden de complejidad. La magnitud en cuanto al volumen de información, manejada por Galilei, hace que finalmente su teoría convenza más por ser más completa en tanto llega a explicar más detalles con mayor grado de simplicidad. Debe aclararse que la simplicidad mencionada, consiste en que Galilei dispone de una herramienta poderosa: “la matemática”, que tiene la posibilidad real de transmitir ideas científicas a las masas no iniciadas en el rigor de la filosofía; mientras que, la física de Aristóteles es limitada, en ese sentido, por estar subordinada a la retórica que se complejiza cada vez que se quiere profundizar un concepto.

Con Galilei entonces, surge la promesa para el futuro del común de los mortales no solo de una vida más cómoda con el desarrollo tecnológico, sino además, dado el matrimonio entre la física y la matemática que audazmente propició, poder conocer las leyes básicas de la naturaleza, claro está, desde un interés enfocado, exclusivamente, en la obtención de resultados aproximados, mediante el análisis matemático de datos experimentales (Alvarez, 2012: 37), prescindiendo de la filosofía clásica.

Resultado final: Aristóteles 3, Galilei 3

## Conclusiones

En nuestra experiencia cotidiana, la gran mayoría de veces pasa lo previsto por Aristóteles, aunque el adelanto del objeto más pesado resulta imperceptible. Esto ocurrirá siempre que los objetos tengan formas “parecidas”, porque si tuvieran formas demasiado disímiles, podría ocurrir

cualquier cosa excepto el evento donde llegan exactamente iguales al piso: la igualdad, el tiempo y el vacío, entre otros conceptos, son de naturaleza exclusivamente teórica; entonces, tal evento es completamente improbable y sólo podría ocurrir en un ficticio mundo donde reine el vacío absoluto y los objetos se suelten del mismo nivel al mismo tiempo.

Si desde el punto de vista moderno, la física de Aristóteles luce especulativa, subjetiva y quizás compleja, es debido al rigor matemático con el que se intenta hoy describirla, lo cual es por decir lo menos, un anacronismo. Para tener una idea del nivel de aceptación que esta escuela de pensamiento tenía en el mundo “culto” de la antigüedad, deberíamos abstraernos, prescindiendo de los métodos que modernamente avalan los conceptos científicos. En realidad, la apreciación aristotélica es no matematizable (Alvarez, 2012: 36) y cualquier intento moderno en esta empresa tergiversaría su visión del mundo. Algo similar pero contrario, ocurre con Galilei; es decir, la especulación puramente cualitativa de su punto de vista, no le hace favor.

Acerca de las causas del movimiento, las respuestas aristotélicas y galileanas, no son más que posiciones descriptivas del asunto. Los graves obedecen a un principio natural según lo que percibe Aristóteles, o se mueven bajo una misma ley, según lo dice Galilei. En realidad las preguntas de fondo deberían ser: ¿De dónde proceden las leyes de los objetos de la naturaleza para Aristóteles?; y ¿Por qué para Galilei las masas se molestan en atraerse unas a otras? Tras esas preguntas: ¿Por qué ellas se molestan en existir? No obstante, las respuestas contundentes a estos profundos enigmas permanecen ausentes no solo a este discurso, sino aún al conocimiento humano. Es de creer entonces que, ambos filósofos coincidían en lo sustancial; sin embargo, trabajaban con distintas formas de justificar su búsqueda espiritual más íntima: la búsqueda de la Verdad, entendiéndose ésta como la “verdad absoluta”; es decir, desprovista de todo atributo circunstancial, temporal, lingüístico, etc.

Lamentablemente propósitos de personajes como Aristóteles y Galilei, la actual sociedad tecnológica los ha cambiado por la comodidad, resulta lamentable constatar la tendencia actual en excluir la Física de Aristóteles casi totalmente de las aulas de clase y de los libros de texto de los programas escolares tradicionales de física a nivel mundial; en especial en las ramas de la ingeniería en donde la ciencia se vende anunciándola como la verdad absoluta, como artículo utilitario y vulgar; de allí que, la física galileo-newtoniana, esté mucho más difundida y goce de tanta credibilidad. De esta manera las prácticas tecnológicas de la post-modernidad, en buena medida, van dejando de lado los fundamentos filosóficos del conocimiento, los contextos históricos, políticos, religiosos y demás escenarios donde se crean las teorías científicas. Especialmente

en los países en vías del desarrollo. Los centros educativos se van constituyendo en verdaderas tumbas del conocimiento, difusoras de conceptos y algoritmos, formadoras de usuarios de la ciencia, lo cual conlleva a un lento deterioro psíquico del individuo, que mina y atrofia lenta pero seguramente su capacidad creativa.

## Notas:

- 1 El número 5 de la fórmula es relativo al uso moderno de las unidades  $m/s^2$  para la aceleración gravitatoria, de modo que la referencia a este dato es solamente de carácter explicativo.
- 2 Según Aristóteles los objetos tienen 4 cualidades que lo definen como tal y una de ellas es el “objeto” del objeto o su causa final. (Aristóteles, 1995: 56), y que contiene “la nada absoluta”.



## Referencias bibliográficas

- AGUILAR, María Inés, CERAOLO, Mariana y POSE, Mónica;  
 2002 Caída libre de un cuerpo y el movimiento a lo largo de la historia, Aristóteles vs. Galileo, Red Creativa de Ciencia – Curso I – 2002, Centro Educativo San Francisco Javier, Colegio FASTA A. M. Boisdron, Buenos Aires.
- ALVAREZ GARCÍA, José Luis  
 2012 “El fenómeno de la caída de los cuerpos”. En: *Historia y Filosofía de la Física, Revista mexicana de Física*. México.
- ARISTÓTELES  
 1995 Física, Libro 1, Traducción y Notas: DeEchandía G., Planeta De Agostini© Editorial Gredos, S.A. Biblioteca Clásica Gredos.  
 1977 Sobre el cielo, G.E.R., Lloyd, de Thales a Aristóteles, Eudeba, Buenos Aires, Cap. VIII.
- BUNGE, Mario  
 2004 “*La Investigación*”, Siglo XXI Editores, 3ra Edición, México.
- DE LUCAS S., et al,  
 2010 Caída libre de los cuerpos (A1-25), El Rincón De La Ciencia, No 53, IES Victoria Kent, Torrejón de Ardoz.
- DUHEM, Pierre  
 1913 EtudessurLéonard de Vinci, Vol. III, Paris.
- GALILEI, Galileo  
 1981 Consideraciones y Demostraciones Sobre Dos Nuevas Ciencias, Jornada Primera, 2a. Edición, Editora Nacional, Madrid.  
 1988 La Nueva Ciencia Del Movimiento, Servei De Publicacions, Barcelona.
- HERNÁNDEZ, Miguel  
 1996 *Fuerza y Movimiento*, Revista Española de Física, Vol. 10, Nº 2.
- HEWITT, Paul  
 2004 Física Conceptual, 9na Edición, Pearson Education, México.

KOYRE, Alexander

1990 Estudios Galileanos, Editorial Siglo XXI España, 5ta edición México.

LAMBRECHT, Asrtid

2002 Observing mechanical dissipation in the quantum vacuum: an experimental challenge; in Laser physics at the limits, Claus Zimmermann Eds., Berlin/ New York: Springer.

O'CONNOR, Jhon y ROBERTSON, Edmund

2013 Biographies, William Thomson (Lord Kelvin) ,School of Mathematics and Statistics, University of St Andrews, Scotland <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Thomson.html>

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth,

2001 Física, Vol 1, Ed. CECSA, 5ta Edición, México

SCHMITT, Charles

1996 The faculty of arts at Pisa at the time of Galileo, de Montaigne M., Essays I:26.

SOLAZ PORTOLÉS Jhon Josep

2008 Concepciones de los estudiantes e historia de la ciencia: El caso del concepto de vacío.

146



Fecha de recepción del documento: 15 de abril de 2013

Fecha de aprobación del documento: 20 de junio de 2013