

ANOMALÍAS DINÁMICAS EN LAS SONDAS PIONEER

PROPUESTA DE JUSTIFICACIÓN

ÍNDICE

[1. Sinopsis](#)

[2. Antecedentes](#)

[3. Propuesta de justificación](#)

[4. Dinámica rotacional no newtoniana](#)

[5. Modelo matemático de simulación](#)

[6. Teoría de Interacciones Dinámicas](#)

[7. Ecuaciones de la dinámica rotacional no newtoniana](#)

[8. Pruebas Experimentales](#)

[9. Propuesta de conclusiones](#)

- ©Dinámica Fundación 2005
- ®Advanced Dynamics S.A. 2002
- Los proyectos de investigación, prototipos, pruebas experimentales y modelo matemático de simulación referidos en este texto han sido realizados por la entidad **ADVANCED DYNAMICS S.A.**, financiados de forma privada y son propiedad exclusiva de la propia entidad.

Anomalías Dinámicas en las Sondas Pioneer

1. Sinopsis

En este documento se referencian las anomalías dinámicas constatadas en el comportamiento de las sondas Pioneer de la NASA, y se propone una posible justificación basada en un nuevo modelo de dinámica rotacional, no newtoniano. Se sugiere desarrollar un proyecto de investigación específico que permita confirmar las hipótesis dinámicas que se proponen.

[\(Volver\)](#)

2. Antecedentes

Un grupo de científicos (**Anderson, Lau, Turyshev,...**) del Jet Propulsion Laboratory, JPL, de California, al estudiar en detalle los datos Doppler de las sondas Pioneer 10 y 11 que fueron lanzadas en 1972 y 1973, advirtieron como su trayectoria de alejamiento del sistema solar era una espiral, que no correspondía exactamente con la calculada. Esta anomalía fue posteriormente confirmada por otros científicos.

El cálculo de la órbita de una nave espacial debe tener en cuenta, además de las fuerzas debidas a los campos gravitatorios, otras fuerzas de origen no gravitatorio, tales como la presión del viento solar, posible existencia de polvo espacial o las fuerzas producidas por los generadores interiores de la nave. Usando los datos de las Pioneer 10 y 11, el grupo de científicos del JPL hizo un riguroso seguimiento de las trayectorias de las dos sondas. Ya a principios de los años ochenta, cuando la presión solar sobre estas naves era despreciable, identificaron una desviación en la trayectoria que atribuyeron a una posible fuerza no identificada, que mantenía una aparente aceleración adicional y constante hacia el Sol.

Las sondas Pioneer disponen de momento angular intrínseco, por lo que son como peonzas que se estabilizan por rotación sobre un eje, que no requieren de ningún reactor de gas para estabilizarse; y solo disponen del generador de plutonio principal, que había venido suministrando energía durante los mas de sus 30 años de existencia.

El grupo de científicos del JPL llegó a la conclusión de que existía una inexplicable aceleración anómala en las sondas, aunque del orden de una cien millonésima de centímetro por segundo al cuadrado. En el artículo: **La investigación inconclusa para solucionar la anomalía de las Pioneer** los autores de la investigación: John D. Anderson, Philip A. Laing, Eunice L. Lau, Michael Martin Nieto y Slava G. Turyshev (<https://planetary.org> 10 de Mayo de 2005) expresaban: *Usando tanto el software de navegación del JPL como de la Corporación Aeroespacial (Aerospace Corporation), primero analizamos con detalle los datos desde enero de 1987 hasta julio de 1995. Durante ese intervalo, la Red del Espacio Profundo (Deep Space Network) había generado y entregado datos de radio Doppler reducidos a Anderson y Lau, por lo que estaban fácilmente disponibles. Luego de argumentos frecuentemente discutidos sobre posibles tecnicismos, concluimos que en realidad perduraba una aceleración sin modelar dirigida al Sol tanto para la Pioneer 10 y la Pioneer 11. Nuestra conclusión, después de que todos los sistemas habían sido tomados en cuenta, es que permanece una señal de aceleración anómala de $a_P = (8,74 \pm 1,25) \times 10^{-8}$ centímetros por segundo al cuadrado en dirección al Sol. Hacemos énfasis en 'conocida' porque debemos admitir que la causa más probable de este efecto es un tecnicismo aún no comprendido, probablemente generado por las naves mismas. Pero ni nosotros ni otros con la experiencia en ciencias espaciales y en naves espaciales han podido localizar este efecto. Hemos considerado escapes de gas, fuerzas de arrastre, propagación desigual de calor por la nave, retroceso provocado por las señales de radio enviadas a la Tierra, entre otras posibilidades. Hemos concluido que ha llegado la hora de investigar las consecuencias teóricas y experimentales que tal efecto, de ser real, implicaría.*

Aunque se han sugerido unas cuantas explicaciones a esta anomalía, no ha sido identificado su verdadero origen. Es conocido el hecho de que la dinámica rotacional de las galaxias tampoco responde a la ley de la gravitación universal, con la exactitud deseada, por ello se concibieron distintas soluciones alternativas, especulándose con una posible *Dinámica Newtoniana Modificada, MOND*, como propuso hace años **Mordehai Milgrom**, en la que la fuerza gravitatoria modifica su ley a gran distancia. En lugar de decrecer inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, podría sólo disminuir conforme a la inversa de la distancia. Esta es una de las muchas soluciones propuestas para explicar también la desviación de las sondas.

Louis Friedman, de la Sociedad Planetaria, en el artículo titulado: ¿Que es una "nueva física"? (<https://planetary.org> 10 de mayo de 2005), al referirse a esta anomalía propone: *Esto podría ser debido a una fuerza desconocida, que resultaría de una "nueva física"... Las sondas Pioneer podrían estar sugiriéndonos que algún profundo cambio, aunque muy sutil, es necesario hacer para corregir las leyes del movimiento conforme a como ahora las entendemos.*

([Volver](#))

3. Propuesta de justificación

No obstante, estos y otros fenómenos dinámicos y, en concreto, la desviación advertida en la trayectoria de las sondas Pioneer, podría también analizarse estimando la incidencia de escenarios en los que han sido violados los axiomas sobre las que se sustenta la Mecánica Clásica, y en este supuesto, deberían concebirse modelos dinámicos diferenciados. En el supuesto de cuerpos de revolución dotados de momento angular intrínseco, cuando son sometidos a nuevos pares no coaxiales, puede llegar a deducirse que no han sido respetadas las hipótesis dinámicas de la Mecánica Clásica, por lo que las ecuaciones de movimiento de estos supuestos, deberían corresponder a un modelo no newtoniano diferenciado.

Advirtiendo de la existencia en dinámica rotacional de ciertos indicios, fenómenos tradicionalmente denominados paradójicos, y de efectos singulares, fue redactado el libro "El vuelo del Bumerán" (Editorial Marcombo 2005), en el que hemos propuesto un análisis histórico y un análisis objetivo de los cuerpos dotados de momento angular intrínseco y de las teorías admitidas hasta la fecha en dinámica rotacional. En el mismo se propone una "naturaleza imaginaria" en la que los sólidos se comportarían conforme a las hipótesis dinámicas que se sustentan.

([Volver](#))

4. Dinámica rotacional no newtoniana

A partir de determinadas conjeturas dinámicas y basándonos en una reinterpretación del comportamiento de los cuerpos dotados de momento angular intrínseco, cuando son sometidos a sucesivos pares de fuerzas, se han desarrollado unas hipótesis alternativas no newtonianas, llegando a la conclusión de que puede concebirse un nuevo modelo matemático en dinámica rotacional, que permitiría justificar determinados comportamientos hasta ahora no entendidos. Con este modelo se obtienen, para determinados supuestos, resultados diferentes, basándonos exclusivamente en la reinterpretación de la composición o superposición de los movimientos debidos a las fuerzas que actúan.

Tampoco se acepta en nuestro modelo alternativo no newtoniano la discriminación establecida por Poincaré y aceptada como axioma tácito, por la cual no existe en la naturaleza un posible acoplamiento de las acciones resultantes entre fuerzas y pares, al incorporar el concepto de *inercia rotacional* y admitir un *comportamiento inercial* diferenciado y peculiar de la materia. Llegando a la conclusión de que la dinámica rotacional no newtoniana no se puede sustentar en la simple expresión geométrica de las rotaciones, aunque matemáticamente resulte aparentemente correcta, teniendo también que tener en cuenta el comportamiento inercial de la materia.

Como síntesis de la teoría que se propone, conforme al modelo matemático alternativo enunciado, llegamos a la conclusión de que la modificación de trayectoria de un cuerpo en el espacio, dotado de rotación intrínseca, no se debe necesariamente a una fuerza central, si no que puede ser debida al resultado dinámico de la *interacción inercial de un par no coaxial con el momento angular del cuerpo*. En este caso, la acción externa es un momento y, aunque la fuerza resultante sobre el centro de masas del cuerpo sea cero, se produciría un acoplamiento dinámico entre el par actuante y el momento cinético lineal del cuerpo, dando lugar a una modificación de la trayectoria del centro de masas sin la necesidad, insistimos, de que actúe sobre él una fuerza externa.

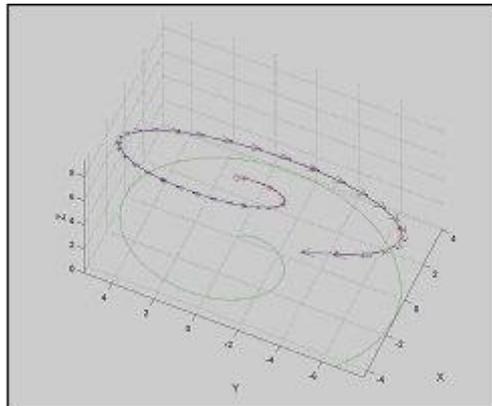
Mediante este *modelo de interacciones dinámicas* que se sustenta, se podría justificar cómo un cuerpo dotado de momento angular, puede iniciar una trayectoria elíptica, circular o incluso espiral sin la existencia de una verdadera fuerza central. Conforme a este modelo dinámico, la aplicación de un par de fuerzas a un cuerpo con rotación intrínseca, genera un sistema estable y en constante equilibrio dinámico.

[\(Volver\)](#)

5. Modelo matemático de simulación

Se han representado los resultados de la simulación de este modelo mediante un programa de ordenador, comprobándose cómo, una trayectoria espacial puede modificarse al variar la velocidad de traslación o el par actuante, obteniéndose distintas trazas. Por ejemplo, se obtiene una trayectoria espiral cuando la velocidad de traslación es uniformemente acelerada.

Con el título: *Anomalía de las sondas Pioneer, (Pioneer Anomaly). Teoría de Interacciones Dinámicas*, fue presentada una comunicación a la bienal 2005 de la RSEF, y cuyo resumen fue publicado en el *Libro de Resúmenes* de la bienal, en la que se exponían los resultados obtenido con un modelo matemático de simulación. (Ver figura siguiente.)



Trayectoria del centro de masas de un móvil, obtenida mediante simulación por ordenador, conforme al modelo de la Teoría de Interacciones Dinámicas.

En este supuesto el móvil, dotado de rotación intrínseca sobre un eje principal de inercia, modifica su trayectoria sin la existencia de una fuerza central. La desviación de la trayectoria es debida a la interacción dinámica resultante del acoplamiento del campo de velocidades de traslación del móvil con el campo de velocidades que se genera por la acción del nuevo par no coaxial. De esta forma, se incorporan a la ecuaciones del movimiento los efectos debidos a los campos inerciales generados por efecto de un par no coaxial.

[\(Volver\)](#)

6. Teoría de Interacciones Dinámicas

En escenarios en los que han sido violadas las hipótesis de la Mecánica Clásica, deben concebirse modelos dinámicos diferenciados. En el supuesto de cuerpos de revolución dotados de momento angular intrínseco, cuando son sometidos a nuevos pares no coaxiales, podemos suponer que:

- El nuevo par genera una distribución cosenoidal de aceleraciones en el móvil.

Esta distribución de aceleraciones viola las hipótesis dinámicas sobre las que se sustenta la Mecánica Clásica, por lo que el modelo matemático aplicable no tendrá por que ser el modelo newtoniano, obteniendo, en cambio, los siguientes resultados:

- No hay composición de movimientos de rotación conforme al álgebra vectorial.
- El momento angular inicial no se acopla con el resultante de otras acciones posteriores.
- Existe acoplamiento discriminante entre el movimiento de traslación y el generado por el segundo par actuante.

Éstas serían las características diferenciadoras de este modelo dinámico no newtoniano simplificado. En este modelo, dado un cuerpo en el espacio con velocidad de traslación y rotación estable sobre un eje principal de su elipsoide de inercia, la *inercia rotacional* del cuerpo impide una composición de rotaciones, de forma que si actúa un nuevo par no coaxial con la rotación existente, esta rotación inicial se mantendrá y el cuerpo reaccionará modificando su trayectoria y añadiendo a la rotación inicial un movimiento equivalente al que resultaría de la existencia de una fuerza central. Se comportaría como si aparentemente estuviese sometido a una fuerza central, sin existir esta.

Este modelo alternativo nos permite concebir una *Dinámica Rotacional* no newtoniana, sustentada en la *Teoría de Interacciones Dinámicas*, basada en las hipótesis referidas. En esta teoría se justifica plenamente el comportamiento de los cuerpos dotados de momento angular intrínseco, así como el de aquellos móviles dotados de *efecto giroscópico*. También justifica esta teoría el comportamiento de los móviles en el espacio que modifican su trayectoria sin la existencia de resultante de fuerzas externas.

Esta teoría puede ser también deducida partiendo de un análisis relativista de cualquier movimiento del espacio, no limitando la deducción teórica a movimientos traslativos, y teniendo en cuenta los campos de fuerzas inerciales creados.

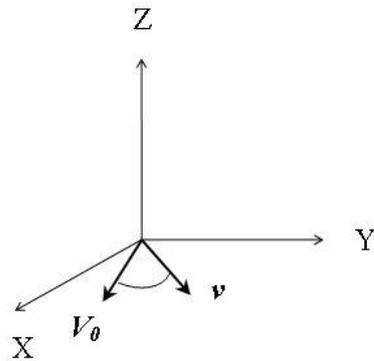
[\(Volver\)](#)

7. Ecuaciones de la dinámica rotacional no newtoniana

En la *Dinámica Rotacional* no newtoniana, sustentada en la *Teoría de Interacciones Dinámicas*, las ecuaciones del movimiento de un móvil en el espacio, sometido a sucesivos pares de fuerzas no coaxiales, podrán establecerse de forma sencilla mediante un operador matemático. Podemos definir el *operador matemático de rotación* Ψ , que actúa sobre la velocidad inicial \vec{v}_0 , de tal forma que la velocidad de traslación en cada instante será: $\vec{v} = (\vec{v}_x, \vec{v}_y, \vec{v}_z)$ y vendrá definida por el producto matricial de la matriz diádica Ψ por el vector de velocidad inicial \vec{v}_0 :

$$\vec{v} = \Psi \cdot \vec{v}_0 \quad (1)$$

El operador rotacional Ψ transforma el vector velocidad \vec{v}_0 en el vector \vec{v} , por medio de una rotación en el espacio.



El operador rotacional Ψ transforma, por medio de una rotación, al vector velocidad \vec{v}_0 , en el vector v , ambos situados siempre en un mismo plano, en este ejemplo en el plano XY

En el supuesto de un móvil con un movimiento de rotación $\vec{\omega}$ sobre un eje principal de inercia, con momento de inercia I sobre ese eje y, por tanto, con un momento angular \vec{L} y una velocidad inicial de traslación \vec{v}_0 de su centro de gravedad, cuando es sometido a un nuevo par \vec{M} no coaxial, modificara su trayectoria por acción de este nuevo par no coaxial, conforme a una rotación, por ejemplo, alrededor del eje Z, siendo el operador rotacional, Ψ en este caso de la forma:

$$\begin{pmatrix} \cos \alpha & -\text{sen } \alpha & 0 \\ \text{sen } \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Siendo, además α función del par actuante \vec{M} , de la velocidad de rotación $\vec{\omega}$, del momento de inercia I , y por tanto, también del momento angular \vec{L} . En general, la trayectoria del móvil quedará definida en coordenadas intrínsecas por las sucesivas velocidades del cuerpo $\vec{v} = (\vec{v}_x, \vec{v}_y, \vec{v}_z)$, determinadas por el producto matricial del operador rotacional Ψ sobre el vector de velocidad inicial \vec{v}_0 . Resulta, como ecuación general del movimiento, en escenarios no newtonianos, para los cuerpos dotados de momento angular intrínseco, cuando son sometidos a sucesivos pares de fuerza no coaxiales, la referida ecuación (1). En esta ecuación el operador rotacional Ψ es el tensor que transforma la velocidad inicial, en la que corresponde a cada estado dinámico sucesivo, por medio de una rotación en el espacio.

En resumen, en este modelo matemático simplificado sería posible que en el espacio, los cuerpos móviles sometidos a sucesivos pares no coaxiales, por causa de interacciones dinámicas inerciales, generarán una modificación de su trayectoria tal que, manteniéndose el momento angular inicial, por razón del segundo par, su centro de masas iniciará una desviación, describiendo una nueva trayectoria radial, sin necesidad de fuerzas centrales reales.

[\(Volver\)](#)

8. Pruebas Experimentales.

A partir de los indicios referidos y de la reinterpretación del comportamiento de los cuerpos dotados de momento angular, conforme a las hipótesis de una dinámica rotacional no newtoniana, han sido realizadas pruebas experimentales que confirman las hipótesis expuestas. Se dispone de prototipos y videos de pruebas experimentales realizadas, en las que pueden advertirse las desviaciones de la trayectoria debidas a la acción de nuevos pares no coaxiales.

Estas pruebas pueden ser reiteradas en el espacio, en el aire, o incluso en el agua. Se deberá utilizar un móvil en traslación, por ejemplo esférico o cilíndrico, con rotación propia y sometido posteriormente a otro par exterior no coaxial con el eje de rotación propia. Evidentemente, la prueba experimental decisiva debería ser realizada en el espacio, mediante una sonda con momento angular intrínseco.

[\(Volver\)](#)

9. Propuesta de conclusiones

En nuestra opinión, las anomalías dinámicas observadas en las sondas Pioneer pudieran ser debidas a interacciones inerciales debidas a la acción de un par de fuerzas externo, conforme a la *Dinámica Rotacional* no newtoniana que resulta de la *Teoría de Interacciones dinámicas* que se propone. Las sondas disponían de momento angular intrínseco, por lo que la acción de cualquier par externo no coaxial, en esas hipótesis que se sostienen, generaría una aceleración aparentemente anómala en las sondas.

Las hipótesis dinámicas que se proponen han sido confirmadas con estudios y pruebas experimentales y con un modelo matemático que nos permite la simulación del comportamiento real de los cuerpos sometidos a estas excitaciones. Todo lo cual nos ha permitido suponer la existencia de unas leyes de comportamiento generales en dinámica rotacional, para escenarios no newtonianos, no relativistas, diferentes a las de la dinámica traslacional de la Mecánica Clásica, y que permitirían modelar aceleraciones anómalas como las observadas en las sondas Pioneer.

En nuestra investigación se ha obtenido una clara correlación entre las conjeturas iniciales, las hipótesis de partida, el modelo matemático de simulación, las Leyes de comportamiento deducidas, las pruebas experimentales realizadas, y el modelo matemático correspondiente a las ecuaciones del movimiento resultantes de las Leyes dinámicas propuestas.

Por todo ello, sugerimos que se debería indagar sobre este modelo matemático alternativo, especialmente en supuestos en los que las acciones externas pudieran generar rotaciones sucesivas o simultáneas no coaxiales, estimando la también posible aplicación de estas hipótesis a la astrofísica, a las ciencias espaciales, y en general a la dinámica de cuerpos con momento angular, para confirmar la tesis que se propone: la existencia de una *correlación matemática entre aceleración y rotación intrínseca*. Sugerimos que este modelo, aun en la forma simplificada en que se ha expuesto, se conciliaría con muchos problema dinámicos todavía confusos o pendientes de resolver, como es el referido de las Sondas Pioneer.

La comprobación cuantitativa y experimental de estas hipótesis podría favorecer nuevos avances en el descubrimiento de los aparentemente desconcertantes comportamientos de ciertos sistemas dinámicos no newtonianos o, incluso, pudiera ser de aplicación a otras disciplinas como la física atómica, geofísica, mecánica cuántica, el electromagnetismo y a otros ámbitos de la física. Las aplicaciones tecnológicas de este modelo matemático alternativo también serían amplias y sugestivas, especialmente en el ámbito de la balística, el transporte espacial o el control y gobierno de sondas, satélites, naves o proyectiles dotados de momento angular. En concreto, en astronáutica se podrían diseñar sistemas de navegación y de gobierno, más exactos y seguros, que reducirían el coste de operación.

No obstante, este documento, y los estudios que en él se relacionan, no son más que un indicio del interés que debería suscitar esa *Teoría de Interacciones Dinámicas* que se propone, y de la necesidad de desarrollar programas de investigación científica para su evaluación, su confirmación, su generalización y, en su caso, su aplicación en otras áreas de la ciencia y la tecnología.

Gabriel Barceló Rico-Avello

[\(Volver\)](#)