

El descubrimiento de Neptuno con lápiz y papel en 1846: el poder predictivo de la Matemática

J.I. Díaz

Instituto de Matemática Interdisciplinar &
Departamento de Análisis Matemático y Matemática Aplicada
Universidad Complutense de Madrid



Real Academia de Ciencias
Exactas, Físicas y Naturales

Real Academia de Ciencias

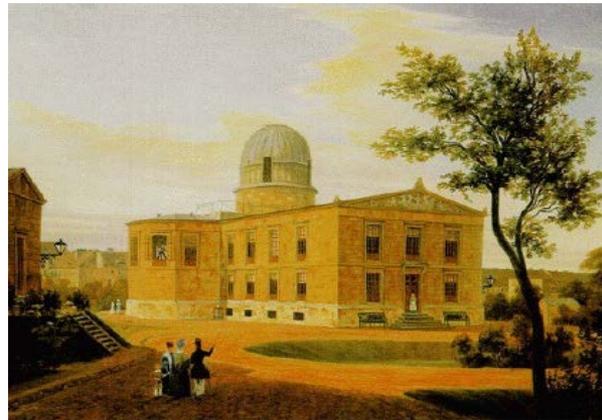
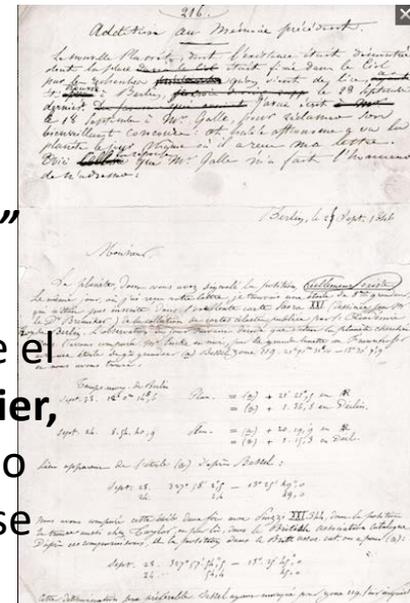
Madrid, 30 de Mayo de 2019



1. Introducción

“El planeta del que me ha señalado su posición , realmente existe”

Eso decía la carta que envió el astrónomo, de 34 años, Johann **Galle** desde el Observatorio de Berlin, al matemático francés, de 35 años, Urbain **Le Verrier**, el **23 de septiembre de 1846**, contestando a la carta que recibió ese mismo día de él indicándole donde podría encontrarse un planeta ignoto hasta ese momento.



Johann Gottfried Galle (1812-1910)

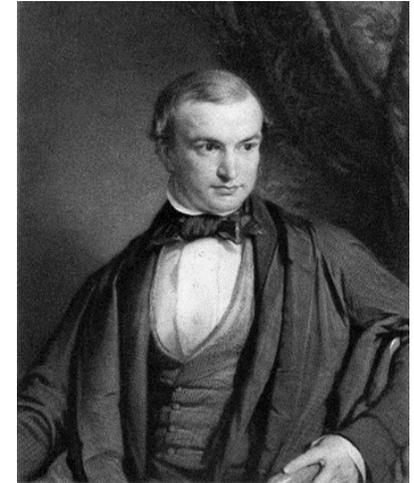


Urbain Le Verrier (1811-1877)

En realidad, la carta de Galle salió hacia Paris el mismo día (el **23 de septiembre de 1846**) en el que recibió la carta de Le Verrier conteniendo los cálculos matemáticos que hacían sospechar la existencia de un nuevo planeta.

Un año antes, en otro país diferente (Inglaterra), otro joven matemático John Coach **Adams**, primer expediente en Matemáticas de su promoción en Cambridge, (con tan solo 26 años) había hecho unos cálculos muy parecidos llegando también a la conclusión de que debía existir un planeta desconocido hasta entonces.

Las razones por las que no se hicieron públicos los resultados de Adams, la controversia sobre la paternidad del magno descubrimiento, las consecuencias de todo ello, los muchos otros personajes involucrados constituyen uno de los capítulos más brillantes de la ciencia de todos los tiempos.



John Couch Adams
(1819 -1892)

Plan del resto de la conferencia:

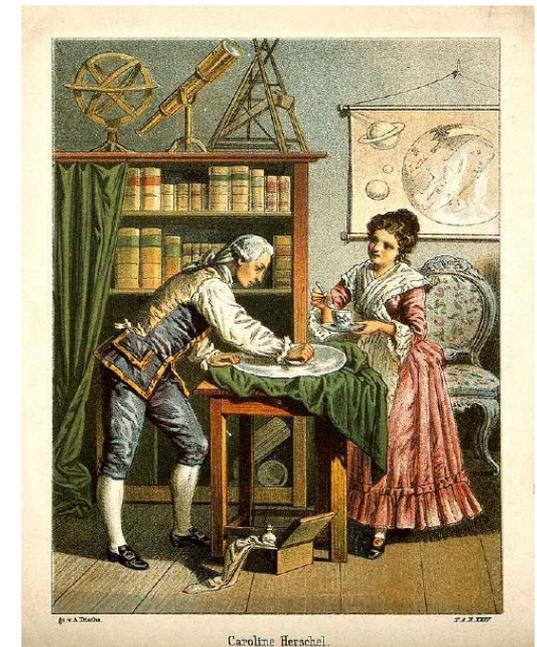
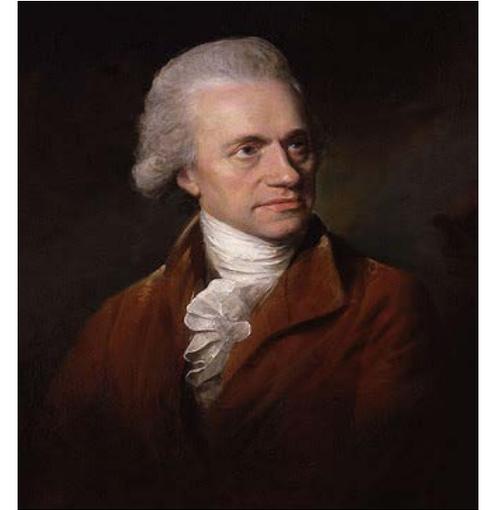
2. Las anomalías en la órbita de Urano.
3. El descubrimiento de Neptuno y las matemáticas usadas para ello.
4. Reconocimientos tras tan singular proeza científica.

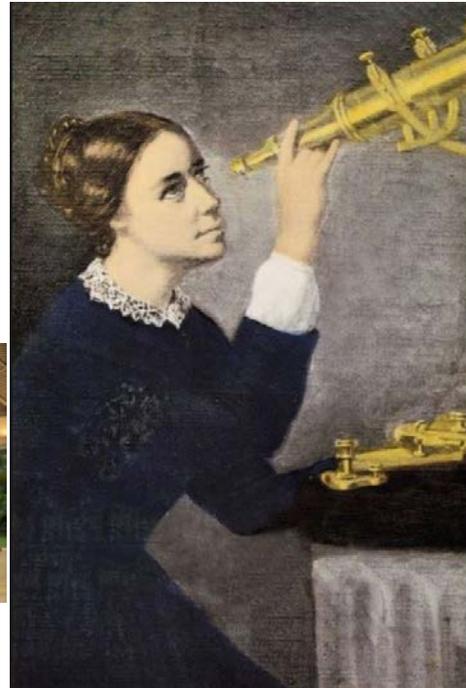
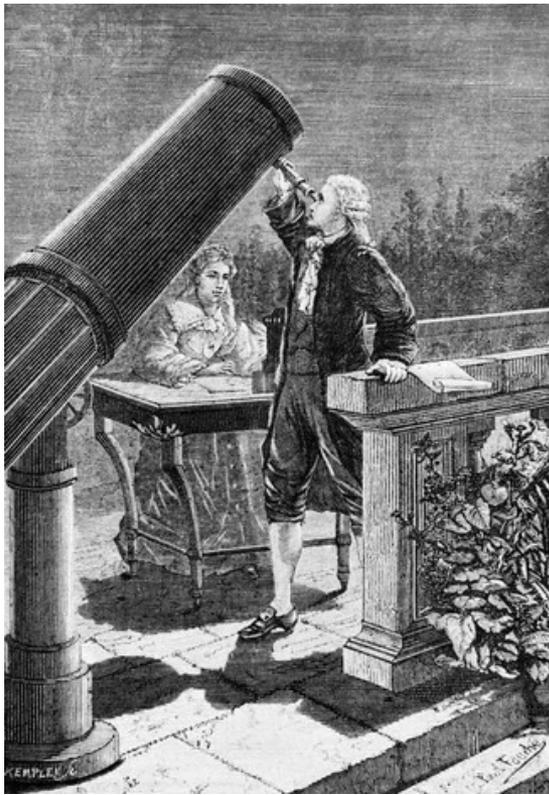
2. Las anomalías en la órbita de Urano.

El descubrimiento del planeta Urano (así llamado desde el siglo XIX) se debió a

Friedrich Wilhelm **Herschel** (1738 - 1822)

- músico inicialmente, quien emigró de Hannover a Gran Bretaña (Bath) en 1757.
- Aficionado a la Astronomía, en 1774 construyó su primer telescopio (basado en espejos , en vez de en lentes). Posiblemente, en esa época ese telescopio pudo ser el mejor telescopio del mundo. Lo hizo en su casa, auxiliado por su hermana **Caroline Herschel**, que también fue más tarde una reconocida y laureada astrónoma
- El **13 de marzo de 1781**, descubrió, por puro azar, un objeto que no era una estrella y que pronto se identificó como un planeta al que inicialmente denominó como “Georgium Sidus” (la estrella de Jorge) en honor a su nuevo patrocinador, el rey Jorge III y así fue denominado por muchos hasta finales del XIX en el que se impuso la tradición de utilizar nombres de la mitología griega.





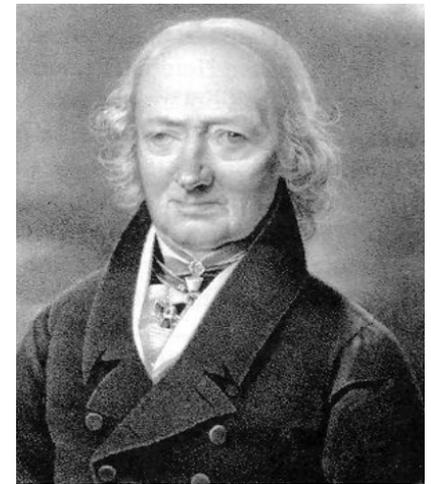
Caroline Herschel
(1750-1848)



Construyó, por encargo, en 1802, un telescopio excepcional al Real Observatorio de Madrid (destruido en la Guerra de la Independencia, reconstruido desde 1990).

El hijo de Friedrich Wilhelm Herschel, **John**, aparecerá más tarde en este relato.

Uno de los astrónomos implicado en el reconocimiento de Urano fue Johann Elert **Bode** (1747 - 1826), que llegaría a ser director of Berlin Observatory (1786 - 1825). Él fue quien propuso el nombre de Urano (frente al de "Georgium Sidus" de Herschel). De hecho, en Francia, durante un tiempo se denominó al planeta como "Herschel".



Johann Elert Bode
(1747 - 1826)

Bode se había interesado, anteriormente a 1781, por la razón de la distancia entre planetas (preocupación constante desde tiempos de Johannes Kepler (1571-1630)).

Kepler estaba convencido de que había una justificación matemática sobre la distancia entre los distintos planetas que orbitan alrededor del Sol. Estaba particularmente preocupado ante el reto de poder explicar la **enorme distancia que separa a los planetas Marte y Júpiter**. ¿Por qué era así y no de otra manera?

En 1702, David **Gregory** (1659-1708) propuso el algoritmo de que las distancias relativas de los planetas conocidos eran proporcionales a los números:

4, 7, 10, 15, 52 y 95.

En 1766, Johann Daniel **Titius** (1729-1796) modificó esa serie como para que obedeciera a una **progresión matemática**:

4, 7 (= 4 + 3), 10 (= 4 + 6), 16 (= 4 + 12), 52 (= 4 + 48) y 100 (= 4 + 96).

Al expresar la serie de esta manera atrajo una atención renovada a la gran la **brecha existente entre los términos 4º y 5º** .

Siguiendo la regla numérica de esa progresión, el hueco parecía pedir ser completado con

28 (= 4 + 24).

¿Podría ser que hubiese un planeta aún por descubrir que orbitase alrededor del Sol obedeciendo a esa distancia?

La serie de Titius llegó a un público mucho más amplio tras su aparición en el libro de Bode de 1772 *Introducción a la Astronomía*.



Johann Daniel Titius
(1729-1796)

El descubrimiento de Urano, en 1781, por William Herschel aportó el siguiente número en la sucesión de Bode-Titius:

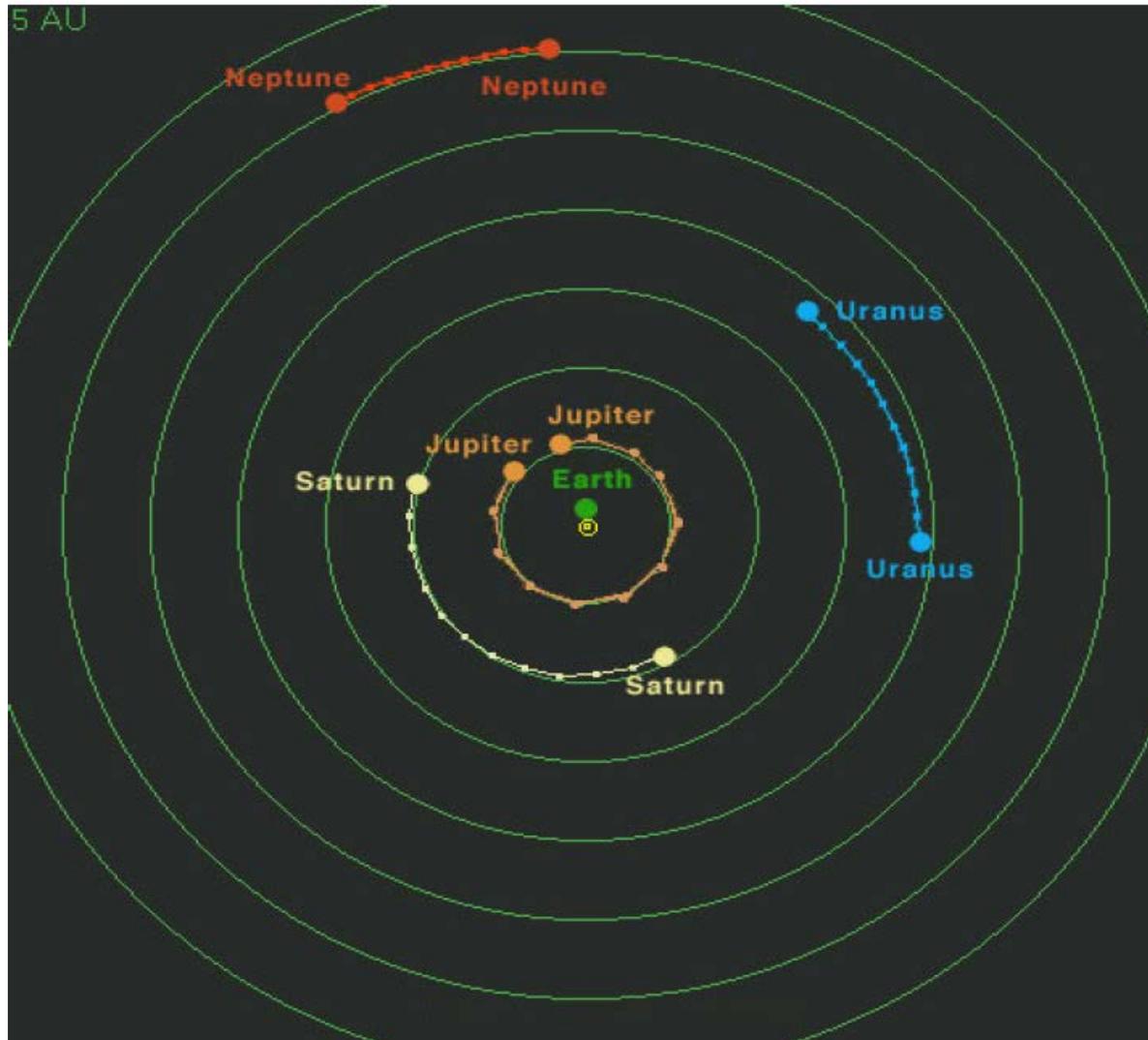
196 (= 4 +192)!

Si la distancia de la Tierra al Sol se tomase como 10 unidades, entonces otros planetas estarían a una distancia dada por $4 + 3 \times 2^n$, donde $n = -\infty, 0, 1, 2, -, 4$ y 5 .

Poniéndolo en unidades UA (con 1 en vez de 10) se llegaba a:

Serie de Bode-Titus (1772)	Distancias planetarias (UA)	Cuerpos planetarios
0.4	0.39	Mercurio
0.7	0.72	Venus
1.0	1.0	Tierra
1.6	1.52	Marte
2.8	2.8	Ceres y otros asteroides(1801)
5.2	5.2	Júpiter
10.0	9.6	Saturno
19.6	19.2	Urano (1781)

Jean-Baptiste Joseph **Delambre** (1749-1822) creó nuevas tablas trazando las posiciones predichas de los planetas Júpiter, Saturno, Urano y los satélites de Júpiter. Los astrónomos observaron que **Urano se movía en su órbita más rápidamente de lo esperado.**



Problemas planteados con el seguimiento de la órbita de Urano: se tardó bastante tiempo en determinar su órbita (estaba muy lejos, a 19.2 UA), y de hecho aparecieron muchas anomalías a la órbita calculada.



Alexis Bouvard
(1767 – 1843)

Alexis **Bouvard** (1767 - 1843, Director del Observatorio de París) realizó unas Tablas de Urano en **1821** corrigiendo las de Delambres. En esa época, parecía casi imposible predecir con certeza dónde estaría Urano en un tiempo dado (muy diferente de los casos de otros planetas incluyendo Júpiter y Saturno). Urano se desvió significativamente de la trayectoria prescrita. Escribió:

"... Dejaré para el futuro la tarea de descubrir si la dificultad de conciliar los datos está conectado con las observaciones antiguas, o si depende de alguna causa extraña no percibida que puede haber estado actuando sobre el planeta "

¿Hubo inexactitudes en los primeros mapas estelares? **¿Era defectuosa, en alguna manera, la ley de Gravitación Universal de Newton, o había allí, tal vez, otro cuerpo no previamente observado** que orbitase a una distancia del Sol proporcional al siguiente número en la serie Bode-Titius

$$4 + 384 = 388$$

que pudiese explicar las anomalías en la trayectoria orbital de Urano?

Las inquietudes de Bouvard sobre las anomalías en la órbita de Urano pronto serían acrecentadas y propagadas por **grandes figuras de la ciencia** a los que se puede catalogar como *promotores del descubrimiento* (pero con un papel secundario) :

En 1832, George Biddell **Airy** alertó:

¡ los errores en las Tablas de Urano son de hasta 30 "!



George Biddell **Airy**
(1801 - 1892)

Astrónomo del Rey (Observatorio de Greenwich (1835-1886),
Profesor de Matemáticas de Cambridge.

Animó a Adams a estudiar las razones de esa anomalía.

Gran prestigio internacional, ...

Importantes conexiones con España (a las que me refreiré más tarde).

En 1832, **Airy** describió el problema de la órbita de Urano como uno de los principales problemas de la astronomía de su tiempo. Urano había comenzado a frenar en su movimiento orbital. Airy anunció que había evidencia de que Urano fue observado y grabado en al menos 17 ocasiones antes del descubrimiento de Herschel; **sugirió usar esa información** para describir mejor las peculiaridades del movimiento orbital de Urano.

Otra gran figura que impulsa el estudio de la órbita de Urano:

François Jean Dominique **Arago** (1786 - 1853) : destacado matemático, físico, y astrónomo francés. Sucedió a Bouvard, en 1836, en la dirección del Observatorio de París.



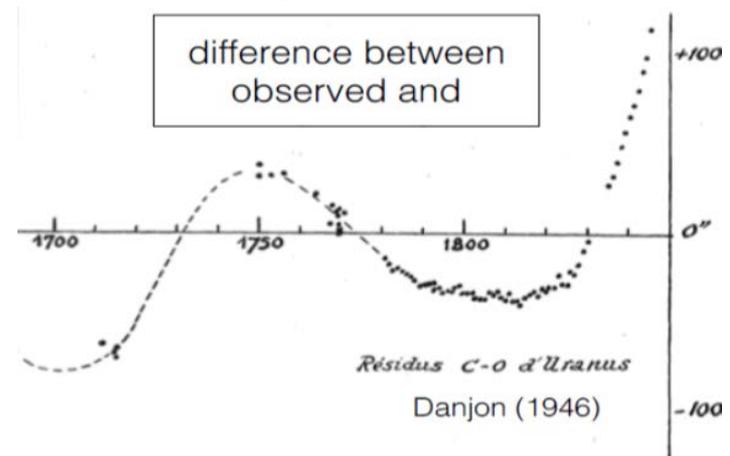
François Jean Dominique Arago
(1786 - 1853)

Miembro de la Academia de Ciencias (papel fundamental en el reconocimiento de la teoría ondicular de la luz, tal y como la propuso Fresnel (1788 - 1827)). Polarización de la luz,...

Como político, llegó a desempeñar el cargo de Jefe del Gobierno de la República Francesa en 1848.

Importantes conexiones con España.

Alentó a Le Verrier a analizar el problema de la órbita de Urano.



En Alemania (Prusia) la Astronomía y la Mecánica Celeste ya había alcanzado grandes éxitos.

Gauss (1777-1855), *el príncipe de las matemáticas*, profesor de astronomía en Göttingen predijo, en 1801, por métodos matemáticos rigurosos (**método de mínimos cuadrados**), la posición de Ceres, del que se perdió su seguimiento por más de un mes, tras utilizar posiciones conocidas anteriores y su propio método.

El 31 de diciembre de 1801, el astrónomo Franz Xaver **von Zach** (1754 -1832) encontró Ceres exactamente donde Gauss había predicho que estaría (**un éxito antecesor de la matemática al pronosticar órbitas desconocidas ante la observación**).



Johann Carl Friedrich Gauss
(1777-1855)



Friedrich Wilhelm Bessel
(1784 - 1846)

El problema concreto de la órbita de Urano atrajo la atención del también genial físico-matemático Friedrich Wilhelm **Bessel** (1784 - 1846). A la edad de 25 años (en 1810) fue nombrado director del Observatorio de Königsberg, capital de Prusia hasta 1918.

En 1840 anunció su teoría de que la desviación de los movimientos de Urano se debía a un planeta invisible (y que no había que modificar la Ley de Gravitación Universal).

En **1842** informó a John Herschel que buscaría ese posible nuevo planeta, pero cayó enfermo, falleciendo al poco tiempo.

Aún se debe mencionar, en el capítulo de los antecesores al descubrimiento de Neptuno, otra gran figura de la Astronomía del siglo XIX:

Mary Fairfax Greig **Somerville** (1780 - 1872) matemática, astrónoma y científica escocesa, autodidacta. Citada por muchos como "La Reina de las ciencias del siglo XIX".

La relevancia de su segundo marido (el Dr. William Somerville) le permitió contactar con Airy y muchos otros miembros de la Royal Society. Autora de numerosos libros. Laplace (1749-1827) dijo de ella:

Sólo hay tres mujeres que me han entendido: una eres tú, señora Somerville, otra Caroline Herschel y hay una tercera, una tal Sra. Greig de la que no sé nada

[**la propia Somerville con el apellido de su primer marido**].

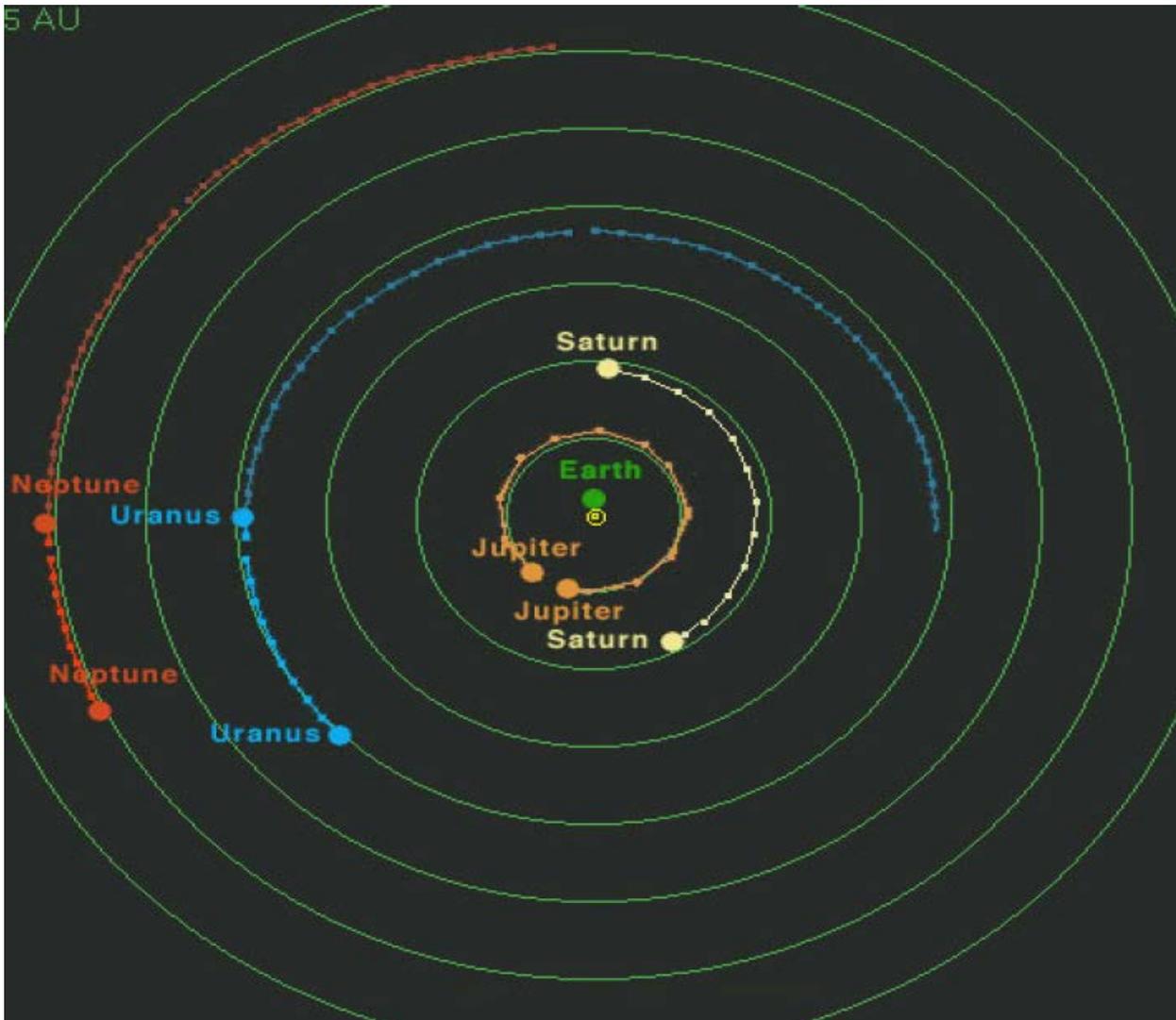
En 1832 y 1833 residió un tiempo en París, donde estrechó sus lazos con los científicos franceses, y trabajó en su siguiente libro, "La conexión entre las ciencias físicas", publicado en 1834.

Su análisis de las perturbaciones de la órbita de Urano incluido en la sexta edición del libro (1842), fue el origen de las investigaciones de Adams sobre la existencia de Neptuno en 1846.



Mary Fairfax Greig Somerville
(1780 - 1872)

3. El descubrimiento de Neptuno y las matemáticas usadas para ello.



Posiciones de Urano y Neptuno desde 1781 (en segmentos de 20 años).

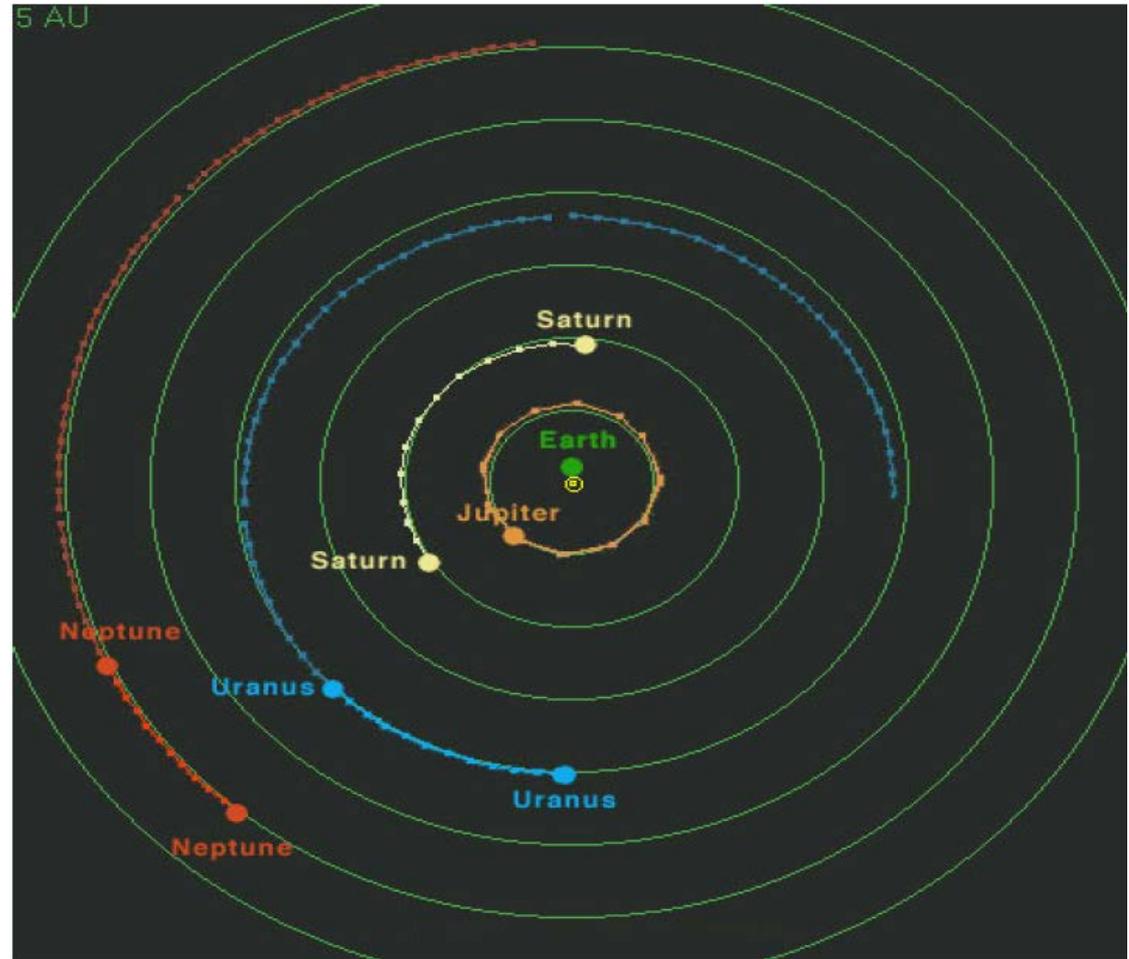
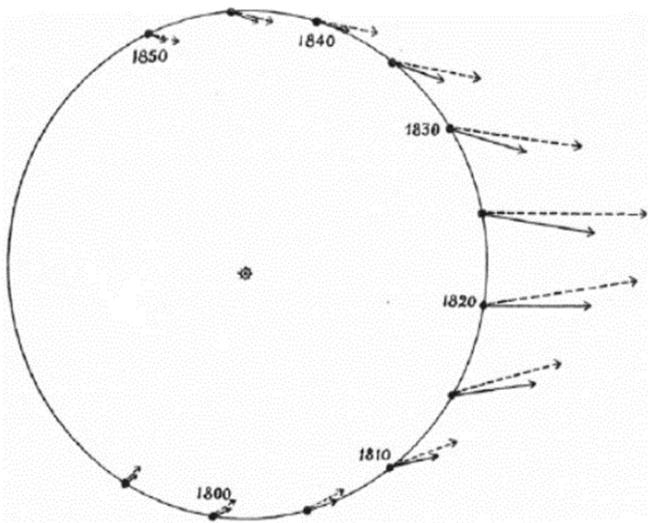
Explicación “a **toro pasado**”:

De 1781 a 1792 Urano estuvo **detrás** de Neptuno. Su mutua atracción gravitacional **aceleró a Urano** (y ralentizó ligeramente a Neptuno).

En 1821, Urano comenzó a **adelantar** y pasar a Neptuno y la atracción gravitatoria mutua causó que Urano **comenzara a disminuir su velocidad**.

En Junio de 1845, el astrónomo francés, Urbain Leverrier (1811-1877) es alentado a trabajar en el problema de las perturbaciones en la órbita de Urano.

Movimientos Planetarios (1832-1844)



Cambio de posiciones de los planetas de 1832 a 1844. Las posiciones de Urano y Neptuno se muestran desde 1781 (marcados en segmentos de veinte años). Téngase en cuenta que en 1832, Urano ya había adelantado a Neptuno.

El relato histórico del propio descubrimiento se presentó inicialmente de manera bastante confusa.

« Il n'existe qu'une manière rationnelle et juste d'écrire l'histoire des sciences : c'est de s'appuyer exclusivement sur des publications ayant date certaine ; hors de là, tout est confusion et obscurité ! »

François Arago defendiendo Le Verrier en l'Académie des sciences, el 19 de octubre de 1846.

Desde el punto de vista de la cronología de las publicaciones sobre el tema, no cabe duda de que el primero que mostró la posible existencia de otro planeta fue **Le Verrier** el 31 de agosto de 1846.

RECHERCHES
SUR LES MOUVEMENTS
DE LA PLANÈTE HERSCHEL,
(DITE URANUS) *
PAR U.-J. LE VERRIER.

1. Je me propose, dans ce Travail, d'étudier la nature des irrégularités du mouvement d'Uranus; de remonter à leur cause, en cherchant à découvrir, dans la marche qu'elles affectent, la direction et la grandeur de la force qui les produit. La théorie d'Uranus préoccupe aujourd'hui les astronomes. Elle a déjà donné lieu à plusieurs hypothèses, qui étaient sans valeur scientifique; car elles ne se fondaient sur aucun calcul rigoureux. Quelques détails historiques feront mieux connaître la difficulté que j'avais à résoudre.



*Rectification de l'Orbite de la Planète ou Postscript de d = 0,11
et de e = 0,80 qu'on peut première approximation*

Postscript.
La masse étant toujours prise égale à 1, pour
pour unité, il résulte de mon calcul, que
1. Son période pour le rapport de la distance
moyenne à l'Orbite à X, est 1,11 + d
ou sera la postscripture:
 $1,2 m^2 (20^{\circ} 46' + 1^{\circ} 51' d + 0^{\circ} 55' d^2) \sin (n^{\circ} \text{ et } + e^{\circ} - e)$

L'inégalité correspondante de q produite par
Venet, réduite à la même époque, et en prenant
l'époque de la découverte de la planète Herschel
égale à 1781,6 x 39,5157 x 0,526 = 1781,6 (1,193,91)
= 21,6. La période précédente est donc
la même nombre, en y ajoutant d = 0,116 : elle
donne 21,7.

L'inégalité de q produite par le est de même
0,519 x 1,5516 x 0,526 = 0,519 (1,036,51) = 21,8. La
période précédente pour d = 0,117

L'inégalité de q
pour l'Orbite de la planète Herschel est
de même 0,516 x 1,016 x 0,526 = 0,516 (1,400,67) = 18,0
et la période précédente pour d = 0,116 donne
18,0. Ainsi la période précédente est de 18,0.

Soit n = 49,7610 le moyen mouvement annuel
d'Uranus. On aura en grand:
 $n' = n \left(1 + \frac{d}{100} \right)^{\frac{3}{2}}$
 $= n (1,1)^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{100} (1,1)^{\frac{1}{2}} d + \frac{3}{40000} (1,1)^{\frac{1}{2}} d^2$

ou bien
 $n' = 17,7540 + 0,0100 d + 0,00025 d^2$

formel qui pour d = 1 fournit n' = 17,7640 et
pour d = 3 fournit n' = 17,7892 ; nombre
qui suit aux autres, mais d'instinct
pour n (1,1)^{\frac{3}{2}} et n (1,1)^{\frac{1}{2}}.

Soit en même temps l'inégalité:
 $0,2 m^2 (20^{\circ} 46' + 1^{\circ} 51' d + 0^{\circ} 55' d^2) \sin (n^{\circ} \text{ et } + 0,0100 d + 0,00025 d^2)$

En développant le sinus par la formule:
 $\sin(x + k) = \sin x + (0,01/708) k \cos x - (0,01/708)^2 \frac{1}{2} \sin x$

L'inégalité de même en développant
par le sinus: $0,2 = 10^{\circ} = 1^{\circ}$ pour abréger
il faut multiplier le par 10.

Abundante material histórico: Exposición virtual

Le Verrier : les coulisses de la découverte de Neptune présentée à l'Observatoire de Paris du 31 mars au 31 octobre 2011



Le Verrier

(1811 - 1877)

Les coulisses de
la découverte de **Neptune**

exposition virtuelle

BIBLIOTHÈQUE PLAN DU SITE MENTIONS CRÉDITS

<http://expositions.obspm.fr/leverrier/Le-Verrier/reperes/catalogue.html>



Estatua en el Observatorio de Paris al año siguiente de su muerte 1889

En 1836, Le Verrier solicitó a la vez dos puestos de « ayudante » en l'Ecole Polytechnique: uno de química (cátedra de Gay-Lussac), que no obtuvo, pero sí la otra plaza en la cátedra de Mecánica Celeste

1839, *Sur les variations séculaires des orbites des planètes*, dans les Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences

(370)

MÉMOIRES PRÉSENTÉS.

MÉCANIQUE CÉLESTE. — *Sur les variations séculaires des orbites des planètes; par M. LEVERRIER.* — Extrait par l'auteur.

(Commissaires, MM. Arago, Savary, Liouville.)

En 1845 recibe el encargo de Arago de analizar las anomalías de Urano. El 1 de junio de 1846 presenta una Memoria y expone sus conclusiones en la Academie des Sciences.

El 26 de junio de 1846, Le Verrier escribe a George Airy informándole de que ha hallado la posición de un nuevo planeta. Airy pide más informaciones Le Verrier le responde en tan solo dos días informándole de que está trabajando en poder dar una posición aún más precisa para el planeta.

El 31 de agosto de 1846, publicó “*Sur la planète qui produit les anomalies observées dans le mouvement d’Uranus. Détermination de sa masse, de son orbite et de sa position actuelle*”.

No logró que materializasen con éxito la búsqueda en el Observatorio de Paris, pero él conocía personalmente a Galle y le escribió la famosa carta que tardó 5 días en llegar a Berlín: el 23 de septiembre de 1846.

Fortuitas coincidencias que favorecieron el descubrimiento:

En la carta recibida por Galle el 23/09/1846 se daba una precisa descripción de donde buscar; longitud heliocéntrica de $326^{\circ} 32'$ y que allí debería ser visible un disco mayor de $3''$.

Ese día era el cumpleaños del director del Observatorio de Berlín y se celebraba allí mismo una fiesta.

Galle le preguntó al director, si podía buscar el planeta, a lo que Encke accedió (al ver la carta).

Un estudiante, Heinrich Louis d'Arrest, solicitó unirse a la observación en esa noche clara.

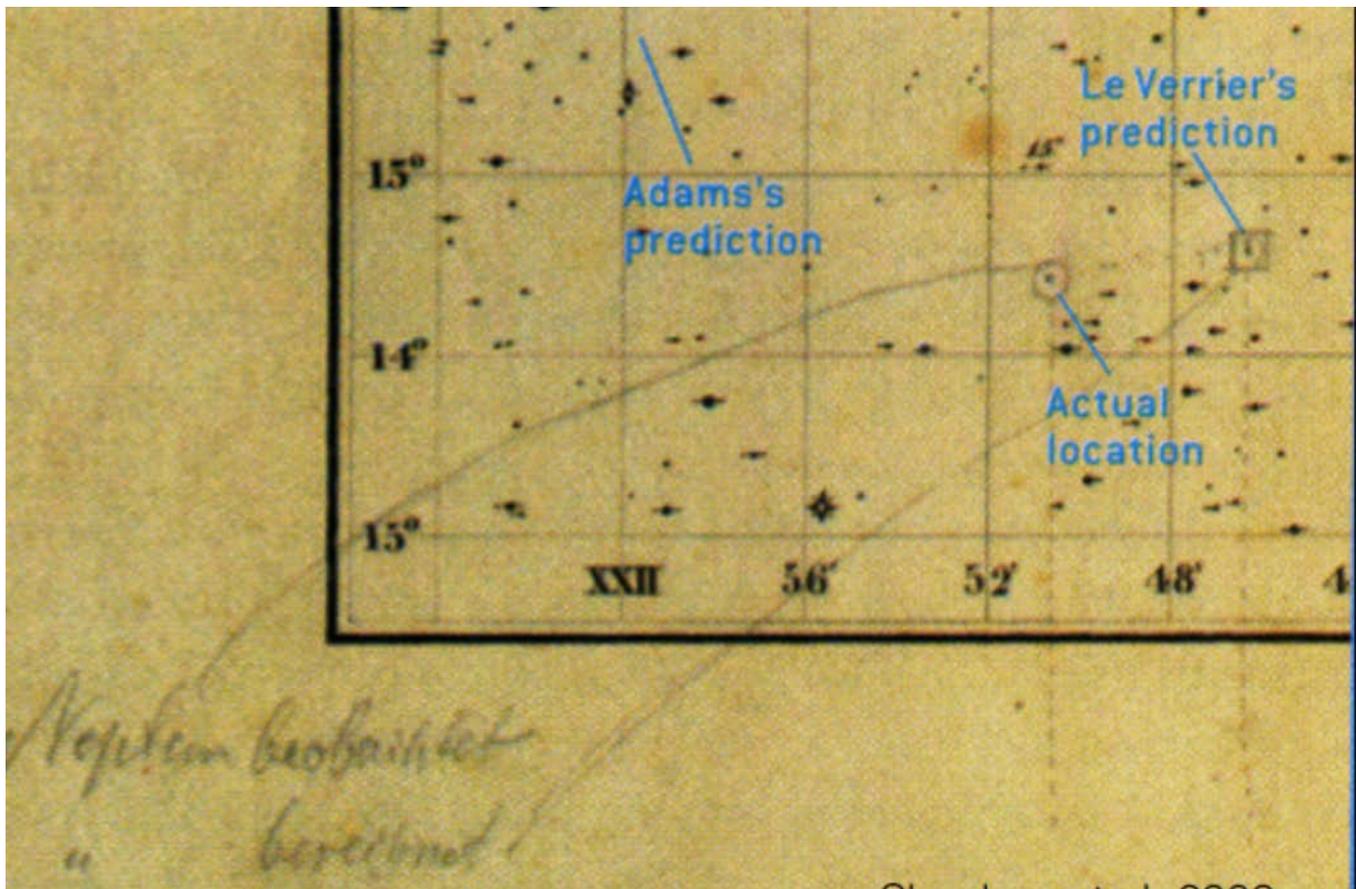


Johann Franz **Encke**
(1791 - 1865) [alumno de Gauss]



Louise d'Arrest
(1822 - 1875)

- Galle no encontró inicialmente nada, pero d'Arrest sugirió utilizar el mapa del cielo, recientemente elaborado por Carl Bremiker (1804-1877), que solo poseía Berlin.
- A la 1. 05 a.m. ven una estrella de 8^a magnitud que no estaba en el mapa de Bremiker.
- Esperaron todo el día y en la noche (también muy clara) del 24 de septiembre comprobaron que ese cuerpo **iise había movido!!**



Comparación con el tamaño de la Tierra
(diámetro 49.572 km)

Urano y Neptuno son los planetas gigantes del sistema solar, principalmente hechos de rocas, hielo y un poco de gas.

Su composición, compuesta principalmente de hidrógeno (83%) y helio (15%), le da a Neptuno su color azul.

Está agitado por los vientos más violentos del sistema solar (hasta 1600 km / h).

Sólo la sonda Voyager 2 exploró el sistema Neptuno en 1989.

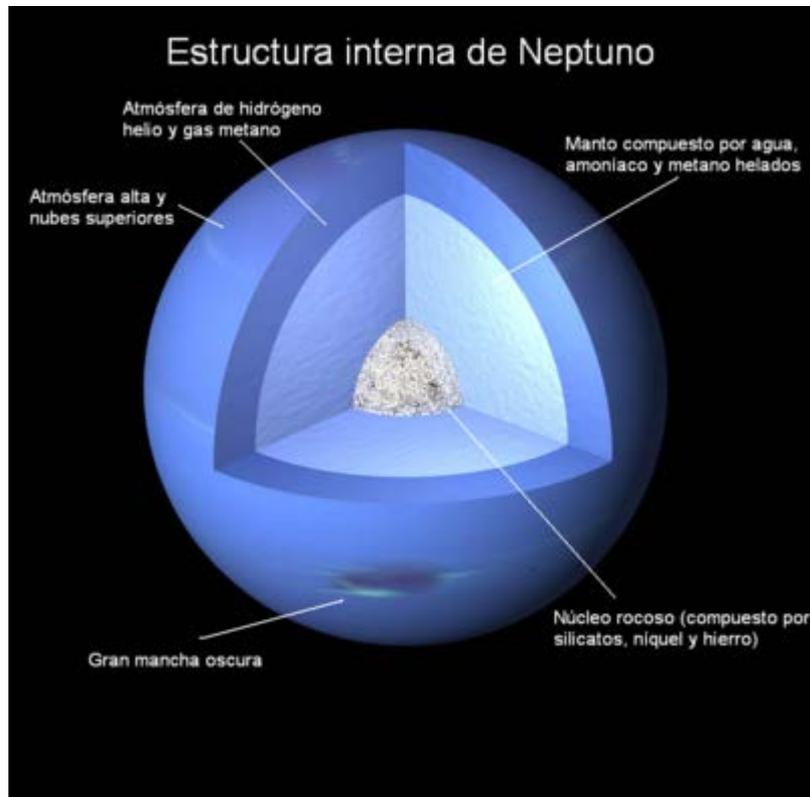


Imagen de Neptuno y una de sus 14 satélites, Tritón, tomada desde la Voyager 2.



Tritón fue descubierta por el inglés William Lassell (1799 - 1880), **ii en Octubre de 1846 !!**

Le Verrier recibió inmediatamente numerosos reconocimientos, a sus 35 años.



Recepción por el Rey Louis-Philippe en el Palais des Tuileries

Le concedieron la distinción de Oficial de la Légion d'Honneur, Elegido miembro del Bureau des Longitudes. Le crearon y asignaron una cátedra de Astronomía y de Mecánica Céleste en la Sorbona,...[RAC \(1850\)](#),...

Proyecto de decoración (1889) de un techo del Observatorio de Paris (de Edmond Dupain (1847-1933)): no realizado.



En realidad, Le Verrier había escrito a mas gente (además de Galle) pidiendo que intentasen comprobar la predicción dada por sus cálculos:

- Primero escribió al alemán Heinrich Christian **Schumacher** (1780 - 1850), (fundador y editor de *Astronomische Nachrichten*), quien le sugiere que debe contactar con observatorios con buenos telescopios: Otto **Struve** (1819-1905) en Pulkovo Observatory (Rusia) y William **Parsons** [Lord Rosse] (1800 - 1867), en Irlanda.
- El 18 de septiembre de 1846 Le Verrier escribió a Galle y a Struve.
- Se sabe que, de hecho también pidió ayuda a Airy para buscar el nuevo planeta en el Observatorio de Greenwich , pero Airy lo negó (oficialmente).

La controversia sobre la primicia en el descubrimiento de un nuevo planeta se inicia con una carta de Airy, en Junio de 1846, a un colega suyo, en el que le informa de que Adams ya había mostrado matemáticamente eso en Octubre de 1846, pero que no lo había publicado en ninguna parte hasta esa fecha.

Los hechos acaecidos entre Adams y Airy, entre 1845 y 1846, podrían ser objeto de toda una novela.

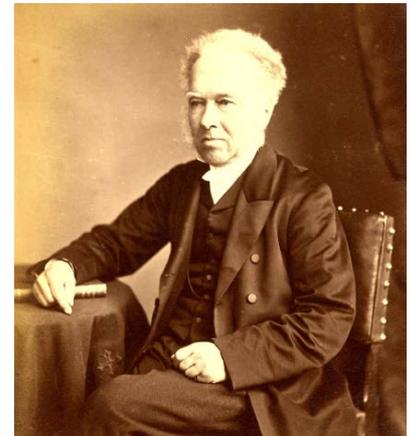
El 3 de julio de 1841, John Couch Adams, a sus 22 años, mientras cursaba sus estudios en Cambridge, escribió en su diario:

“Diseñé un plan de investigación, a principios de esta semana, para analizar, tan pronto como pueda, tras acabar mis estudios, las irregularidades del movimiento de Urano, que aún no se han descifrado. Pretendo averiguar si las anomalías pueden atribuirse a la acción de un planeta más allá de él y ver si es posible determinar aproximadamente los elementos de su órbita, lo que probablemente llevaría a su descubrimiento”.

Según su diario, en 1844 Adams obtuvo ya una primera solución aproximada al problema.

En **Septiembre de 1845**, Adams dedujo una mejor aproximación para la órbita del nuevo planeta. Supuso que un planeta se ubicaría aproximadamente el doble de la distancia del Sol que Urano (basado en la relación Bode-Titius) y por consejo del Director del Observatorio de Cambridge, James Challis (1803 - 1882), llevó personalmente sus predicciones al Observatorio de Greenwich para mostrárselas a Airy.

PERO - ¡Adams no había solicitado cita con Airy!
(quien, de hecho, estaba en Francia en esas fechas).



James Challis
(1803 - 1882)

Una tarde de **Octubre de 1845**, Adams intentó a Airy en Greenwich, por segunda vez, pero de nuevo sin haber pedido cita previa a Airy, quien no quiso recibirle pues se negó a.... ¡¡ interrumpir su cena !!

Moraleja:

¡¡¡SIEMPRE que quieras ver al Astrónomo del Rey has de pedir cita previa !!!

Esta vez, Adams dejó su manuscrito en Greenwich para que lo leyera Airy.

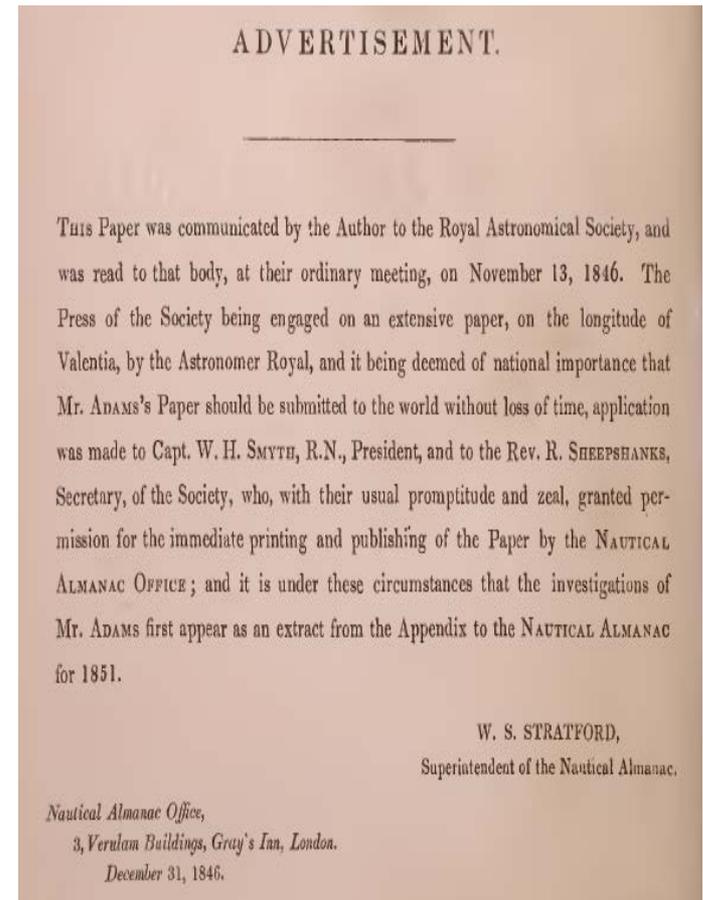
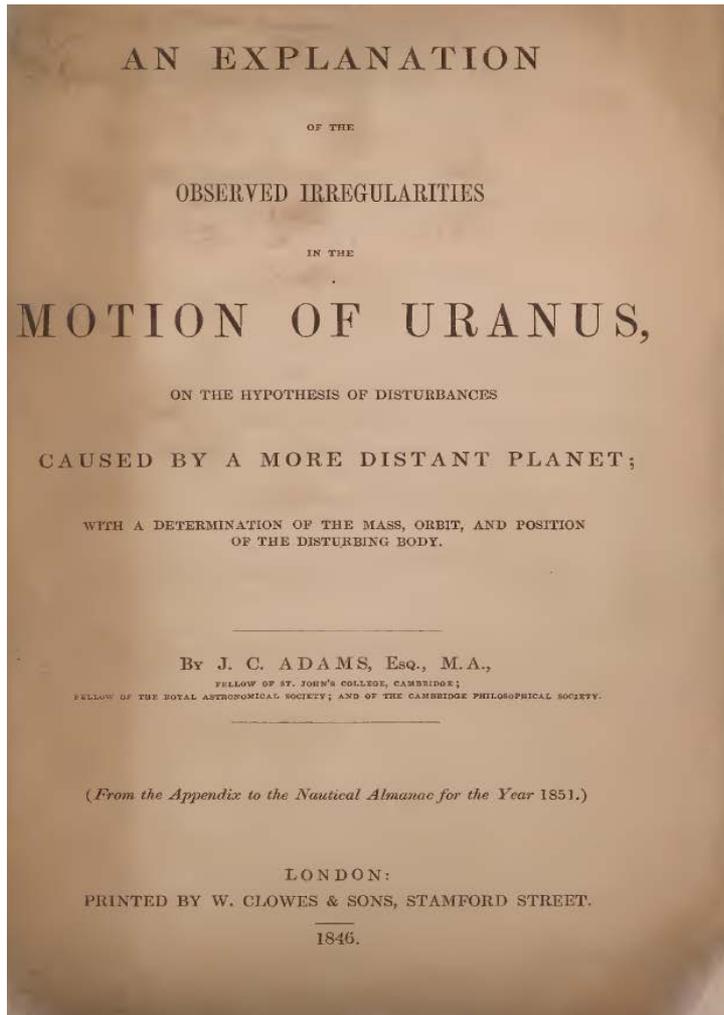
En Noviembre de 1845, después de leer el manuscrito de Adams, Airy escribió a Adams preguntándole sobre las hipótesis que había supuesto para obtener hecho su solución.

¿Por alguna razón (arrogancia, dilación ...?), Adams no respondió.

Moraleja nº 2:

¡¡¡SIEMPRE hay que responder al Astrónomo Real cuando te haga una pregunta !!!)

Conceder de que Le Verrier había publicado sus resultados (en junio y agosto de 1846) finalmente, Adams publicó una memoria con sus investigaciones el 17 de noviembre de 1846 (pero no apareció hasta 1851):



¿Que tipo de matemáticas usaron Le Verrier y Adams?

Primera puntualización necesaria: **Problemas directos y problemas inversos**

i) Problemas directos:

Principios básicos (modelización) + (datos)+ tratamiento matemático

Problema bien planteado..., validación del modelo,....

$$\begin{cases} m \ddot{\mathbf{r}}(t) = \mathbf{f}(t, \mathbf{r}(t), \dot{\mathbf{r}}(t)) \\ \dot{\mathbf{r}}(t_0) = \mathbf{v}_0 \\ \mathbf{r}(t_0) = \mathbf{r}_0 \end{cases}$$

ii Observación y Cálculo !!

RACEFyN (1848)



ii) problemas inversos

Las verdaderas incógnitas del problema son uno o varios datos de la formulación directa que se deben calcular de manera que se optimice un cierto objetivo.

El descubrimiento de Neptuno fue planteado como un problema inverso: se conocían las anomalías respecto de la órbita teórica de Urano y había que hallar las constantes orbitales de un planeta potencial que justificase esas anomalías.

Ejemplo muy pionero de la Teoría de Control fundada alrededor de los mitad del siglo pasado (Pontryagin, Bellman, Kalman,...).

La “Trilogía Universal” de la Matemática Aplicada

Sistema real

Predicción

Gobierno o control

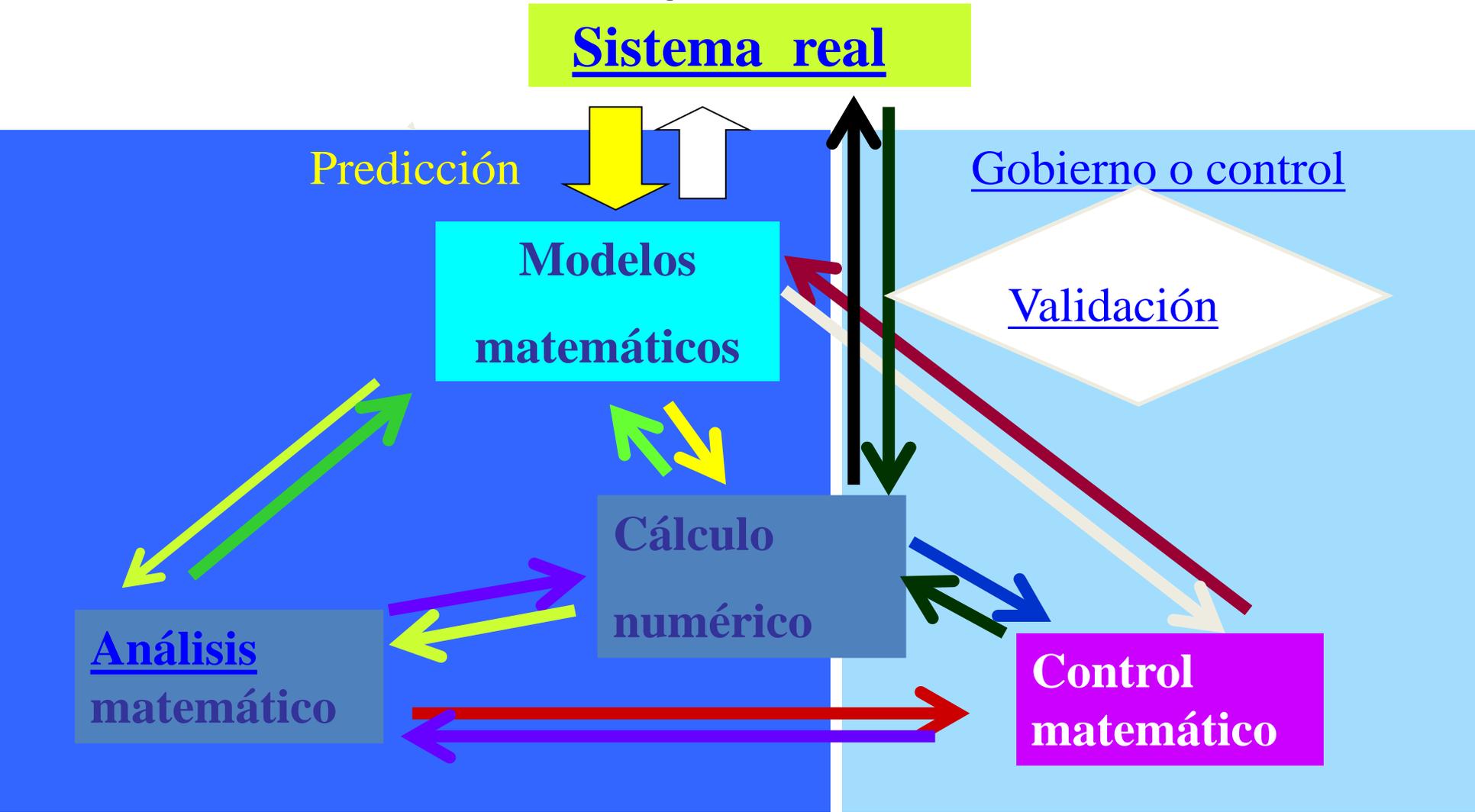
Modelos matemáticos

Validación

Cálculo numérico

Análisis matemático

Control matemático



Le Verrier y Adams utilizaron, en 1845 y 1846, esencialmente, la **Teoría de perturbaciones**, desarrollada por Laplace para el problema de los tres cuerpos de la Mecánica Celeste.

Mejoras posteriores por Poincaré, Teoría KAM,..

Revisión/actualización de las investigaciones de Le Verrier y Adams:

- T. J. J. See, The secular perturbations of Uranus arising from the action of Neptune, determined by the method of Gauss, *Astronomical Journal*, vol. 14, iss. 316, p. 25-28 (1894).
- J. E. Littlewood, "A Mathematician's Miscellany", Methuen & Co. Oxford, 1953,
- R. A. Lyttleton, "Mysteries of the solar system", Clarendon Press, Oxford, 1968,
- H. M. Lai, C. C. Lam, and K. Young, Perturbation of Uranus by Neptune: A modern perspective, *American Journal of Physics* 58, 946 (1990).



Pierre-Simon de Laplace (1749-1827)

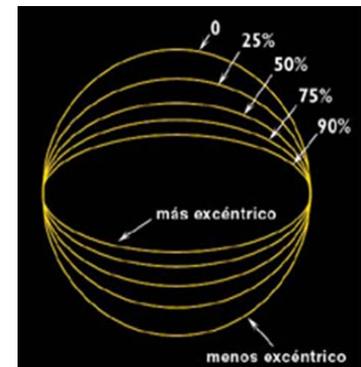
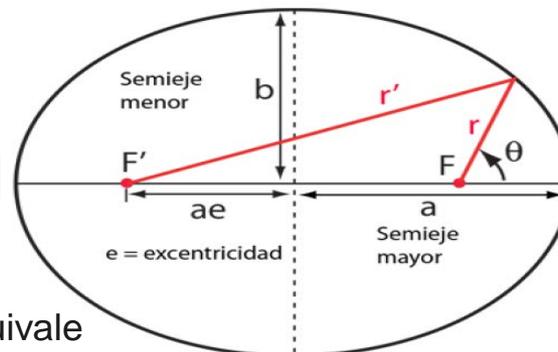
Primera parte: Planteamiento como problema directo (el problema de tres cuerpos, U, N, S, simplificado) supuestos conocidos *los datos* de ambos planetas y del Sol.

Le Verrier y Adams supusieron el *radio medio* de Urano dado por la ley de Bode.

Segunda Ley de Kepler(1571-1630): elipses,..., pero con excentricidades casi despreciables.

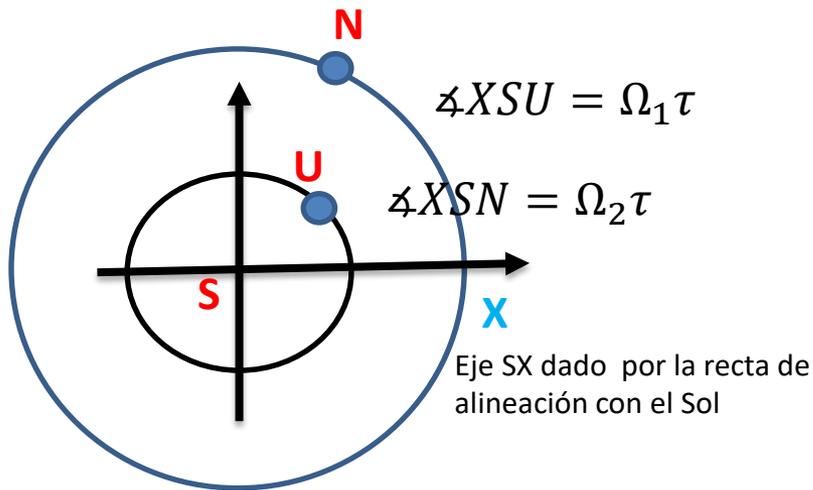
$$e_1 = 0,0471 \quad [e_2 = 0,0085]$$

$$SU = R_1 = 19,19 \text{ AU} \quad [SN = R_2 = 30,08]$$



La **unidad astronómica (AU)** 149.597.870,7 Km, equivale aproximadamente a la distancia media entre la Tierra y el Sol.

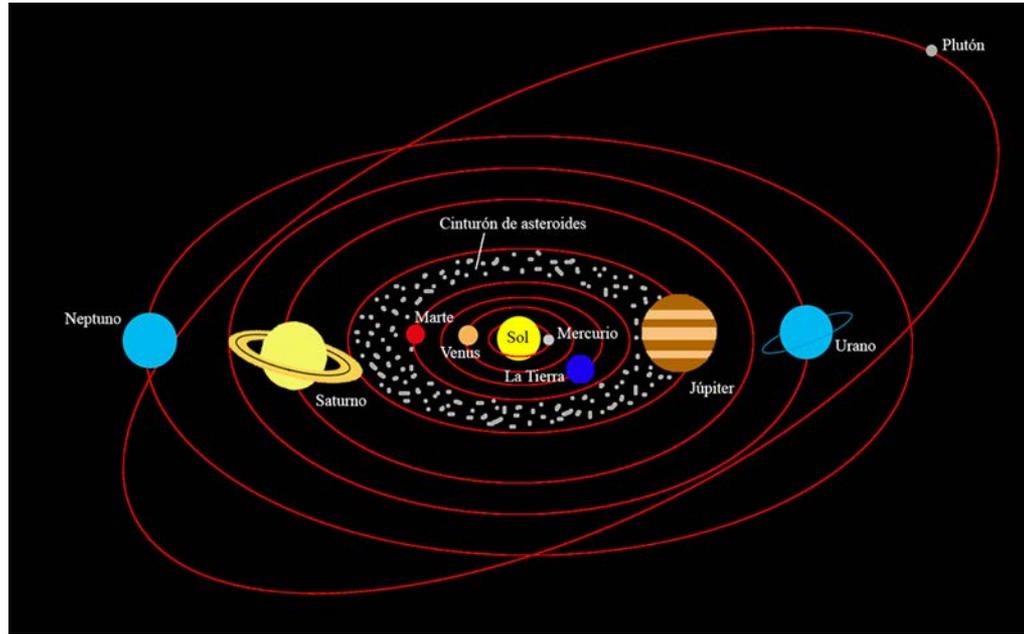
Supondremos el movimiento de U y N en el plano de la *eclíptica*



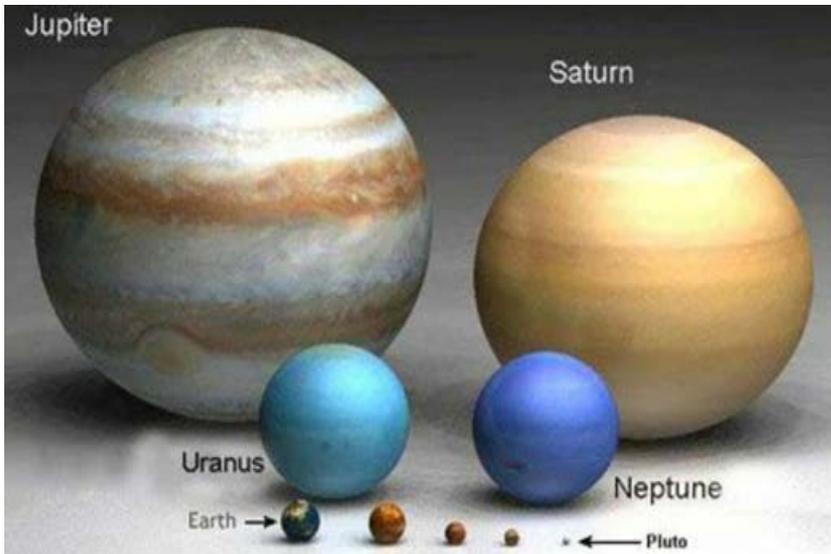
$t_0 = \text{tiempo de conjunción} = 1822$

$\tau = t - t_0$ $\Omega_i = 2\pi / T_i$

m_1 masa de U, m_2 masa de N y
 $m_3 = M = 1$ masa del Sol.



Inclinaciones reales: U $0,77^\circ$, $[N$ $1,78^\circ]$



Urano ($i=1$)

$[$ Neptuno ($i=2$) $]$

R_i	19.19	30.08
T_i	84.01	164.8
Ω_i	7.479×10^{-2}	3.813×10^{-2}
m_i	4.373×10^{-5}	5.178×10^{-5}

Tomaremos un sistema de referencia que gira con U y por tanto N gira con una velocidad angular $-\Omega$

$$\Omega = \Omega_1 - \Omega_2 = 3,666 \times 10^{-2}.$$

En el problema de tres cuerpos U, N, S, la segunda ley de Newton para cada cuerpo conduce a

$$\ddot{\mathbf{r}}_i = G \sum_{j=1}^3 \frac{m_j}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|^3} (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j),$$

donde \mathbf{r}_1 , \mathbf{r}_2 y \mathbf{r}_3 son los vectores posición de U, N y S respectivamente y $G = 4\pi^2$ (Tercera ley de Kepler).

Las coordenadas heliocéntricas son $\boldsymbol{\rho}_i = \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_3$, lo que lleva a

$$\ddot{\boldsymbol{\rho}}_i = -\ddot{\mathbf{r}}_3 + G \sum_{j=1}^3 \frac{m_j}{|\boldsymbol{\rho}_i - \boldsymbol{\rho}_j|^3} (\boldsymbol{\rho}_i - \boldsymbol{\rho}_j),$$

donde el primer término es la “pseudo-aceleración”, pues el sistema de referencia con origen en el Sol no es un sistema inercial.

Como $\boldsymbol{\rho}_3 = \mathbf{r}_3 - \mathbf{r}_3 = \mathbf{0}$ podemos expresar $\ddot{\mathbf{r}}_3$ en términos de $\boldsymbol{\rho}_1$ y $\boldsymbol{\rho}_2$

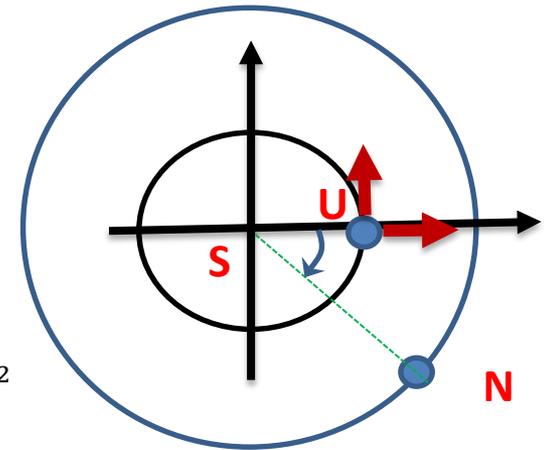
$$\ddot{\boldsymbol{\rho}}_1 + G(M + m_3) \frac{\boldsymbol{\rho}_1}{|\boldsymbol{\rho}_1|^3} = Gm_2 \left(\frac{\boldsymbol{\rho}_1 - \boldsymbol{\rho}_2}{|\boldsymbol{\rho}_1 - \boldsymbol{\rho}_2|^3} - \frac{\boldsymbol{\rho}_2}{|\boldsymbol{\rho}_2|^3} \right).$$

En términos de las **coordenadas polares** (ρ_i, φ_i) en el plano de la eclíptica (que contiene a S, U y N)

$$\dot{\rho}_1 - \rho_1 \dot{\varphi}_1^2 + \frac{G(M+m_1)}{|\rho_1|^2} = \epsilon F_r$$

$$\rho_1 \ddot{\varphi}_1 + 2\dot{\rho}_1 \dot{\varphi}_1 = \epsilon F_\varphi$$

$\epsilon \mathbf{F}$ es realmente la aceleración de U relativa a S, **atribuible a la presencia de N.**



Recordemos que

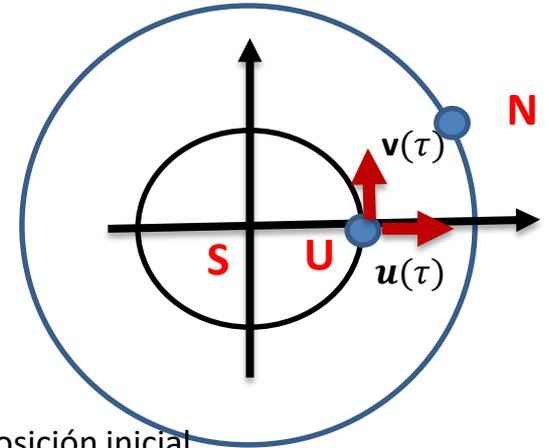
$$t_0 = 1822 \quad \tau = t - t_0$$

Coordenadas polares de Urano respecto del Sol $[(\rho_1(\tau), \varphi_1(\tau))]$

$$[(\rho_1(0), \varphi_1(0))] = [R_1, \Omega_1 \tau]$$

El movimiento perturbado lo escribimos como

$$\begin{aligned} \rho_1(\tau) &= R_1 + u(\tau) \\ \varphi_1(\tau) &= \Omega_1 \tau + v(\tau)/R_1 \end{aligned}$$

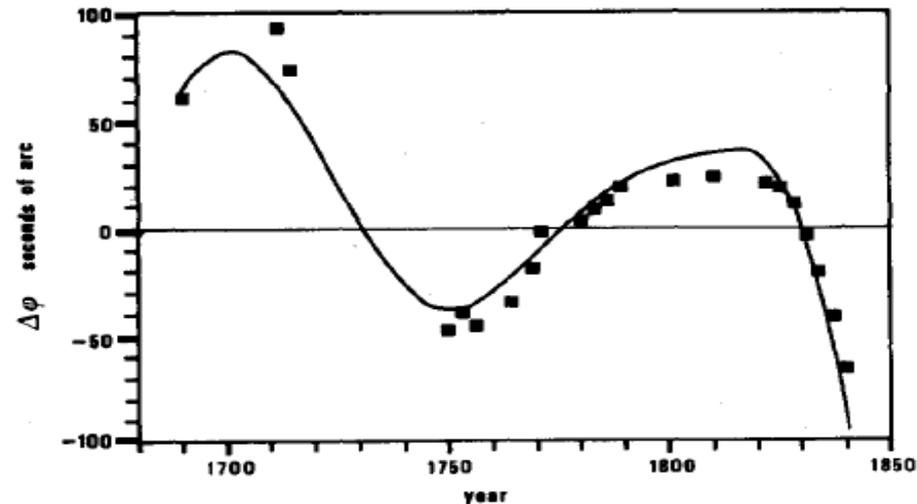


donde (u, v) es esencialmente el desplazamiento de U respecto de la posición inicial

La desviación de la longitud heliocéntrica es $\Delta\phi = \frac{v}{R_1}$

Se conocía una tabla de discrepancias $\Delta\phi$ entre las longitudes observadas y calculadas de Urano.

Year	$\Delta\phi$ (s)	Year	$\Delta\phi$ (s)
1690	+ 61.2	1786	+ 12.36
1712	+ 92.7	1789	+ 19.02
1715	+ 73.8	1801	+ 22.21
1750	- 47.6	1810	+ 23.16
1753	- 39.5	1822	+ 20.97
1756	- 45.7	1825	+ 18.16
1764	- 34.9	1828	+ 10.82
1769	- 19.3	1831	- 3.98
1771	- 2.3	1834	- 20.80
1780	+ 3.46	1837	- 42.66
1783	+ 8.45	1840	- 66.64



Despreciando los movimientos del Sol y **linealizando** las ecuaciones de las coordenadas polares llegamos al sistema lineal acoplado

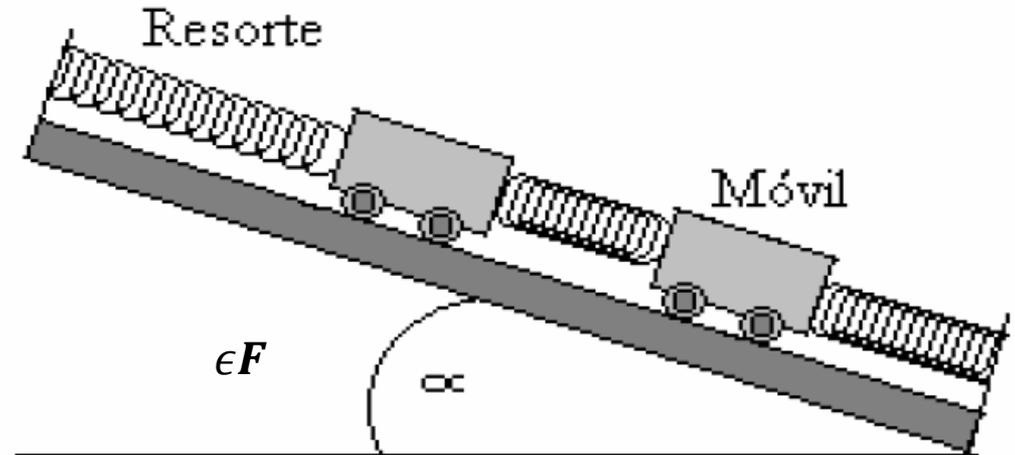
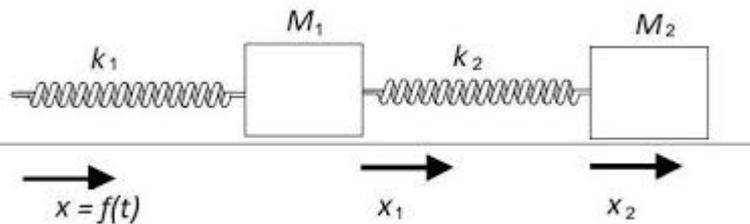
$$\ddot{u} - 2\Omega_1 \dot{v} - 3\Omega_1^2 u = \epsilon F_r$$

$$\dot{v} + 2\Omega_1 \dot{u} = \epsilon F_\varphi$$

Aquí, ϵF es realmente la aceleración de U relativa a S atribuible a la presencia de N

$$\epsilon = \frac{Gm_2}{R_2^2} = 2,260 \times 10^{-6}$$

El sistema es similar al de dos osciladores armónicos acoplados y con una perturbación ϵF



El sistema homogéneo ($\epsilon \mathbf{F} = \mathbf{0}$) tiene como frecuencias propias 0 y Ω_1 lo que conduce al par de soluciones

$$\begin{aligned}u(\tau) &= -\frac{2}{3}\alpha_1 \\v(\tau) &= \alpha_1\Omega_1\tau + \alpha_2\end{aligned}$$

para la frecuencia 0, y

$$\begin{aligned}u(\tau) &= -\frac{1}{2}\alpha_3\cos(\Omega_1\tau) + \frac{1}{2}\alpha_4\sen(\Omega_1\tau) \\v(\tau) &= \alpha_3\sen(\Omega_1\tau) + \alpha_4\cos(\Omega_1\tau)\end{aligned}$$

para la frecuencia Ω_1 , con α_i **constantes arbitrarias**, $i=1,2,3,4$.

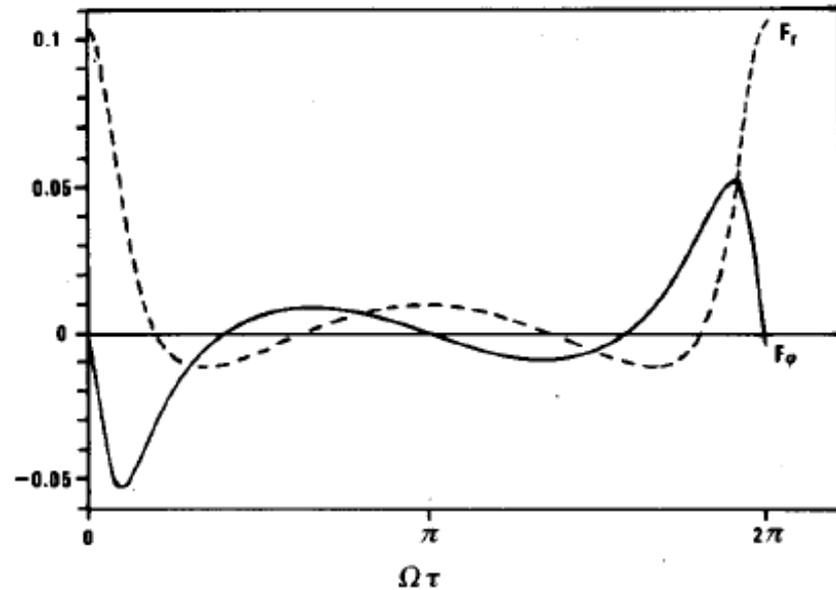
Esas soluciones (sin perturbación alguna) pueden interpretarse en términos de las leyes de Kepler.

Lo más interesante nace al buscar una solución particular de la ecuación no homogénea ($\epsilon \mathbf{F} \neq \mathbf{0}$)

Las componentes F_r y F_φ se pueden calcular explícitamente y se llega a unas funciones periódicas en $\Omega\tau$ con un desarrollo en términos de series de Fourier concreto:

$$F_r = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos(n\Omega\tau)$$

$$F_\varphi = \sum_{n=0}^{\infty} b_n \sin(n\Omega\tau).$$



Se busca una solución vectorial concreta en términos del desarrollo de Fourier correspondiente

$$u = \epsilon \sum_{n=0}^{\infty} u_n \cos(n\Omega\tau)$$

$$v = \epsilon \sum_{n=0}^{\infty} v_n \sin(n\Omega\tau)$$

obteniéndose una tabla de valores, cuyos primeros términos son

n	a_n	b_n	u_n	v_n
0	0.571		-3.40×10^1	
1	0.789	-0.209	3.86×10^2	-1.42×10^3
2	1.50	-1.18	1.81×10^4	-3.66×10^4
3	1.14	-0.954	-3.74×10^2	5.88×10^2
4	0.821	-0.716	-9.75×10^1	1.33×10^2
5	0.579	-0.516	-3.57×10^1	4.45×10^1

Debido a que la componente en 2Ω es prácticamente resonante con la frecuencia natural Ω_1 se produce un fenómeno de resonancia para $n=2$ y los términos dominantes son los que corresponden a $n=2$.

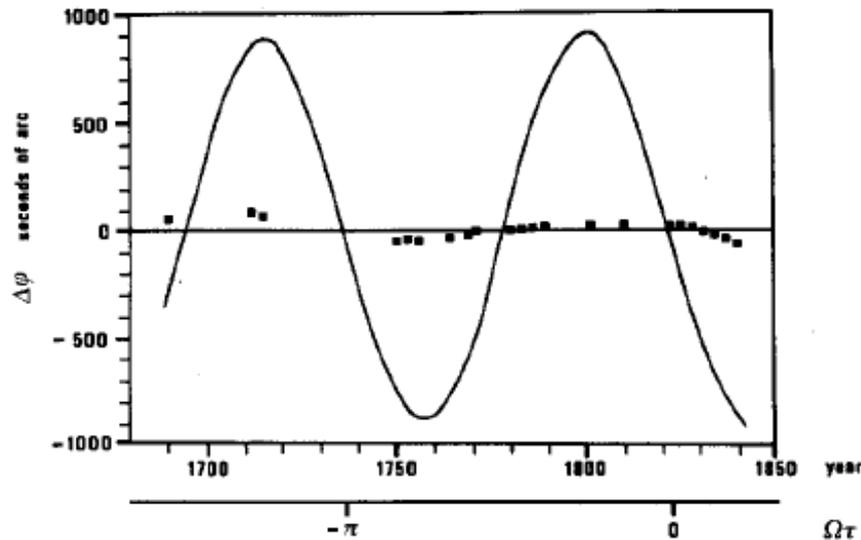
Esto conduce a que

$$\Delta\varphi = -\gamma \text{sen}(2\Omega\tau)$$

con

$$\gamma = 890''.$$

En este análisis de la solución particular del problema no homogéneo, **como problema directo**, se concluye una desviación heliocéntrica mucho mayor que la observada.



La **solución completa** es pues la suma de la solución general del sistema homogéneo (que depende de 4 constantes) y de la solución particular del sistema no homogéneo.

Esto conduce a una desviación teórica de la forma

$$\Delta\varphi_{teo} = -\gamma\text{sen}(2\Omega\tau) + \beta_1\Omega\tau + \beta_2 + \beta_3\text{sen}(\Omega_1\tau) + \beta_4\text{cos}(\Omega_1\tau)$$

Donde las constantes, ahora dadas por $\beta_i = \alpha_i/R_1$ $i=1,2,3,4$, se han de determinar a partir de los valores iniciales de $u(0)$, $v(0)$ y de las derivadas de $u(\tau)$ y $v(\tau)$ en $\tau=0$.

Pero como no hay un tiempo inicial privilegiado, tal y como mostró Gauss, lo óptimo es utilizar el método de mínimos cuadrados:

$$\text{Min}_{\beta_i} D^2, \quad D^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(\Delta\varphi(\tau_i) - \Delta\varphi_{teo}(\tau_i))]^2 \quad (*)$$

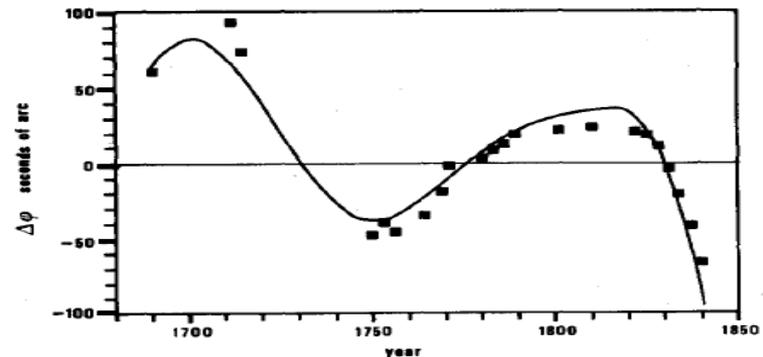
Si se toma $N=22$ y se reemplazan las medidas de las anomalías $\Delta\varphi(\tau_i)$ se obtiene que el resultado óptimo es

$$\beta_1 = -8.790 \times 10^{-5} \text{ rad} = -18.1'',$$

$$\beta_2 = -2.200 \times 10^{-4} \text{ rad} = -45.4'',$$

$$\beta_3 = 4.079 \times 10^{-3} \text{ rad} = 841'',$$

$$\beta_4 = 3.724 \times 10^{-4} \text{ rad} = 76.8'',$$



Segunda parte: Planteamiento como problema inverso

Ahora, se trata de imitar las investigaciones de Le Verrier y Adams suponiendo que no conocemos los parámetros orbitales de Neptuno. Tratemos de identificarlos tan solo con el registro histórico de discrepancias $\Delta\varphi(\tau_i)$.

Year	$\Delta\phi$ (s)	Year	$\Delta\phi$ (s)
1690	+ 61.2	1786	+ 12.36
1712	+ 92.7	1789	+ 19.02
1715	+ 73.8	1801	+ 22.21
1750	- 47.6	1810	+ 23.16
1753	- 39.5	1822	+ 20.97
1756	- 45.7	1825	+ 18.16
1764	- 34.9	1828	+ 10.82
1769	- 19.3	1831	- 3.98
1771	- 2.3	1834	- 20.80
1780	+ 3.46	1837	- 42.66
1783	+ 8.45	1840	- 66.64

Ahora, al problema (*) de identificar las 4 constantes arbitrarias β_i se le debe añadir las siguientes incógnitas adicionales:

(1) La masa de Neptuno: que puede sustituirse por el coeficiente μ dado por

$$\mu = \frac{\text{masa supuesta de Neptuno}}{\text{masa real dada en la tabla anterior}}$$

(2) La frecuencia Ω_2 y por tanto $\Omega = \Omega_1 - \Omega_2$. Sin embargo, por la Tercera ley de Kepler, a cada valor de Ω_2 le corresponde un solo valor de R_2 (por tanto esa distancia al Sol no es ninguna incógnita diferente).

(3) El tiempo de conjunción t_0 es ahora desconocido (imprescindible para fijar la escala del tiempo τ).

En la formulación del problema (*) ahora debemos cambiar D por una función dependiente de **siete parámetros**

$$\text{Min}_{(\Omega_2, \mu, t_0, \beta_i)} D(\Omega_2, \mu, t_0, \beta_i) \quad , \quad D^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(\Delta\varphi(\tau_i) - \Delta\varphi_{teo}(\tau_i))]^2. \quad (**)$$

No es difícil ver que los parámetros μ y β_i intervienen **linealmente** en la expresión $\Delta\varphi_{teo}(\cdot)$ y por tanto se pueden hallar en primer lugar y entonces reducir el problema (**) a otro NO LINEAL definiendo

$$D^{NL}(\Omega_2, t_0) = \text{Min}_{(\mu, \beta_i)} D(\Omega_2, \mu, t_0, \beta_i)$$

y así

$$\text{Min}_{(\Omega_2, \mu, t_0, \beta_i)} D(\Omega_2, \mu, t_0, \beta_i) = \text{Min}_{(\Omega_2, \mu)} D^{NL}(\Omega_2, t_0). \quad (***)$$

El cálculo del $\text{Min}_{(\Omega_2, \mu)} D^{NL}(\Omega_2, t_0)$ se debe hacer por aproximación numérica (Algoritmo de Gauss-Newton).

La minimización de $D(\Omega_2, \mu, t_0, \beta_i)$, especialmente la parte no lineal $D^{NL}(\Omega_2, t_0)$, no sería posible sin las facilidades del cálculo computacional actual. Es de necesaria justicia enfatizar la gran precisión de los cálculos realizados por Adams y Le Verrier (al seguir método paralelos al aquí expuesto):

- H. H. Goldstine, A History of Numerical Analysis from the 16th through the 19th Century, Springer, New York, 1977.
- H. H. Goldstine, The Computer from Pascal to von Neumann, Princeton University Press, 1993.
- P. E. Dunne, 19th Century Contributions and their Impact on Elements of Modern Computers, <http://cgi.csc.liv.ac.uk/~ped/teachadmin/histsci/htmlform/lect4.html>

$$(\Omega_2, t_0) = (3.813 \times 10^{-2}, 1822)$$

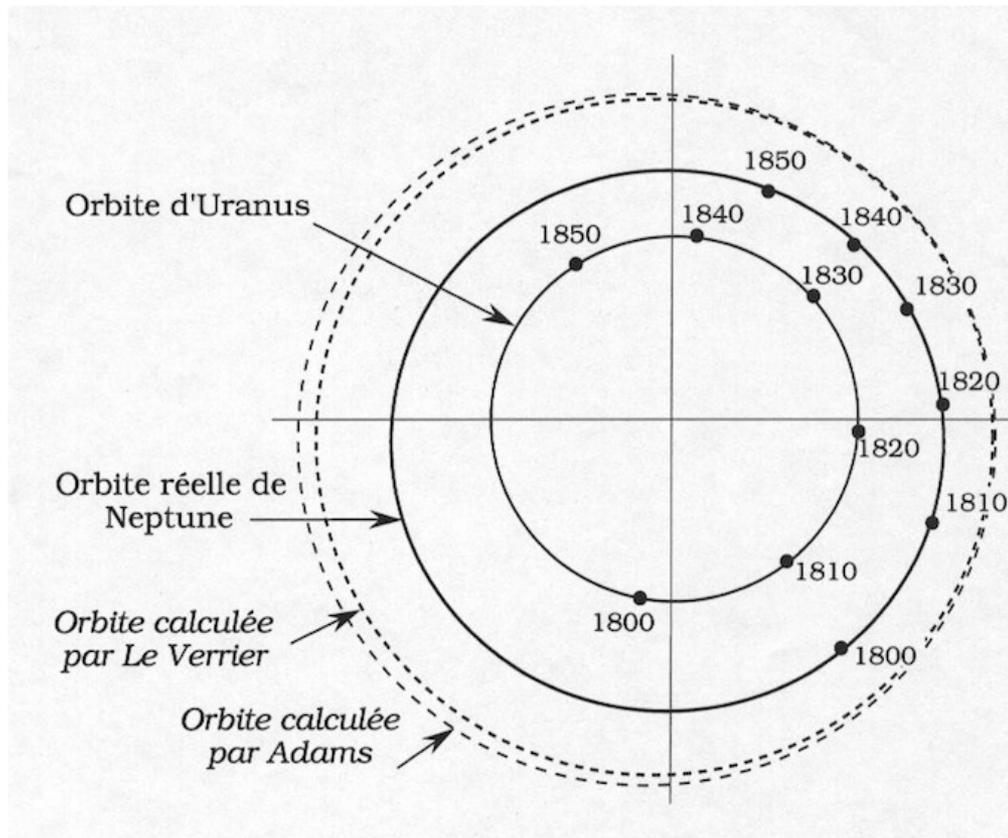
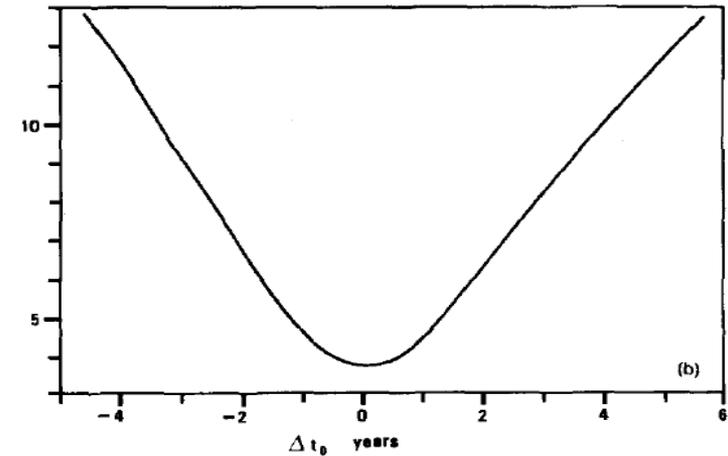
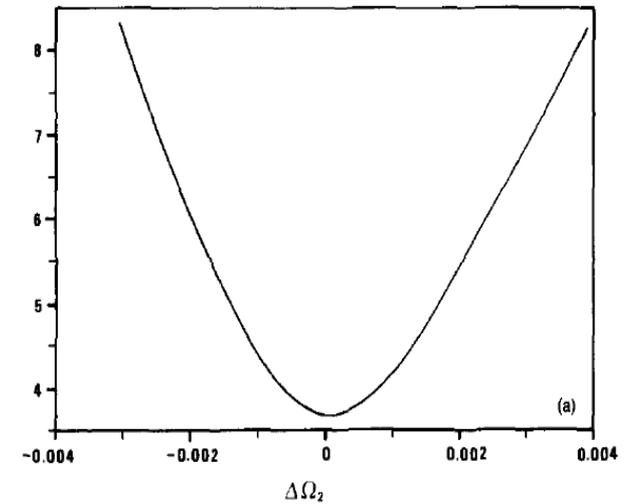
$$\mu = 1.284,$$

$$\beta_1 = -1.027 \times 10^{-4} \text{ rad} = -21.2'',$$

$$\beta_2 = -2.588 \times 10^{-4} \text{ rad} = -53.4'',$$

$$\beta_3 = -2.958 \times 10^{-3} \text{ rad} = -610'',$$

$$\beta_4 = 3.482 \times 10^{-4} \text{ rad} = 71.8'',$$



En realidad Adams solo calculó la longitud media y no todos los elementos orbitales como si hizo Le Verrier.

Para la realización de sus cálculos, Le Verrier ya había propuesto en un artículo de 1840 (*Mathem. Pures et Appliquées*), un algoritmo para calcular el polinomio característico de una matriz, que hoy día es conocido como el **Algoritmo de Faddeev-Leverrier** (por la mejora introducida por Dmitri Konstantinowitsch Faddeev (1907-1989))

Le calcul numérique dont il s'agit a été donné par Lagrange dans les Mémoires de l'Académie de Berlin pour l'année 1782, en partageant le système planétaire en deux autres, indépendants jusqu'à un certain point. En comparant les formules de cet illustre géomètre avec celles que nous obtiendrons dans la suite de ce travail, on reconnaîtra qu'elles ne donneraient pour Mercure, Vénus, la Terre et Mars que des résultats très inexacts, même après quelques siècles seulement, et plus tard complètement erronés; de sorte qu'il faut renoncer à leur emploi.

Con respecto a Adams, fue particularmente adepto a los cálculos numéricos finos, a menudo haciendo revisiones sustanciales a las contribuciones de sus antecesores en Mecánica Celeste.

Para la integración numérica de ecuaciones diferenciales, introdujo varios algoritmos (métodos lineales de varios pasos) que hoy día llevan los nombres de métodos de **Adams-Bashforth**, y de **Adams-Moulton** y son explicados aún en curso de Análisis Numérico.

[A. Quarteroni, R. Sacco y F. Saleri, *Matematica Numerica*, Springer Verlag, 2000.](#)

Por cierto: El método de Adams-Bashforth fue diseñado en 1883 propiamente por Adams (lo hizo para resolver una ecuación diferencial Bashforth (1819-1912) propuso sobre capilaridad).

4. Reconocimientos tras tan singular proeza científica

A diferencia del caso de Le Verrier, el reconocimiento de las investigaciones de Adams tardó algo más y de hecho lo hizo originando una una polémica entre Francia e Inglaterra.

Le Verrier publicó, en 1846 sus dos trabajos, mientras que la predicción de Adams todavía era conocida solo por Challis y Airy.

Extrañamente, Airy escribió a Le Verrier pidiendo más detalles, como había hecho antes a Adams, pero no le mencionó la predicción de Adams. Le Verrier si le contestó, de manera inmediata.

Esto obligó a Airy a abandonar su papel tan pasivo ante los manuscritos de Adams.

Tras la carta de Airy, en Junio de 1846, a un colega suyo, lo comunicó a la Royal Astronomical Society

Carta a la prensa de J. F. W. Herschel (25 de octubre de 1846):

Lloro por la pérdida para Inglaterra y para Cambridge de un descubrimiento que debería ser para nosotros pero ya he dicho lo suficiente como para que me odien en Francia y no quiero contar más para que no me odien también en Inglaterra "

Se organizó una sesión específica el 14 de noviembre de 1846, donde Adams presentó oficialmente una memoria con sus investigaciones.

No había ni una frase de queja, amargura o arrepentimiento por su parte, y sí un párrafo muy generoso en el que concede toda la gloria a Le Verrier.

En el anuncio del descubrimiento, Herschel y Challis señalaron que Adams ya había calculado las características y posición del planeta y Airy, publicó un relato detallando las circunstancias sobre los manuscritos de Adams.



J. F. W. Herschel
(1792-1881)

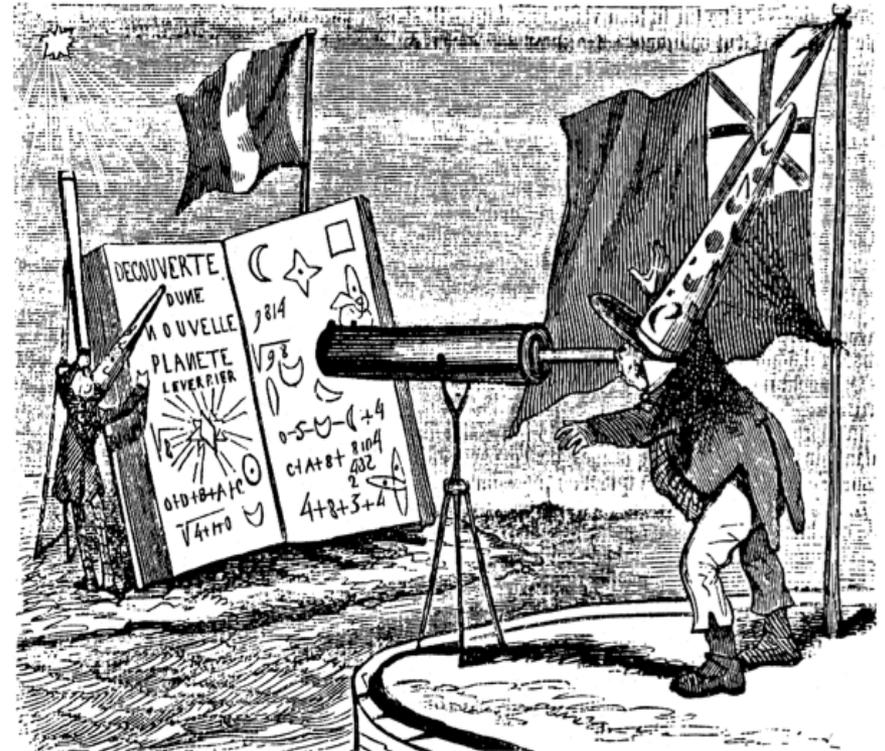
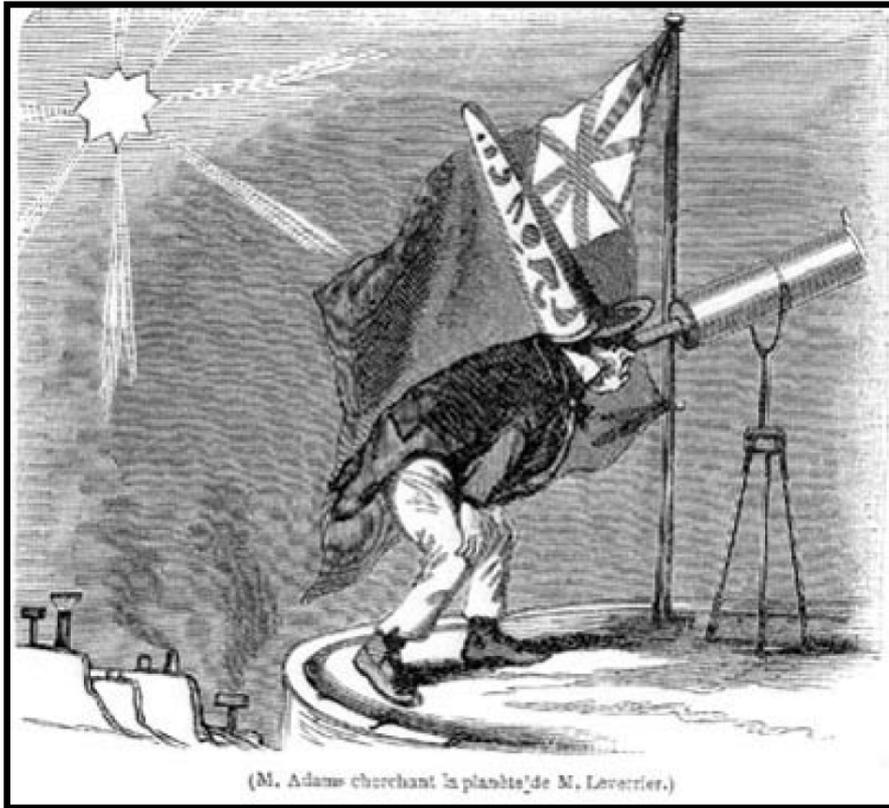
- Una controversia aguda surgió en Francia e Inglaterra en cuanto a los méritos de los dos astrónomos.
- Hubo muchas críticas a Airy en Inglaterra.
- En Francia las afirmaciones hechas por un inglés desconocido se resintieron de forma que menoscababan el crédito debido al logro de Le Verrier.
- La Royal Society otorgó a Le Verrier la medalla Copley en 1846 por sus logros, sin mención de Adams, pero la reputación académica de Adams en Cambridge estaba asegurada.
- El propio Adams reconoció públicamente la prioridad y el crédito de Le Verrier (sin olvidar mencionar el papel de Galle) en el documento, que ha dado a la Royal Astronomical Society en noviembre de 1846:

Menciono estas fechas sólo para demostrar que llegué a mis resultados de forma independiente, y con anterioridad a la publicación de Le Verrier, y no con la intención de interferir en su justo reconocimiento del descubrimiento; porque no hay duda de que sus investigaciones fueron publicadas primero en el mundo, y llevaron al descubrimiento real del planeta por el Dr. Galle, por lo que los hechos mencionados anteriormente no pueden restar, en lo más mínimo, el crédito debido a M. Le Verrier



Aragó hizo una defensa pública de la paternidad del descubrimiento por Le Verrier en la Academia de Ciencias de Paris.

Repercusión en la prensa de ambos países



M. Adams discovering the planet in the report of M. Le Verrier!

El reconocimiento de un nombre comúnmente aceptado al nuevo planeta de 1846 fue también controvertido:

- El 25 de Septiembre Galle propuso “Janus”, dios romano del principio y del pasaje.
- El 28 de Septiembre propone "Neptuno" y lo distribuyó a la prensa junto con el anuncio del descubrimiento.
- De hecho, escribió a Galle, afirmando de que el Bureau des Longitudes lo había aprobado así (cosa que no fue cierta hasta verano 1847).
- El 17 de noviembre de 1846, en la reunión citada de la Royal Society, Challis y Adams propusieron “Oceanus”.
- 19 de octubre 1846 Arago propone denominar al planeta “Le Verrier” (pues a Urano también se le conocía como “planeta Herschel”). De hecho, Le Verrier adopta este nombre (descuidando su propia elección).
- En enero de 1847 (y también en mayo de 1847) John Herschel propone Demogorgon o Minerva o Hyperion.
- La mayoría de los astrónomos continentales se van decantando por “Neptuno” y de hecho así lo hace Airy el 28 de febrero de 1847.
- Finalmente, en el verano de 1847, el Bureau des Longitudes adopta oficialmente “Neptuno”.

Neptuno: hijo de los dioses Saturno y Ops, hermano de Júpiter y Plutón. Governa todas las aguas y mares y cabalga las olas sobre caballos blancos. Todos los habitantes de las aguas deben obedecerlo y se le conoce como Poseidón en la mitología griega.



¿Cómo reaccionaron entre ellos Le Verrier y Adam,?

Dos caracteres radicalmente distintos:

Adams:

Nunca se jactó de sus logros y, de hecho, rechazó el título de Sir que se le ofreció en 1847.

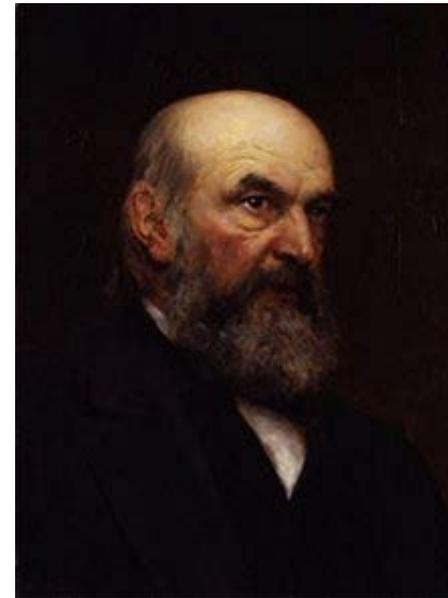
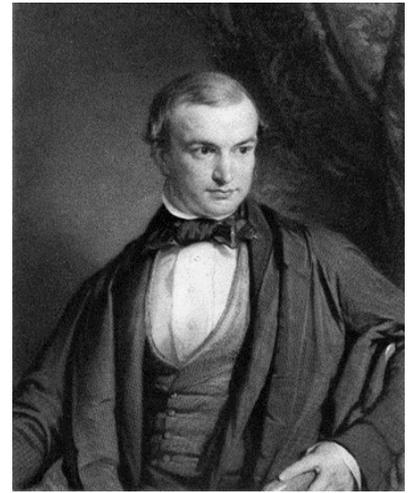
Sin embargo, sí aceptó títulos honoríficos de Oxford, Dublín, Edimburgo y Bolonia. Fue elegido para la Royal Society, la Academia de San Petersburgo y la Academia de Ciencias de Paris

Adams conoció personalmente a Le Verrier en Oxford en junio de 1847.

En 1868 Le Verrier recibió la Medalla de Oro de la Royal Astronomical Society por sus teorías de Mercurio, Venus, la Tierra y Marte.

Adams, como presidente de la Royal Astronomical Society , dio el discurso cuando Le Verrier recibió la Medalla de Oro **nuevamente en 1876** por sus teorías de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Sin embargo, en esta ocasión, Le Verrier estaba enfermo y no pudo asistir en persona.

A su fallecimiento en 1892, Adams, fue catalogado, en los homenajes que recibió, entre las mentes matemáticas inglesas más imaginativas y poseedor del mayor poder de cálculo desde Newton.



John Couch Adams
(1819 -1892)

Le Verrier, famoso por su mal humor y su exigencia fuera de todo límite (suicidios durante su etapa como Director del Observatorio de Paris)



Astrophysics and Space Science Library 397

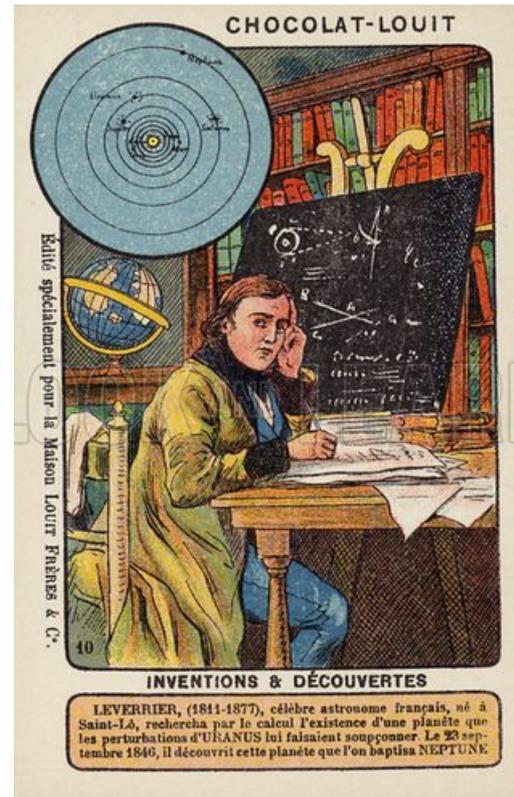
James Lequeux

Le Verrier— Magnificent and Detestable Astronomer

AS
SL

2013

 Springer



Urbain Le Verrier
(1811-1877)

**REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES**

DISCURSO INAUGURAL

DEL AÑO ACADÉMICO 2009-2010

LEÍDO EN LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 28 DE OCTUBRE DE 2009

POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

EXCMO SR. D. JESÚS ILDEFONSO DÍAZ DÍAZ

SOBRE EL TEMA

**OBSERVACIÓN Y CÁLCULO: LOS COMIENZOS
DE LA REAL ACADEMIA DE CIENCIAS Y SUS
PRIMEROS CORRESPONDIENTES EXTRANJEROS**



MADRID
DOMICILIO DE LA ACADEMIA
VALVERDE, 22 - TELÉFONO 917 014 230
2009



Colección de cartas de los Académicos
Correspondientes Extranjeros
encontrada el 29 de julio de 2009

Le Verrier y Airy visitaron España,
capitaneando las expediciones de sus
respectivos países, con motivo del Eclipse
de Sol de 1860.

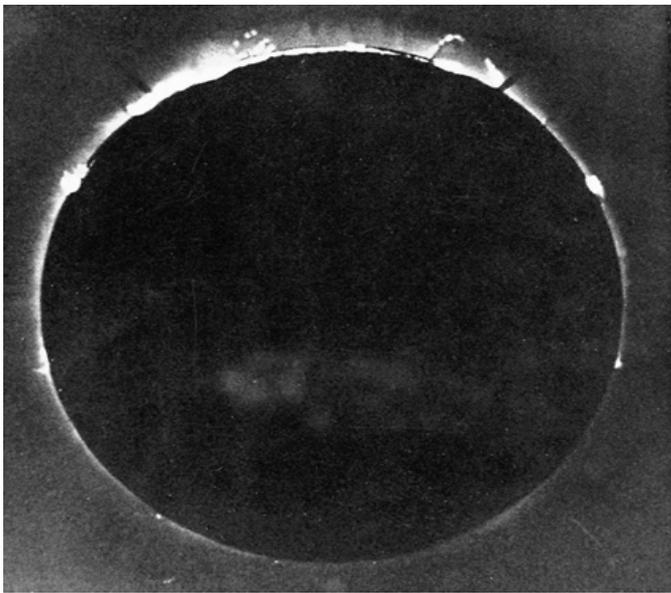
Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fis.Nat. (Esp)

Vol. 107, Nº. 1-2, pp 9-42, 2014 XVI

Programa de Promoción de la Cultura Científica y Tecnológica

**LA PRIMERA FOTOGRAFÍA DE LAS PROTUBERANCIAS SOLARES
FUE HECHA EN ESPAÑA. EL ECLIPSE DE SOL DE 1860 Y LA REAL
ACADEMIA DE CIENCIAS**

J.I. DIAZ



Photographs of the Solar Eclipse of 18 July, 1860
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,
Vol. 21, (1861) p. 177



Expedition to Observe Solar Eclipse, 1860



1860 expedition to observe a solar eclipse at Rivabellosa, Spain, which the group tried to photograph.



Muchas gracias