

Capítulo 7

MODELO DE MCG+00-12-73

El primer modelo se aplicó a MCG+00-12-73 con el propósito principal, como dijimos anteriormente, de investigar la evolución y las condiciones para la supervivencia (o no) de la galaxia capturada o mejor dicho el remanente de la misma, que a su vez es el candidato a constituir el núcleo secundario. Algunos de los parámetros del modelo, tales como las masas, dimensiones y longitudes de escala, son tomados a partir de los resultados del estudio observacional. Otros tales como orientación de la órbita relativa son más inciertos y se ensayaron varias condiciones iniciales plausibles.

7.0.1. Modelos de distribución de masa.

Para la galaxia huésped se adoptó el modelo de Dehnen (6.3) para el bulbo y el de Miyamoto-Nagai (6.6) para el disco. Si bien en principio se propuso un modelo de Plummer (6.14) para representar en general a las galaxias satélites, vimos en el capítulo 2 que en el caso de este objeto la representación mediante un modelo de Dehnen es también satisfactoria. Más aún, tiene una componente disco también. De cualquier manera, conservamos el modelo de Plummer (como componente única) para el modelo, básicamente por las razones expuestas en la conclusión de la parte I.

Los parámetros de los modelos se muestran en la tabla 7.1.

Tab. 7.1: Parámetros del modelo (a) para MCG+00-12-73.

Parámetro	A : modelo D + MN	B : modelo de Plummer
$\mathfrak{M}_{bulbo} (\mathfrak{M}_{\odot})$	$0,27 \times 10^{11}$	5×10^9
a_{bulbo} (kpc)	0,85	0,3
$\mathfrak{M}_{disco} (\mathfrak{M}_{\odot})$	$1,26 \times 10^{11}$...
a_{disco} (kpc)	8,55	...
b_{disco} (kpc)	0,25	...

7.0.2. Condiciones iniciales.

Según se vio en el capítulo 2, la separación proyectada es de unos 11 kpc y la diferencia de velocidades radiales es $\Delta VR = 140 \text{ km s}^{-1}$. También se concluyó que el escenario más probable es el de una órbita inclinada respecto del plano del disco principal, en actitud de acercamiento hacia el mismo en sentido retrógrado. Con estos elementos, se ensayó en primer lugar una órbita retrógrada con 30° de inclinación. De esta manera, los vectores posición y velocidad de la satélite son $\mathbf{x}_0 = (11, 0, -11)$

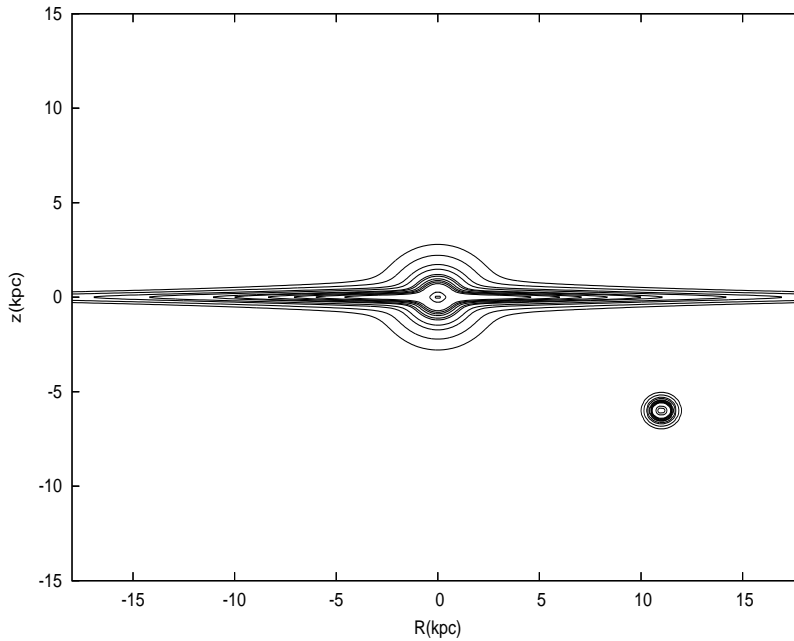


Fig. 7.1: Curvas de isodensidad para las distribuciones de masa iniciales de MCG+00-12-73, Los contornos corresponden a los valores de 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.5, 6 y $15 \mathcal{M}_{\odot} \text{pc}^{-3}$.

kpc y $\mathbf{v}_0 = (0, -140, 100) \text{ km s}^{-1}$. Se consideró además, por las razones expuestas en las conclusiones de la parte I, sólo el bulbo de la galaxia satélite para el estudio de la evolución dinámica del par.

7.0.3. Resultados.

La figura 7.1 muestra los contornos de isodensidades para la configuración inicial.

El resultado del primer ensayo se muestra en la figura 7.2. La órbita de la satélite decae al centro al cabo de $t \sim 5,4 \times 10^{10}$ años (fig. 7.3) conservando el 60 % de su masa inicial –la satélite es muy concentrada por lo que llega al centro sin ser destruida, análogamente al caso estudiado por Walker et al. (1996). La pérdida de masa (fig. 7.4) está dirigida por la acción de las fuerzas de marea (fig. 7.5).

La evolución del perfil de brillo superficial se muestra en la figura 7.6, para distintos instantes de tiempo. Como puede verse, las capas más exteriores son arrancadas en la interacción gravitatoria, en este caso al principio domina el mecanismo de truncamiento por fuerzas de marea; esto último puede apreciarse comparando los valores de los radios límite de marea y de shock (fig. 7.5). La apariencia varía poco durante la mayor parte de la interacción, sólo hacia el final se produce una reducción más importante del radio de marea y un aumento de la concentración. El brillo superficial central se mantiene prácticamente invariante. El remanente es en consecuencia un objeto muy compacto, y con un brillo superficial alto, lo que es característico de una estructura compatible con un núcleo.

A partir entonces del estudio con el modelo (a) de la evolución dinámica de la galaxia capturada obtuvimos como resultado, que:

- El núcleo de la satélite sobrevive casi inalterado al menos durante 1×10^9 años.
- Este remanente tiene una masa de $3 \times 10^9 \mathcal{M}_{\odot}$, estructura compacta ($c < 0$) y brillo superficial alto

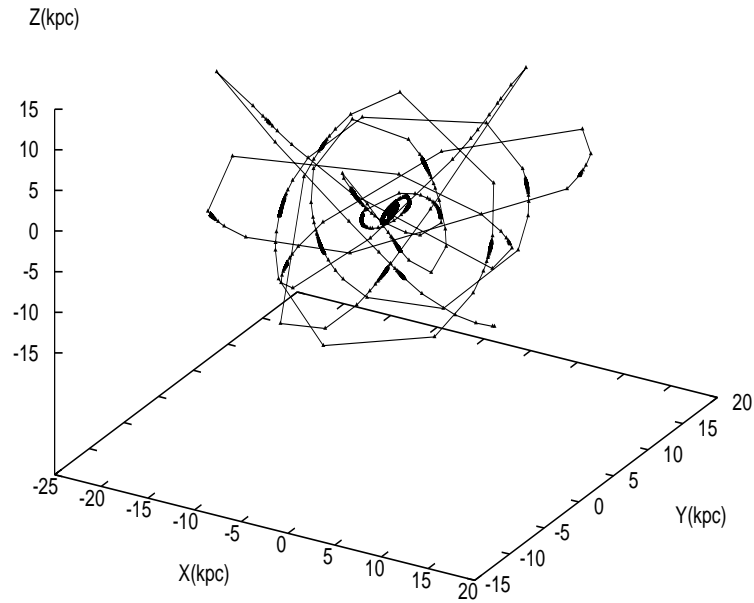


Fig. 7.2: Órbita en 3D para el modelo a) de MCG+00-12-73.

Puede concluirse entonces, que este objeto es un firme candidato a generar un núcleo doble genuino y detectable como tal. Si bien hemos adoptado para el modelo un conjunto particular de condiciones iniciales, éstas fueron inferidas a partir de las observaciones. Otras condiciones iniciales diferentes pero todavía compatibles con las observaciones, si bien originan una historia evolutiva inicial diferente, el resultado final es similar. Si por ejemplo se consideran condiciones iniciales muy diferentes, tales como una órbita circular sobre el disco, el núcleo secundario cae hacia el centro (la figura 6.14 del capítulo anterior corresponde a este modelo) al cabo de $t = 3,6 \times 10^9$ años.

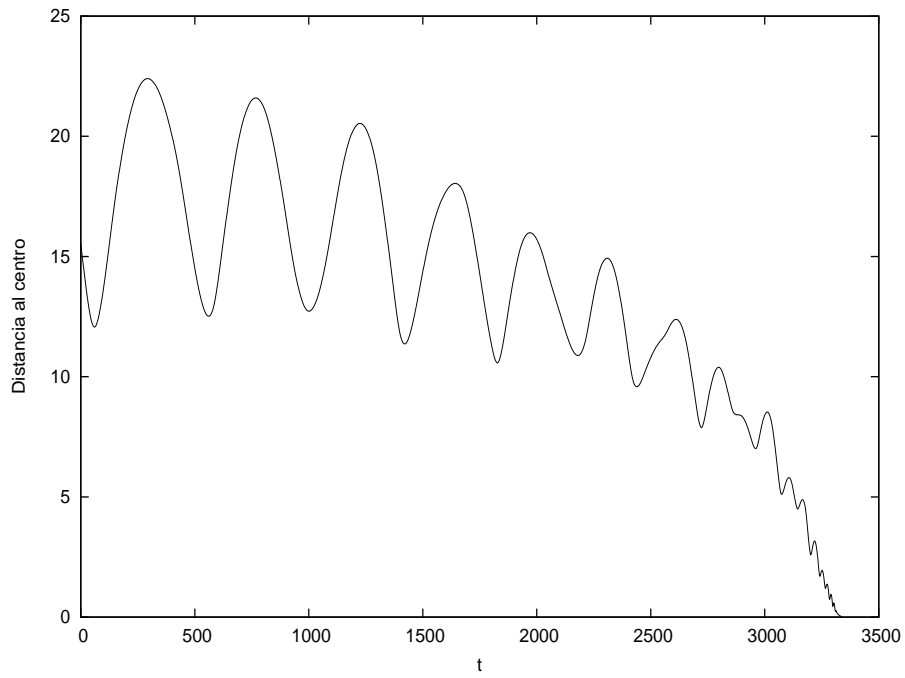


Fig. 7.3: Distancia al centro vs. tiempo de la satélite.

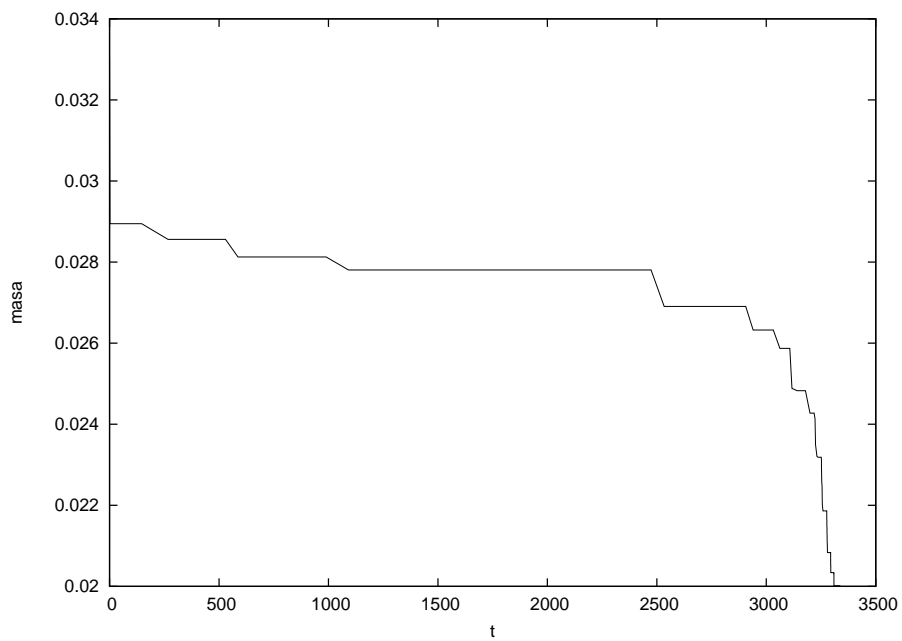


Fig. 7.4: Masa vs. tiempo.

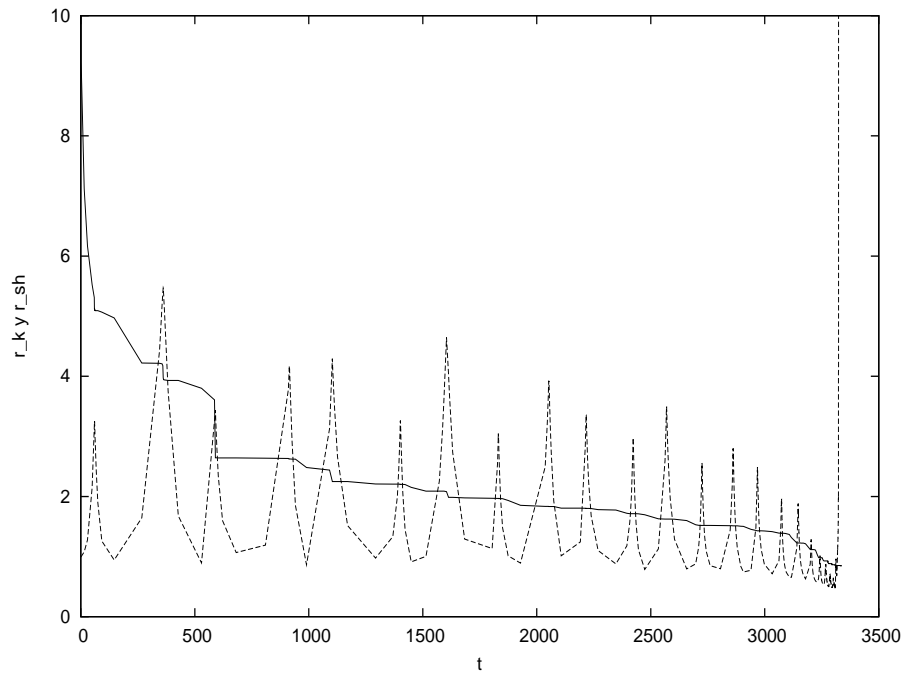


Fig. 7.5: Valores de los radios de marea (línea de trazos) y de shock (línea continua) en función del tiempo.

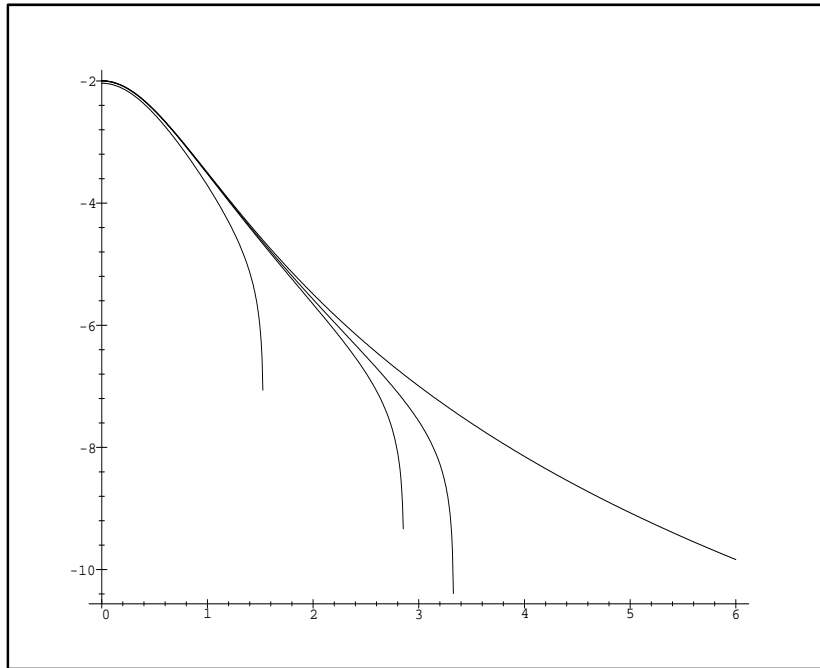


Fig. 7.6: Evolución del radio límite r_t y del brillo superficial de la satélite. De derecha a izquierda, para:

- (sin truncar)
- $t_{inicial} \Rightarrow r_t = 1,0$ kpc
- $t \approx 1,7 \times 10^9$ años $\Rightarrow r_t = 0,86$ kpc
- $t \approx 5,4 \times 10^9$ años $\Rightarrow r_t = 0,48$ kpc

Capítulo 8

MODELO DE MCG-3-35-14

La conclusión a la que se llegó en parte I respecto de este objeto fue que el núcleo secundario es una región HII gigante recientemente formada. Es instructivo no obstante, considerar el caso (que no es éste) de que se tratara de una estructura autogravitante con simetría esférica, susceptible de convertirse eventualmente en un núcleo secundario. Se analiza entonces este caso, en el que se ‘reemplaza’ la región HII por una esfera de Plummer en la misma ubicación.

8.0.4. Modelo “a”.

Condiciones iniciales.

Para la galaxia huésped se adoptó el modelo de Dehnen (6.3) para el bulbo y el de Miyamoto-Nagai (6.6) para el disco, y el modelo de Plummer utilizado en la parte I para N2. Como se vio entonces, este último participa de la rotación del disco, y se encuentra sobre uno de los brazos espirales. Por lo tanto las condiciones iniciales adoptadas resultan ser la más simples para este tipo de modelo, es decir, satélite capturado sobre el disco, con velocidad igual a la correspondiente velocidad circular: $\mathbf{x}_0=(7,0,0)$ kpc y $\mathbf{v}_0=(0,130,0)$ km s⁻¹.

Los parámetros de los modelos se muestran en la tabla 8.1.

Tab. 8.1: Parámetros del modelo “a” para MCG-3-35-14.

Parámetro	A : modelo D + MN	B : modelo de Plummer
\mathfrak{M}_{bulbo} (\mathfrak{M}_\odot)	$0,06 \times 10^{11}$	$4,1 \times 10^6$
a_{bulbo} (kpc)	1,2	0,35
\mathfrak{M}_{disco} (\mathfrak{M}_\odot)	$0,9 \times 10^{11}$...
a_{disco} (kpc)	7,6	...
b_{disco} (kpc)	0,5	...

Resultados.

Se integró la órbita de N2 hasta $t = 30000 \approx 4 \times 10^{10}$ años. Las figuras 8.1 y 8.2 muestran la órbita y la evolución temporal de la distancia de N2 al centro respectivamente. Como podía anticiparse, la órbita no decae, manteniéndose el satélite a una distancia constante en una órbita prácticamente circular. Esto ocurre así porque la masa de N2 es lo suficientemente pequeña como para que, a esa distancia, la fricción dinámica resulte negligible. Asimismo la estructura de N2 no se ve gravemente

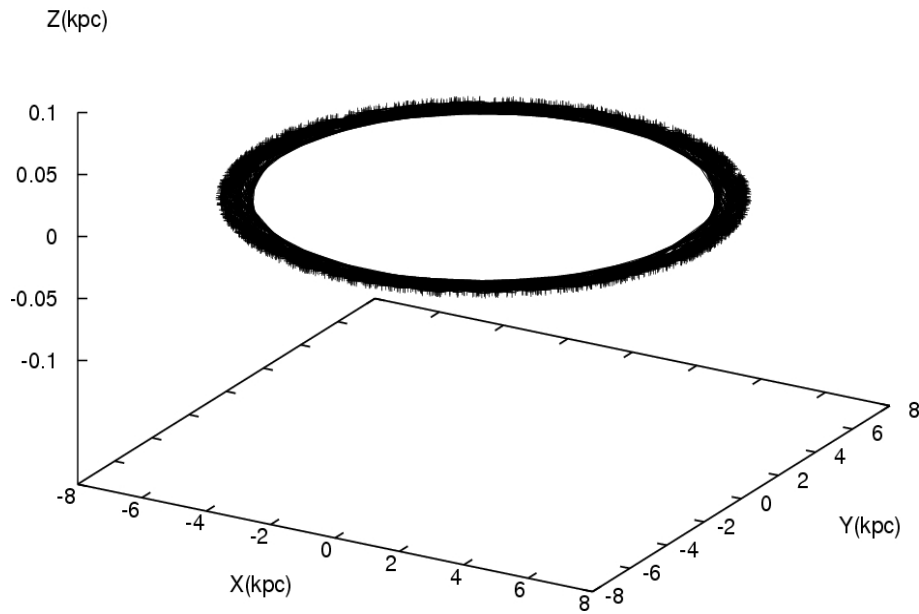


Fig. 8.1: Órbita en 3D para el modelo a) de MCG-3-35-14.

afectada, más allá de un leve truncamiento inicial. La figura 8.3 muestra los perfiles inicial y final de brillo superficial.

8.0.5. Otros modelos.

El modelo presentado anteriormente corresponde a las condiciones iniciales más plausibles para el objeto real, y como vimos la órbita no decae y no llega a formarse un núcleo doble. Para investigar bajo qué condiciones sí podría formarse tal estructura, se ensayaron otros conjuntos de condiciones iniciales, diferentes a las sugeridas por los resultados observacionales. En primer lugar se variaron la velocidad y la posición iniciales de la satélite, considerando órbitas progresivamente más radiales. En todos los casos, el resultado fue una órbita que no decae al cabo del lapso de tiempo considerado. Sólo aumentando la masa inicial de N2 drásticamente se logra una lenta caída al centro por fricción dinámica.

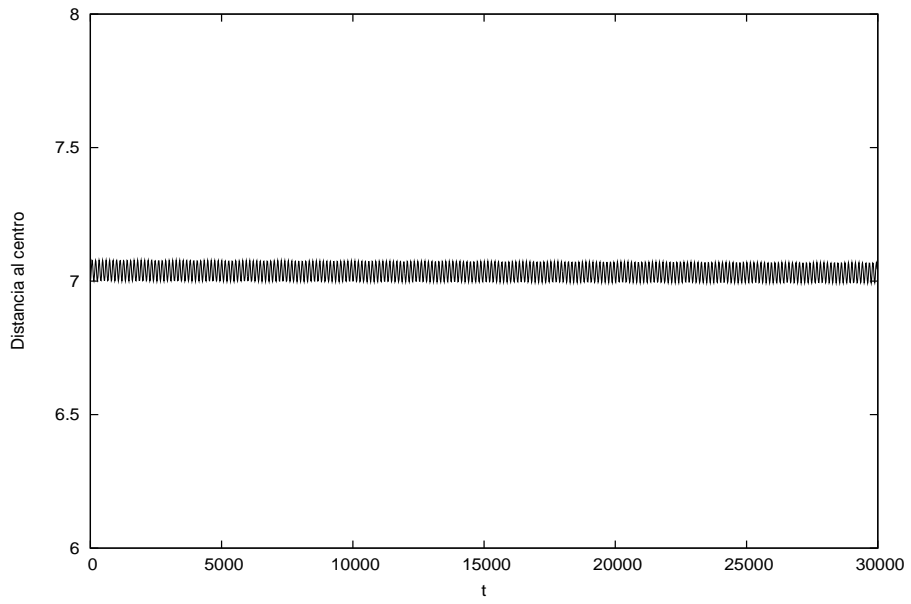


Fig. 8.2: Distancia al centro vs. tiempo de la satélite.

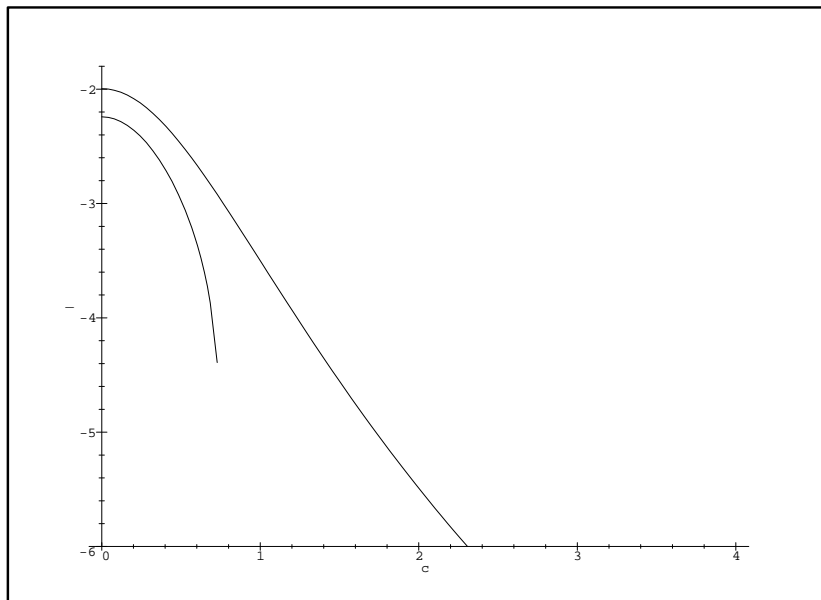


Fig. 8.3: Brillo superficial inicial y final de la N2.

Capítulo 9

MODELO DE ESO 234-G64

Este objeto tiene la apariencia típica de una captura de una galaxia compañera menor por una galaxia espiral, como vimos en el capítulo 2. Allí se concluyó que el núcleo secundario efectivamente poseía las características de tal.

9.0.6. Modelo “a”.

Condiciones iniciales.

Para la galaxia hospedera se adoptó el modelo de Dehnen (6.3) para el bulbo y el de Miyamoto-Nagai (6.6) para el disco, y el modelo de Plummer utilizado en la parte I para N2. La posición aparente de este último es cercana al núcleo principal. Esto bien puede deberse a un efecto de proyección, y N2 estar en realidad a una distancia más o menos considerable del plano del disco de la galaxia principal. Sin embargo, como se vio en el capítulo 2, hay indicios que sugieren la posibilidad de que N2 se encuentre, si no sobre el disco, cerca del mismo. El primer modelo adopta entonces como condiciones iniciales la posición actual de N2, asumiendo que está sobre el disco, en órbita directa: $\mathbf{x}_0=(6,0,0)$ kpc y $\mathbf{v}_0=(0,220,0)$ km s⁻¹.

Los parámetros de los modelos se muestran en la tabla 9.1.

Tab. 9.1: Parámetros del modelo “a” para ESO 234-G64.

Parámetro	A : modelo D + MN	B : modelo de Plummer
\mathcal{M}_{bulbo} (\mathcal{M}_\odot)	$0,2 \times 10^{11}$	$6,0 \times 10^9$
a_{bulbo} (kpc)	1,3	0,86
\mathcal{M}_{disco} (\mathcal{M}_\odot)	$3,0 \times 10^{11}$...
a_{disco} (kpc)	10,4	...
b_{disco} (kpc)	0,3	...

Resultados.

Como muestra la figuras 9.1 y 9.2, para este modelo la órbita decae por fricción dinámica monotónicamente, alcanzando la satélite el centro al cabo de $t = 15 \times 10^9$ años. La pérdida de masa (figura 9.3) es gradual y es provocada por truncamiento por fuerzas de marea, en este caso no hay efectos de shock de disco (ya que el objeto está sobre el mismo); sólo hay un evento de shock de bulbo hacia el final, cuando ambos núcleos se encuentran (figuras 9.4 y 9.5). Nótese que en este caso

el núcleo secundario no es destruido –al menos hasta alcanzar el centro, donde llega con el 60 % de la masa inicial y un radio de marea de 1.72 kpc (con lo que $r_t/b = 2$ y $c = 0,3$). La figura 9.6 muestra los perfiles inicial y final.

Este modelo predice entonces un estadio de núcleo doble, con una duración de más de 10^9 años a partir de las condiciones iniciales asumidas. En la subsección siguiente se considerará un modelo con órbita inclinada.

9.0.7. Modelo “b”.

Condiciones iniciales.

El segundo modelo explora la posibilidad de una órbita inclinada, donde es de esperar que los efectos de shock de disco sean importantes en la evolución de la satélite. Esta vez se ubicó la satélite elevada sobre el disco, y con componentes R y z no nulas para la velocidad inicial, en órbita directa: $\mathbf{x}_0=(6,0,1)$ kpc y $\mathbf{v}_0=(-120,120,-120)$ km s⁻¹.

Resultados.

La órbita se muestra en la figura 9.7. Comienza desde la posición inicial como una órbita elíptica e inclinada; luego de cruzar el plano del disco varias veces, se circulariza por acción de la fricción dinámica, hasta estacionarse en una órbita casi circular –de hecho con una ligera excentricidad– en $R \simeq 3$ kpc (figura 9.8).

Para entonces ha sufrido repetidos shocks de disco (figura 9.9), sin embargo la pérdida inicial de masa es consecuencia de las fuerzas de marea (figuras 9.10 y 9.11), hasta que llega a las proximidades del bulbo en $t \simeq 2 \times 10^9$ años, donde sufre una serie de shocks de mayor magnitud, el primero de los cuales provoca la pérdida de el 99 % de la masa. El remanente posee una masa de $5,6 \times 10^7 M_\odot$ y un radio límite de 190 pc (figura 9.13); así pues lo que queda es un objeto muy compacto y que se vería –observado bajo las mismas condiciones de seeing– como muestra la figura 9.14, con un brillo central más de dos magnitudes más débil que el actual. Esto impone severas condiciones para la detectabilidad del núcleo doble como tal, ya que para la distancia final al centro (3 kpc) y visto el brillo del núcleo principal, difícilmente podría notarse la presencia del remanente de N2. En definitiva, si se asume este modelo estaríamos viendo la etapa correspondiente a los últimos 10^9 años antes de ser prácticamente destruido.

9.0.8. Modelo “c”.

Condiciones iniciales.

A partir de los modelos anteriores, puede concluirse que la órbita sobre el plano favorece el escenario de un núcleo doble más duradero (y por lo tanto con mayores probabilidades de ser detectado estadísticamente hablando). El tercer modelo apunta más a dilucidar el pasado de N2 y cómo llegó a su condición actual, y evaluar la plausibilidad de que la circularización de la órbita sea más bien temprana; de ser así el estado actual sería más compatible con el modelo “a”. Para ello se asumió entonces una satélite original con masa total un orden de magnitud mayor que la masa actual estimada de N2, y una posición inicial más lejana. Se ensayaron una variedad de parámetros de escala, velocidades y posiciones iniciales. Se muestran los resultados para una órbita inicial casi radial de gran velocidad ($\mathbf{x}_0=(16,0,1)$ kpc y $\mathbf{v}_0=(-350,0,47)$ km s⁻¹).

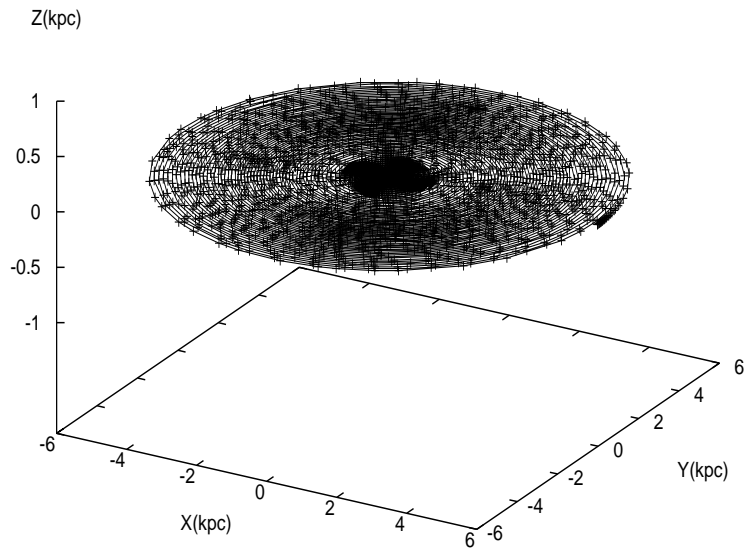


Fig. 9.1: Órbita en 3D para el modelo "a" de ESO 234-G64.

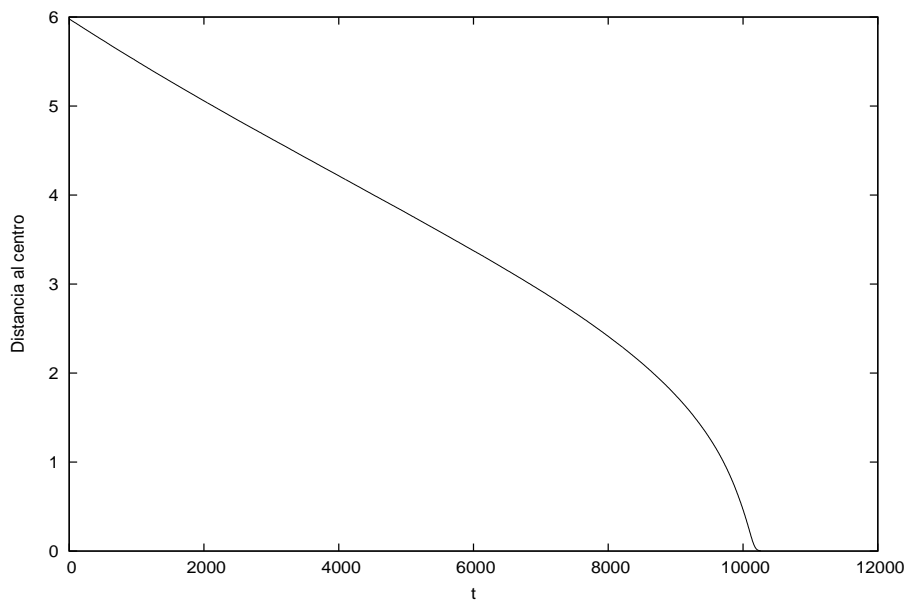


Fig. 9.2: Distancia al centro vs. tiempo de la satélite.

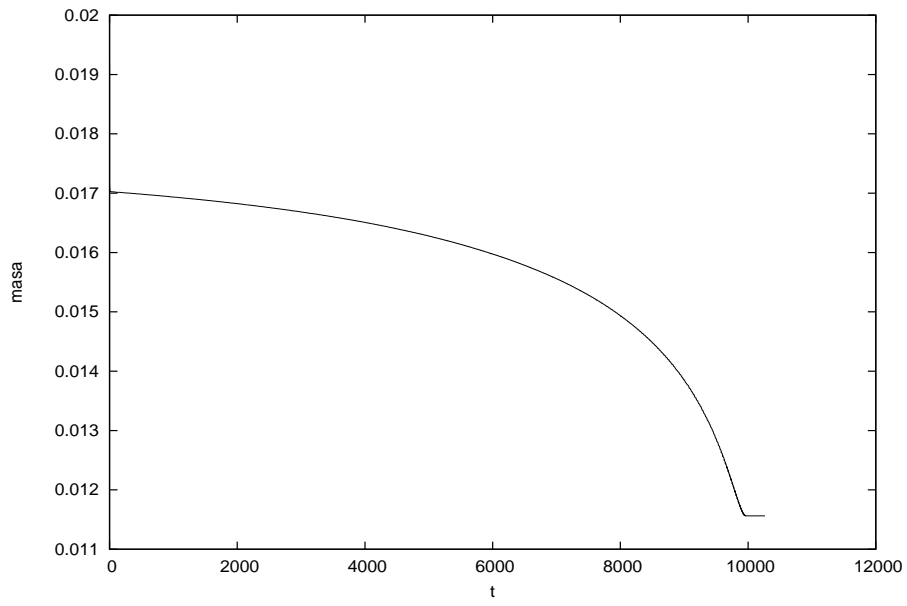


Fig. 9.3: Masa vs. tiempo de la satélite.

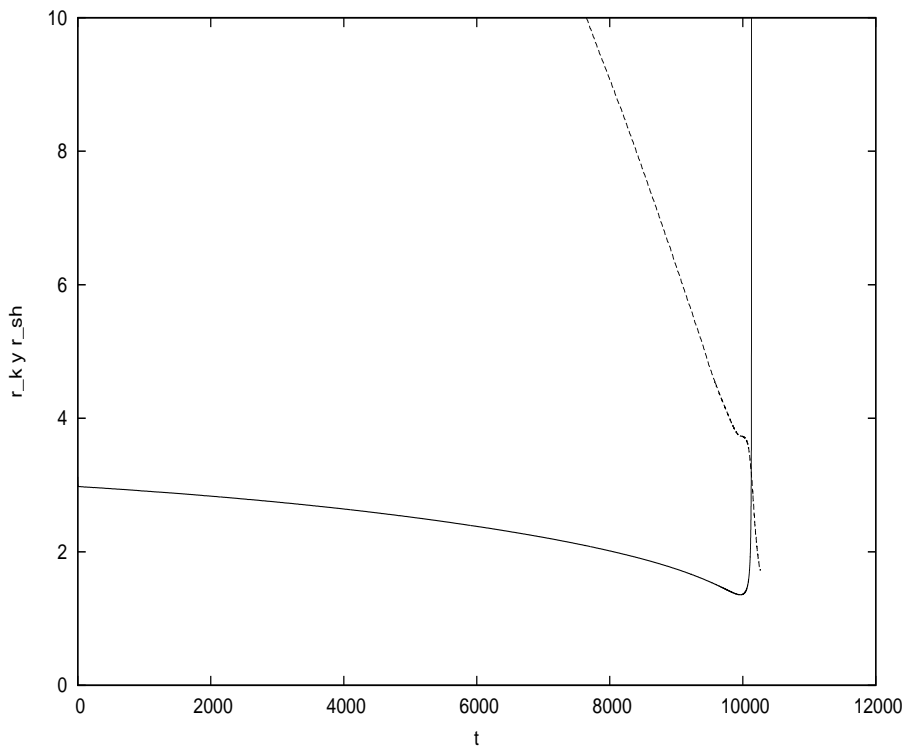


Fig. 9.4: Radios de marea y de shock para el modelo "a" de ESO 234-G64.

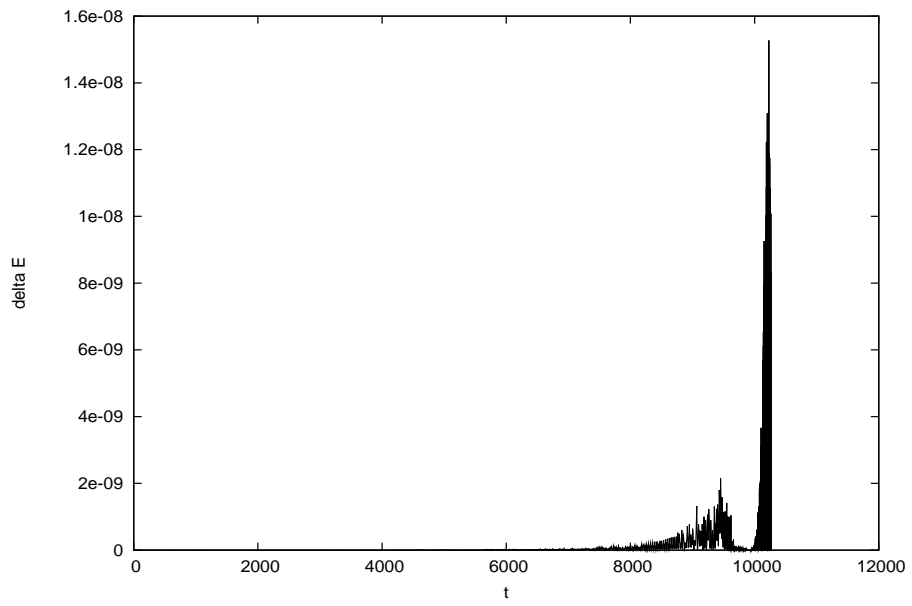


Fig. 9.5: Energía recibida por N2 por shocks gravitacionales en ESO 234-G64. El pico final corresponde al encuentro de los dos núcleos.

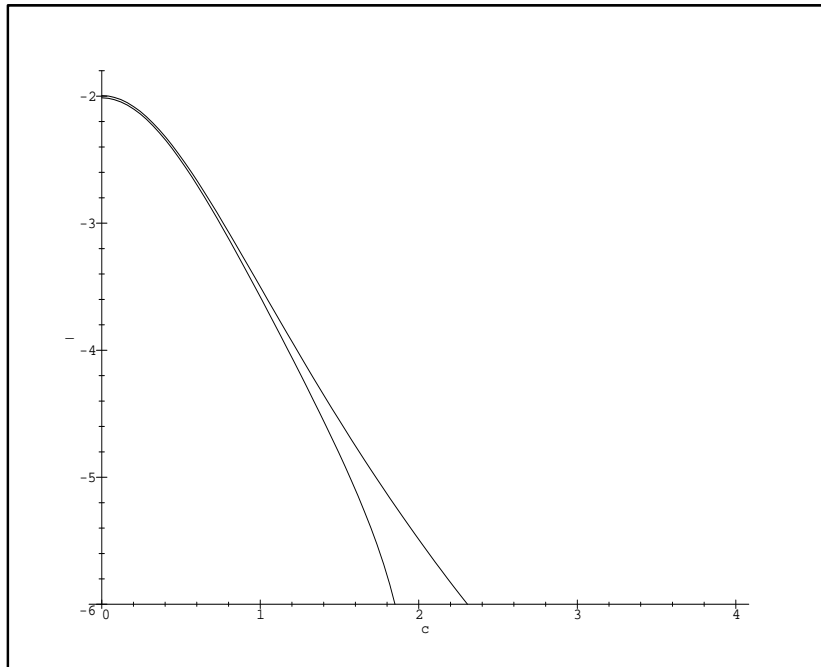


Fig. 9.6: Perfiles de brillo superficial inicial (izquierda) y final (derecha) de N2.

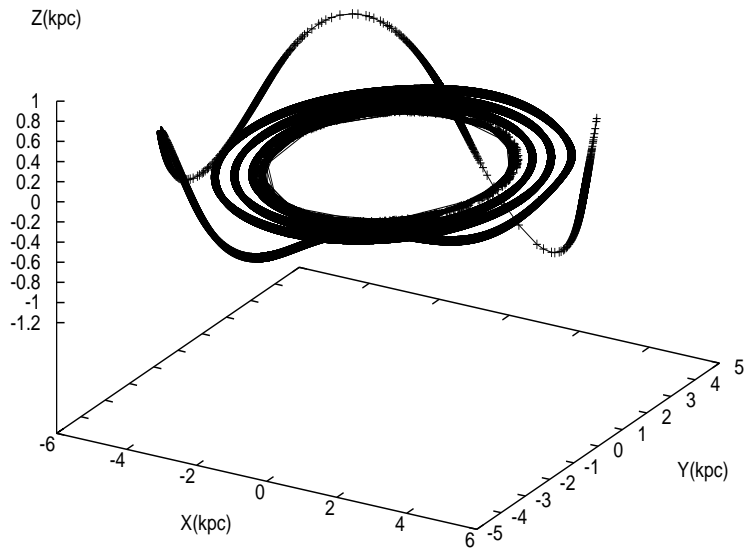


Fig. 9.7: Órbita en 3D para el modelo “b” de ESO 234-G64.

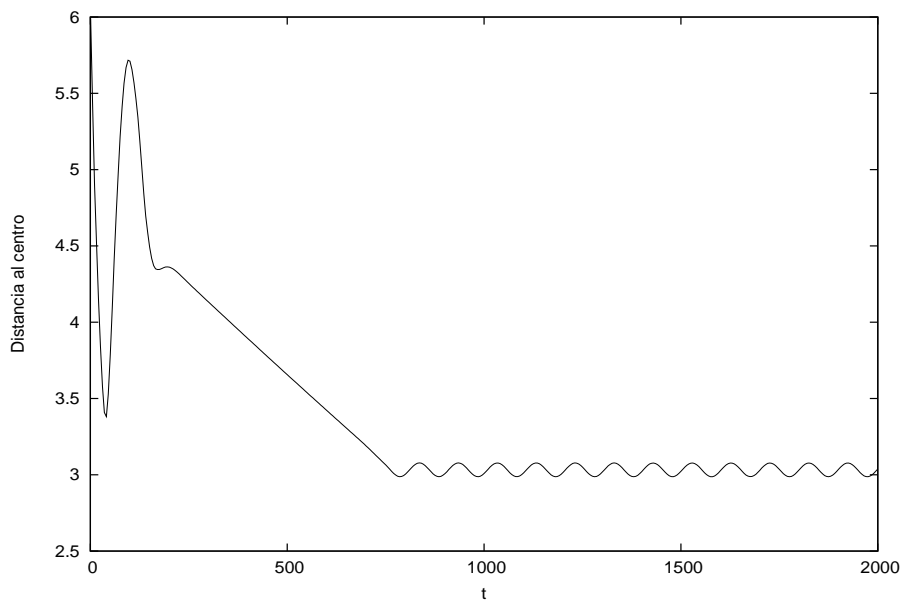


Fig. 9.8: Distancia al centro vs. tiempo de la satélite.

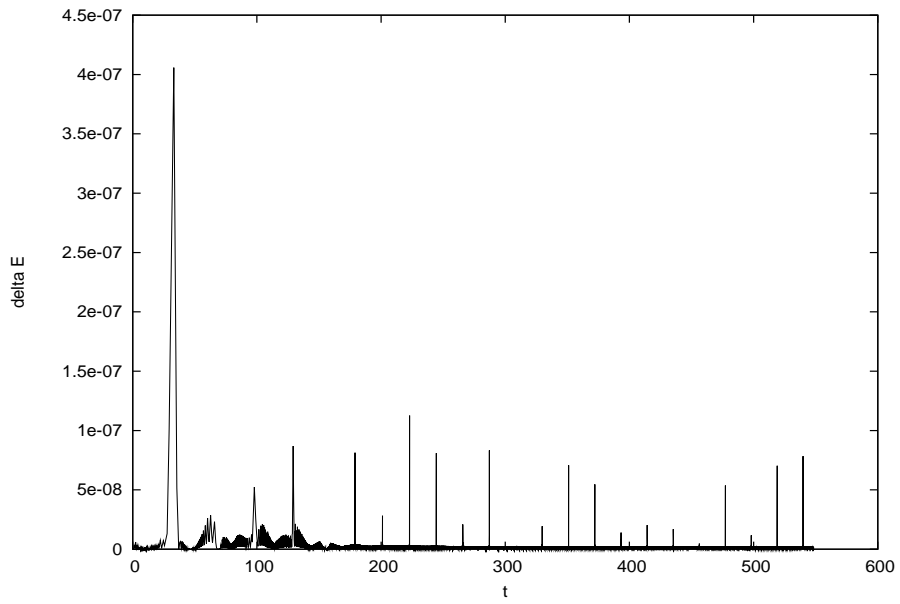


Fig. 9.9: Energía recibida por N2 por shocks de disco en ESO 234-G64, para el modelo “b”.

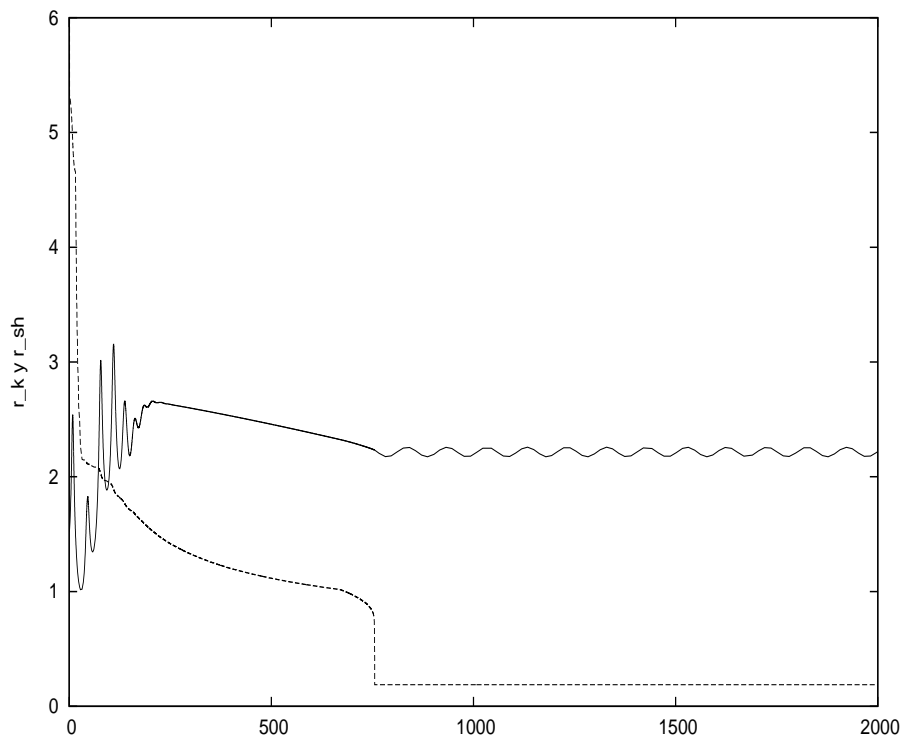


Fig. 9.10: Radios de marea y de shock para el modelo “b” de ESO 234-G64.

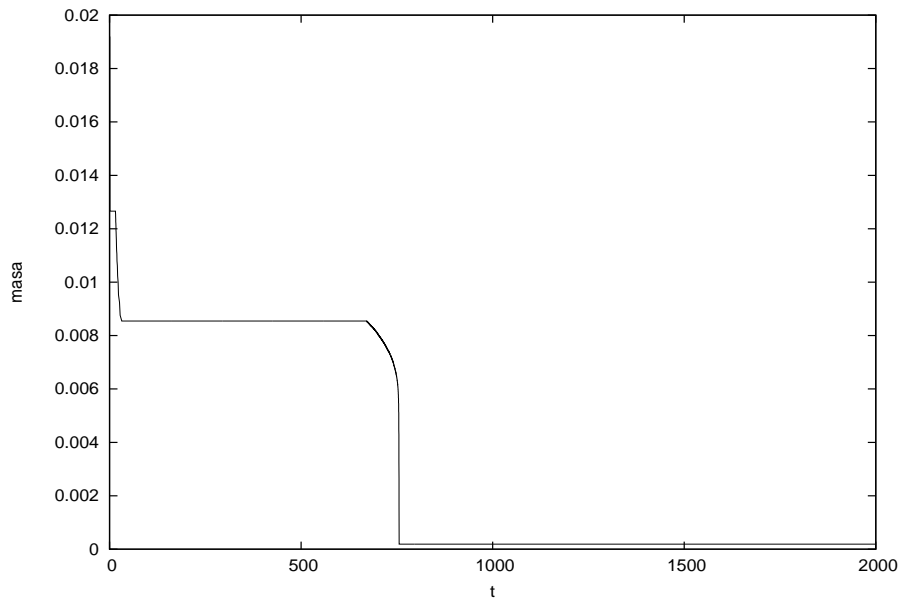


Fig. 9.11: Masa vs. tiempo de la satélite.

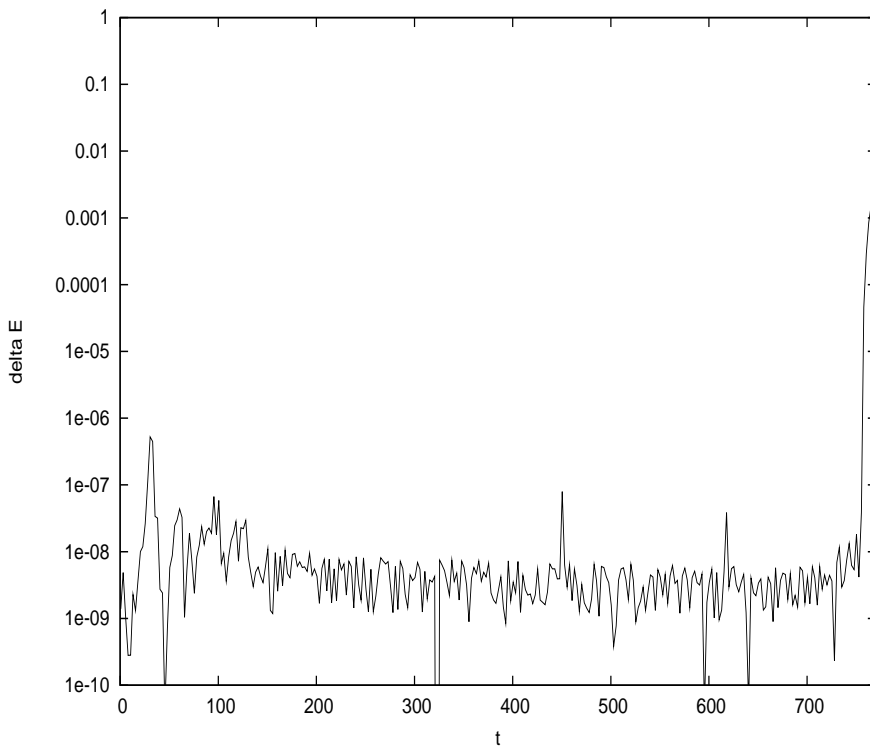


Fig. 9.12: Shocks (en escala logarítmica): nótese el shock de bulbo para $t \sim 750$.

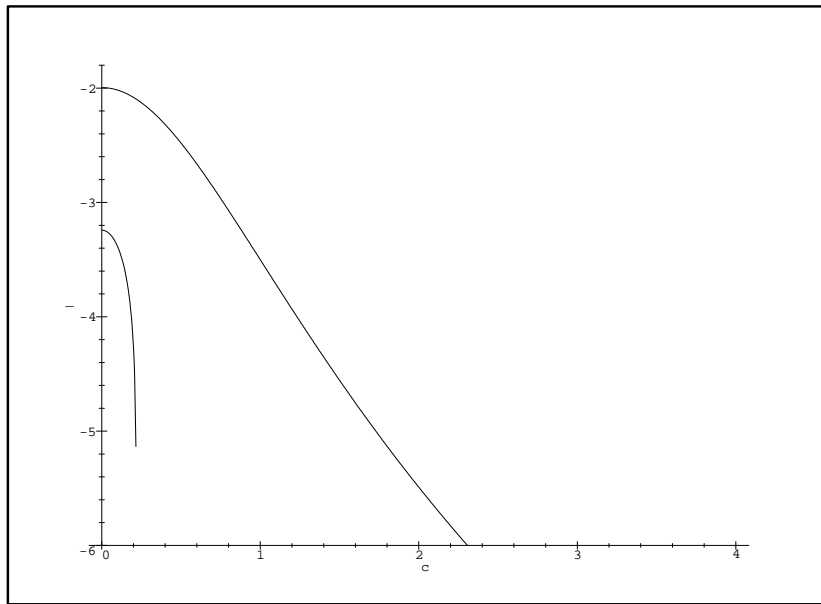


Fig. 9.13: Perfiles de brillo superficial inicial (derecha) y final (izquierda) de N2.

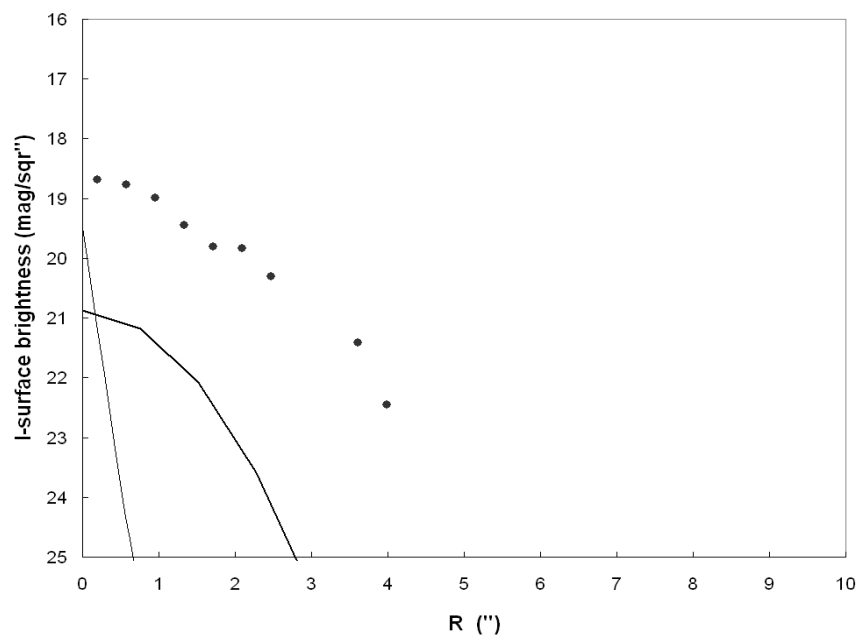


Fig. 9.14: Perfil de brillo del remanente de N2 para el modelo "b": intrínseco (línea ligera), convolucionado con el seeing (línea gruesa) y el observado (puntos)

Resultados.

La órbita se muestra en las figuras 9.15 y 9.16. Luego de varios pasajes a través del bulbo y del disco, la órbita se circulariza al cabo de $t \simeq 10 \times 10^9$ años, cerca de $R = 3$ kpc, para luego decaer lentamente por fricción dinámica (figura 9.17). No obstante, al ser el primer pasaje muy cerca del centro, la estructura de N2 queda prácticamente definida luego de éste (en $t \sim 1 \times 10^9$ años a partir de la posición inicial), con una masa de $6 \times 10^8 M_{\odot}$ y un radio límite de 360 pc (figura 9.18).

*9.0.9. Modelo “d”.**Condiciones iniciales.*

Este modelo, como el anterior, parte de una posición ‘pasada’ de la satélite, con el propósito de reproducir su condición actual. Esta vez los vectores posición y velocidad iniciales son $\mathbf{x}_0=(10,0,10)$ kpc y $\mathbf{v}_0=(0,175,-12)$ km s⁻¹, es decir, una órbita más típica para una galaxia satélite. Para la masa inicial se tomó $m_s = 2,5 \times 10^{10} M_{\odot}$ y $b_s = 860$ pc.

Resultados.

Como muestran las figuras 9.19 y 9.20, la órbita efectivamente se circulariza luego de algunos pasajes a través del disco (figura 9.21), luego de lo cual se produce la caída en espiral hacia el centro por fricción dinámica (figura 9.22). Un truncamiento de marea inicial y shocks de disco posteriores determinan el radio límite cuyo valor final es de unos 900 pc, con una masa ligada $9,3 \times 10^9 M_{\odot}$ –valor comparable al estimado de la observación. Las figuras 9.23 a 9.25 muestran, en función del tiempo, la masa ligada, los radios de marea y de shock, y los shocks que recibe la satélite, que en este caso son de disco. El perfil del remanente se muestra en la figura 9.24. Como puede verse, el brillo superficial central no disminuye considerablemente ($0.^m15$). Este modelo es por lo tanto el más plausible para este objeto: una captura de una compañera con relación de masa $\sim 1 : 10$

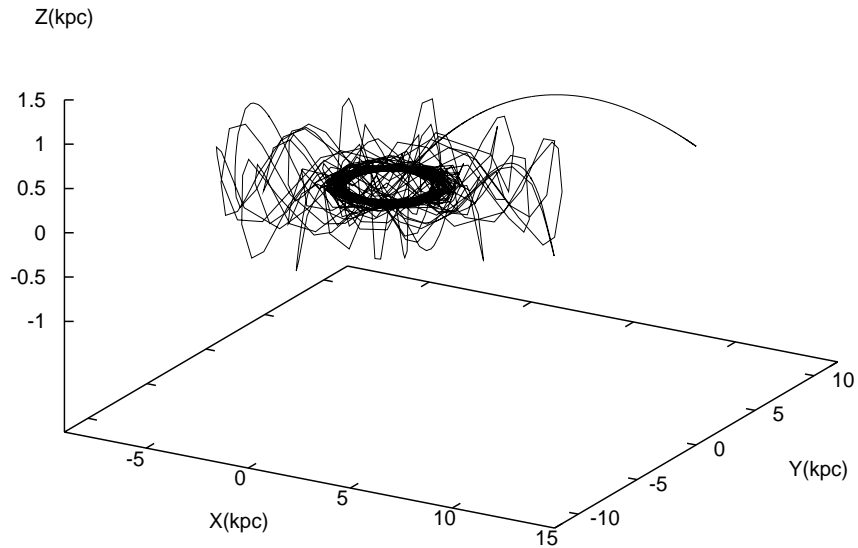


Fig. 9.15: Órbita en 3D para el modelo "c" de ESO 234-G64.

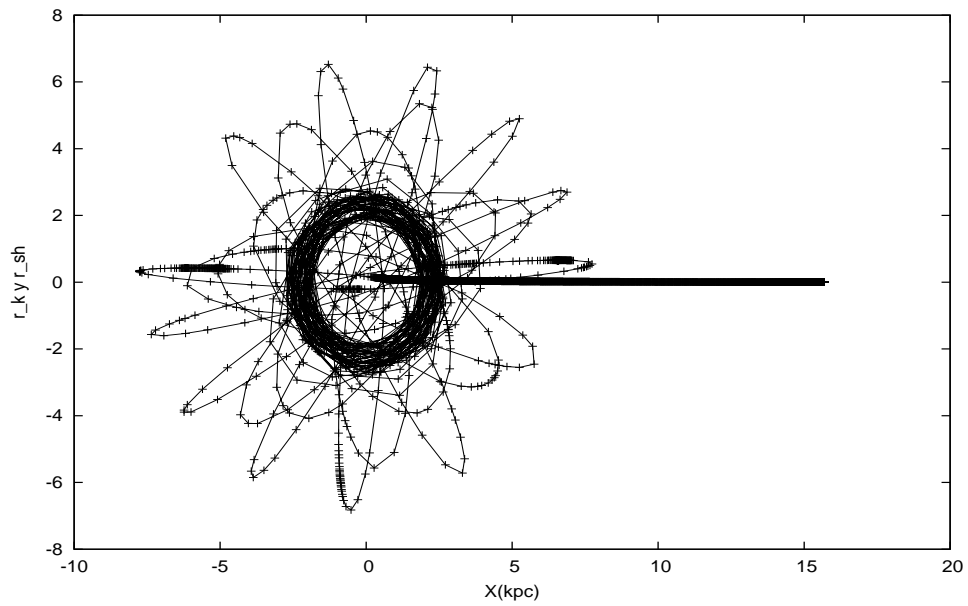


Fig. 9.16: Órbita en 2D para el modelo "c" de ESO 234-G64.

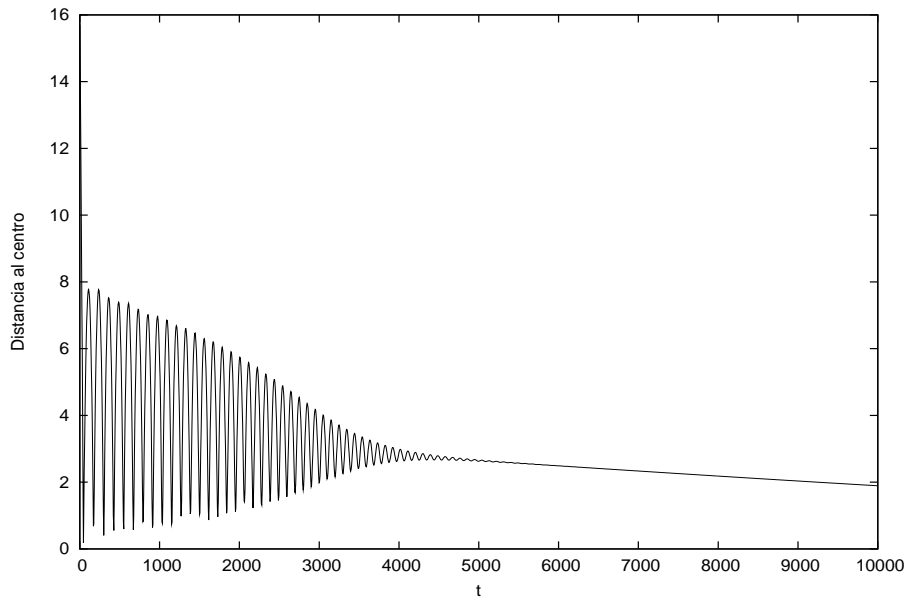


Fig. 9.17: Distancia al centro vs. tiempo de la satélite.

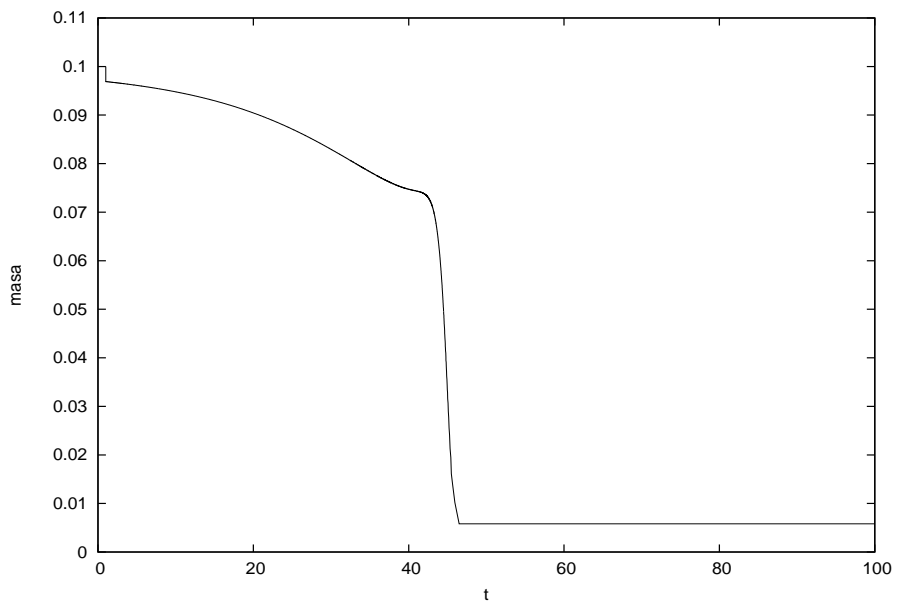


Fig. 9.18: Masa vs. tiempo de la satélite.

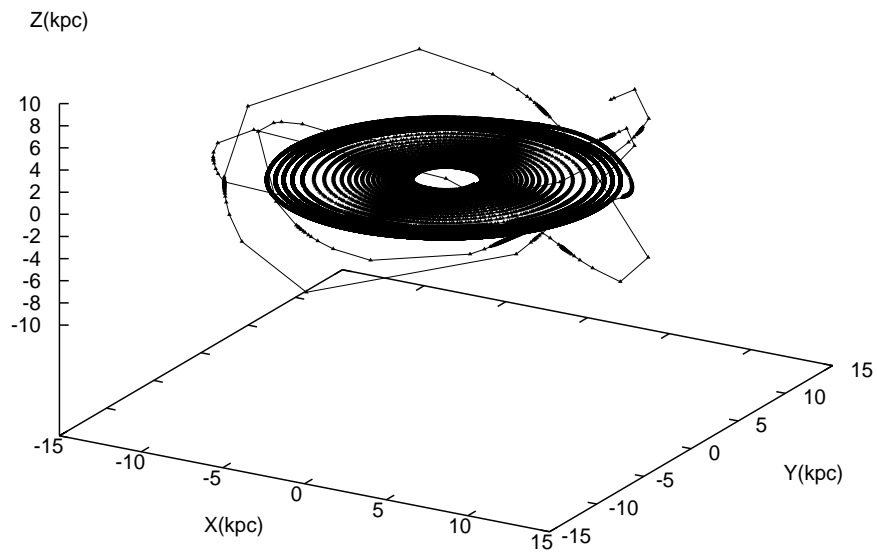


Fig. 9.19: Órbita en 3D para el modelo “d” de ESO 234-G64.

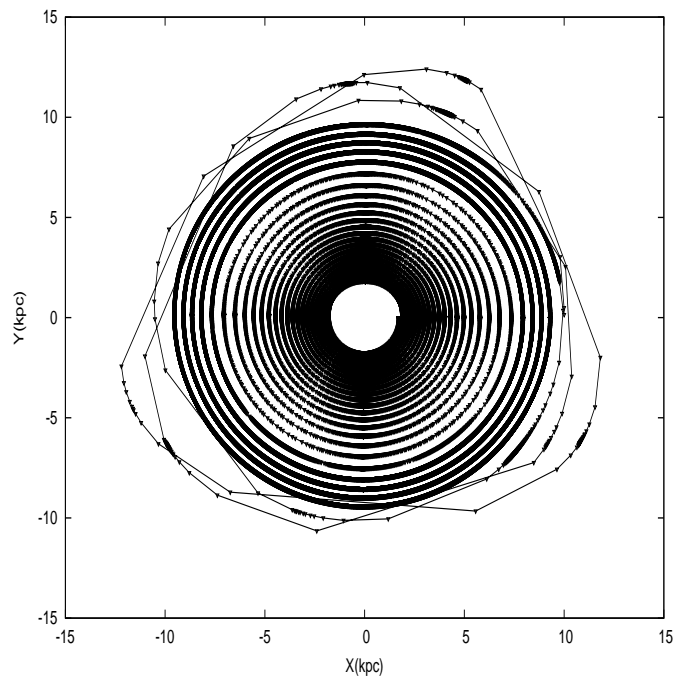


Fig. 9.20: Órbita en 2D para el modelo “d” de ESO 234-G64.

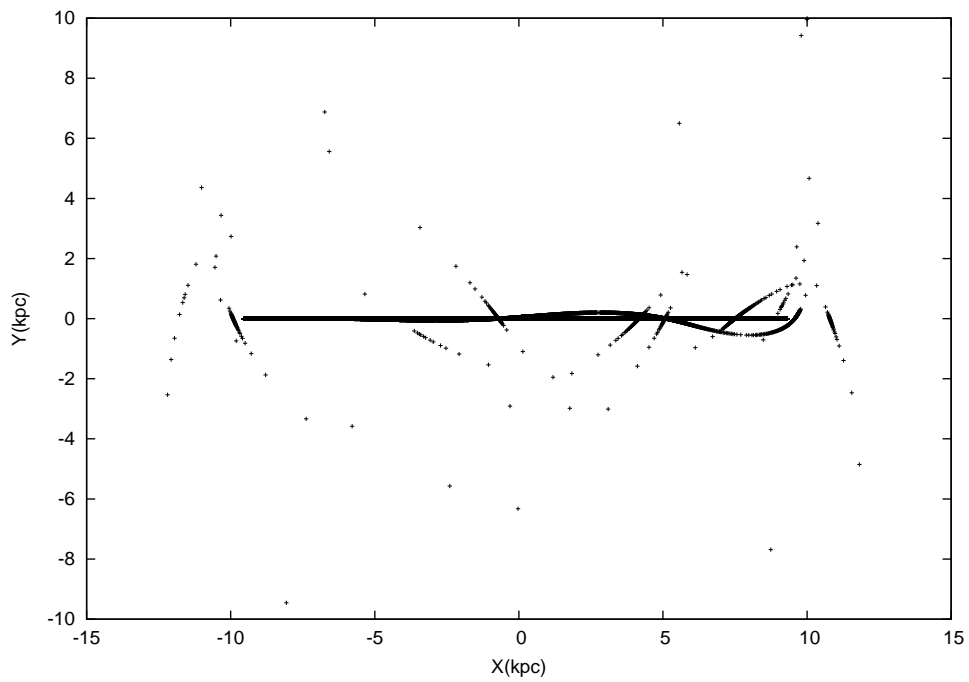


Fig. 9.21: Órbita sobre el plano xz para el modelo “d” de ESO 234-G64.

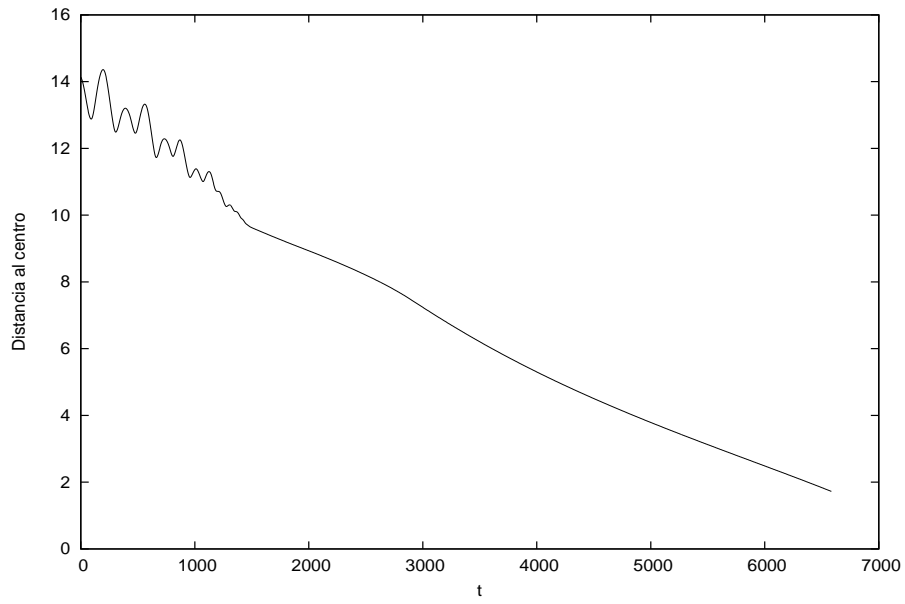


Fig. 9.22: Distancia al centro vs. tiempo de la satélite.

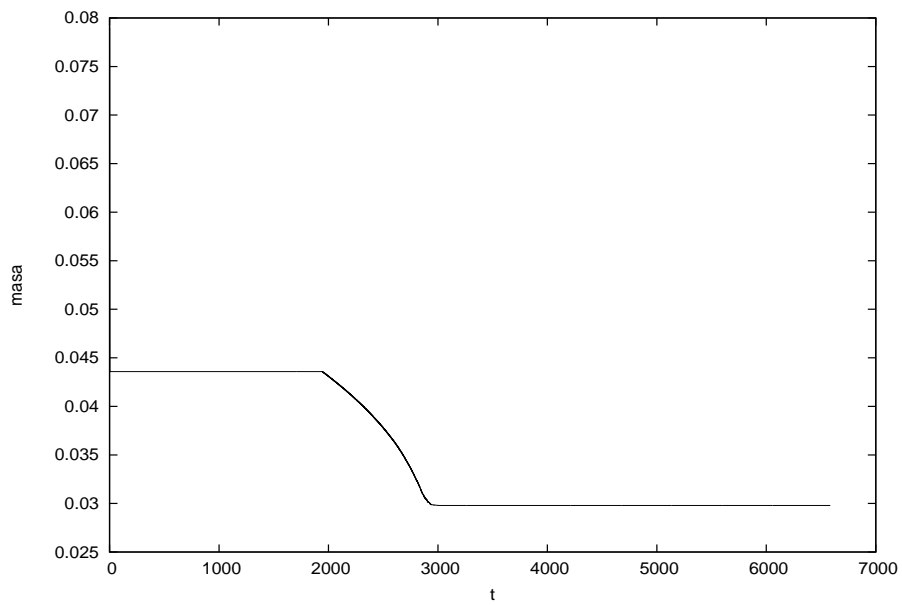


Fig. 9.23: Masa vs. tiempo de la satélite.

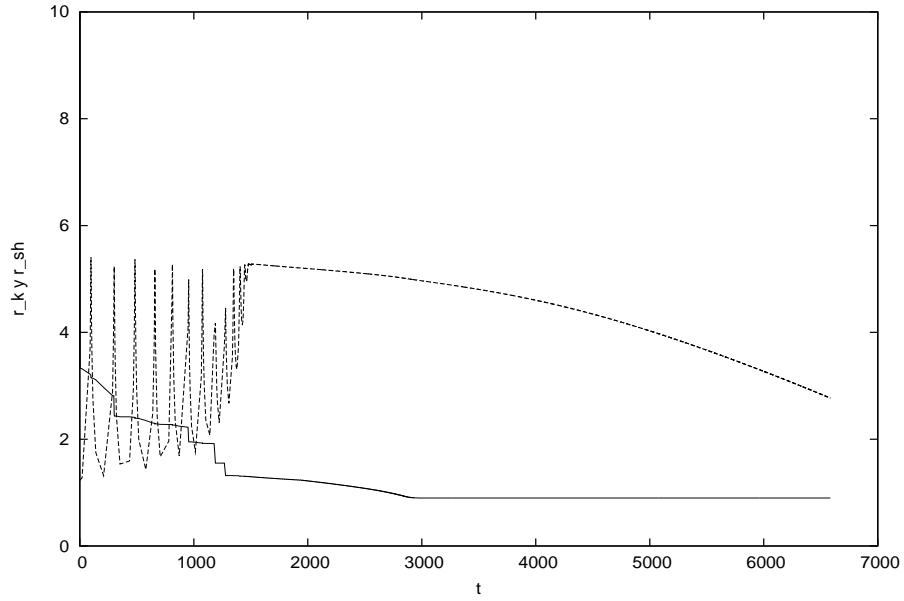


Fig. 9.24: Radios de marea y de shock para el modelo “d”.

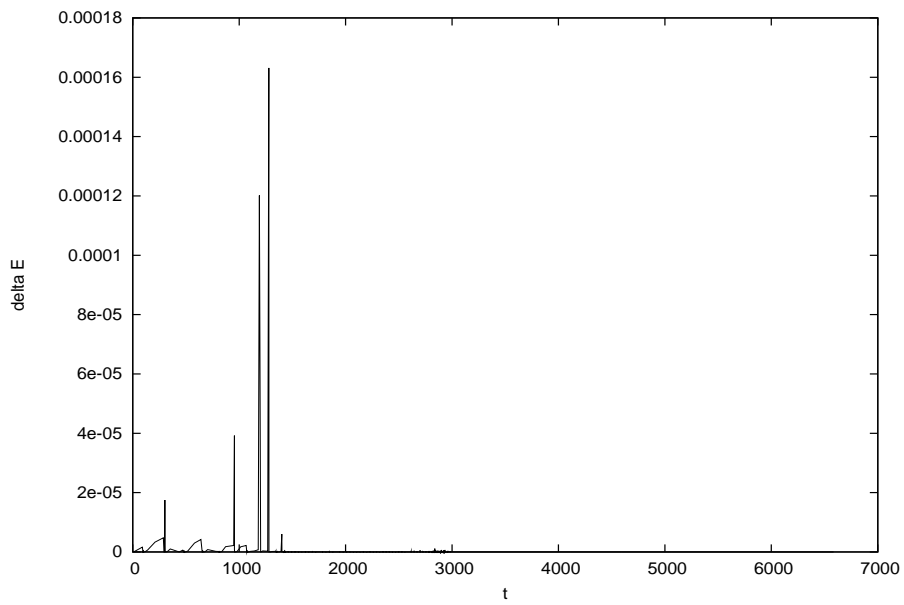


Fig. 9.25: Shocks de disco sobre la satélite para el modelo “d”.

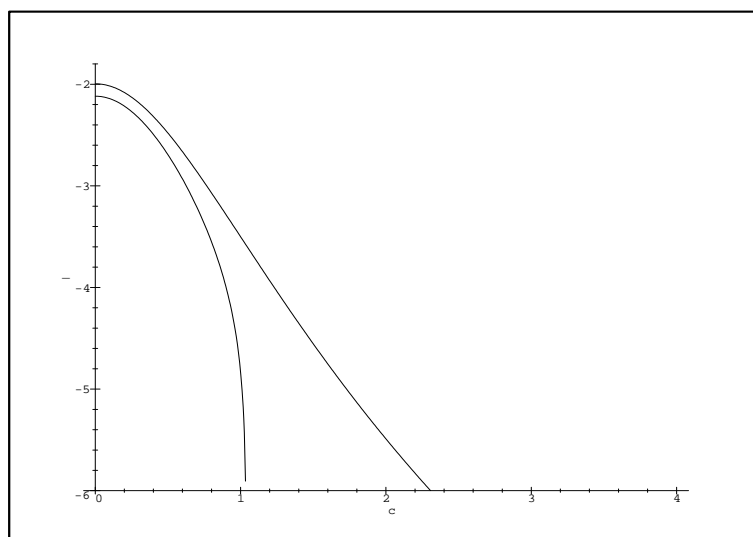


Fig. 9.26: Perfiles de brillo superficial inicial (derecha) y final (izquierda) de N₂ para el modelo "d".

Capítulo 10

MODELO DE ESO 285-IG19

Este objeto está conformado por una galaxia espiral tipo Sb con una compañera superpuesta la cual tiene una masa moderadamente importante, como se vio en la parte I. Esta última es aparentemente una galaxia elíptica. La morfología de este objeto sugiere un encuentro en el que la galaxia satélite atraviesa el disco en dirección normal al plano del mismo.

10.0.10. Modelo “a”.

Condiciones iniciales.

Para la galaxia hospedera se adoptó el modelo de Dehnen (6.3) para el bulbo y el de Miyamoto-Nagai (6.6) para el disco, y el modelo de Plummer utilizado en la parte I para N2; si bien el que mejor iba para la descripción era el de Dehnen. Se ensayaron órbitas polares o de alta inclinación, variando además los valores para la masa inicial.: $\mathbf{x}_0=(5,0.1,50)$ kpc y $\mathbf{v}_0=(0,100,0)$ km s⁻¹.

Los parámetros de los modelos se muestran en la tabla 10.1.

Tab. 10.1: Parámetros del modelo “a” para ESO 285-G19.

Parámetro	A : modelo D + MN	B : modelo de Plummer
\mathcal{M}_{bulbo} (\mathcal{M}_\odot)	$4,2 \times 10^{10}$	$3,3 \times 10^{10}$
a_{bulbo} (kpc)	1,22	1,0
\mathcal{M}_{disco} (\mathcal{M}_\odot)	$1,8 \times 10^{11}$...
a_{disco} (kpc)	10,2	...
b_{disco} (kpc)	0,3	...

Resultados.

La órbita se muestra en las figuras 10.1 a 10.3. La masa final es $1,75 \times 10^{10} \mathcal{M}_\odot$ y $r_t = 2,0$ kpc. Estos valores son totalmente compatibles con los observados: la masa es prácticamente la misma y el radio límite es más del doble del radio efectivo (para el modelo de Plummer $R_e \equiv b$). La caída al centro por fricción dinámica es lenta (figura 10.4). En este caso el radio límite está impuesto por las fuerzas de marea; los shocks de disco no alcanzan a ser suficientemente fuertes como para provocar ulterior pérdida de masa (figura 10.6).

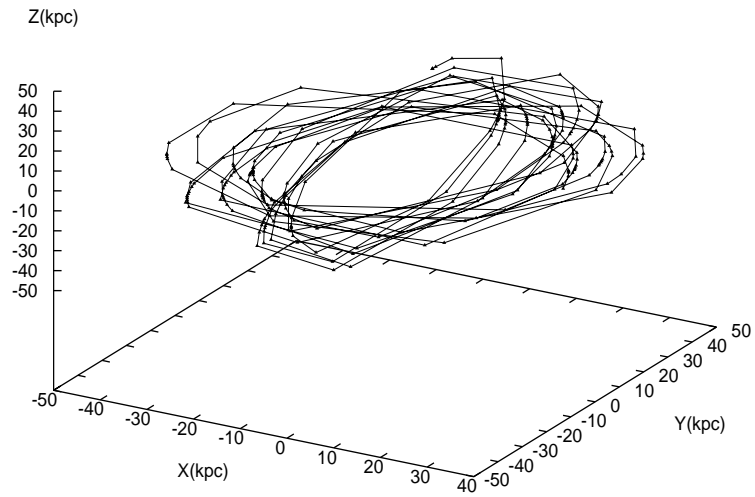


Fig. 10.1: Órbita en 3D para el modelo "a" de ESO 285-G19.

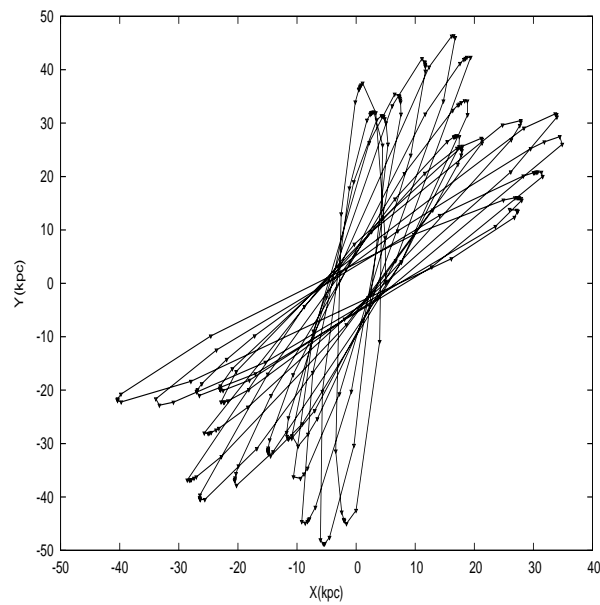


Fig. 10.2: Órbita en 2D para el modelo "a" de ESO 285-G19.

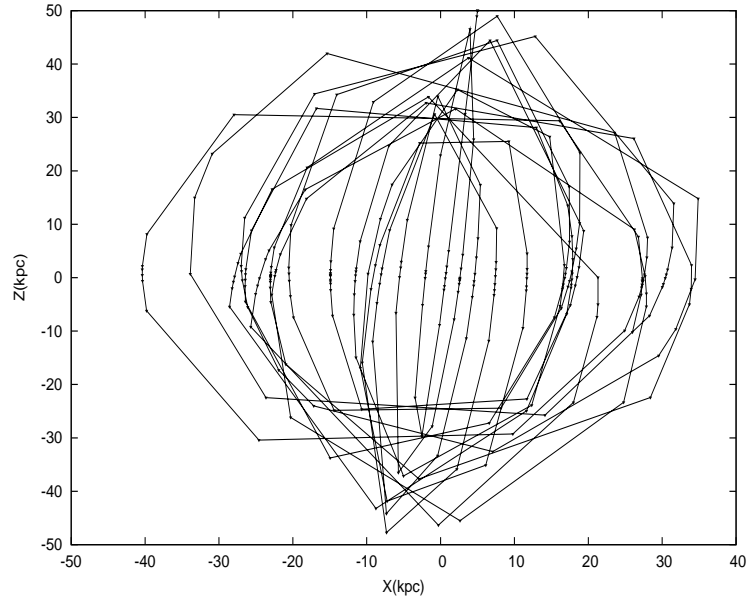


Fig. 10.3: Órbita en el plano xz para el modelo "a" de ESO 285-G19.

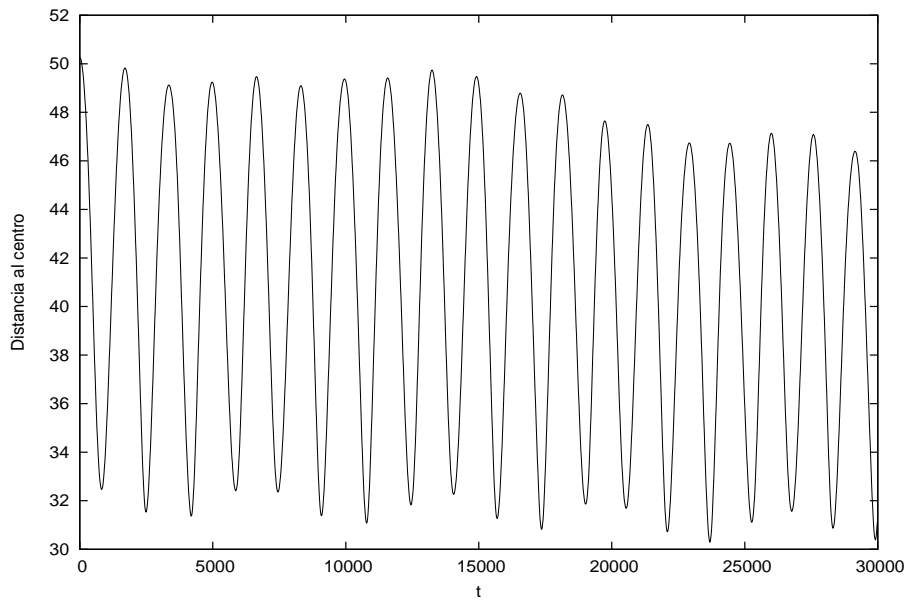


Fig. 10.4: Distancia al centro vs. tiempo de la satélite.

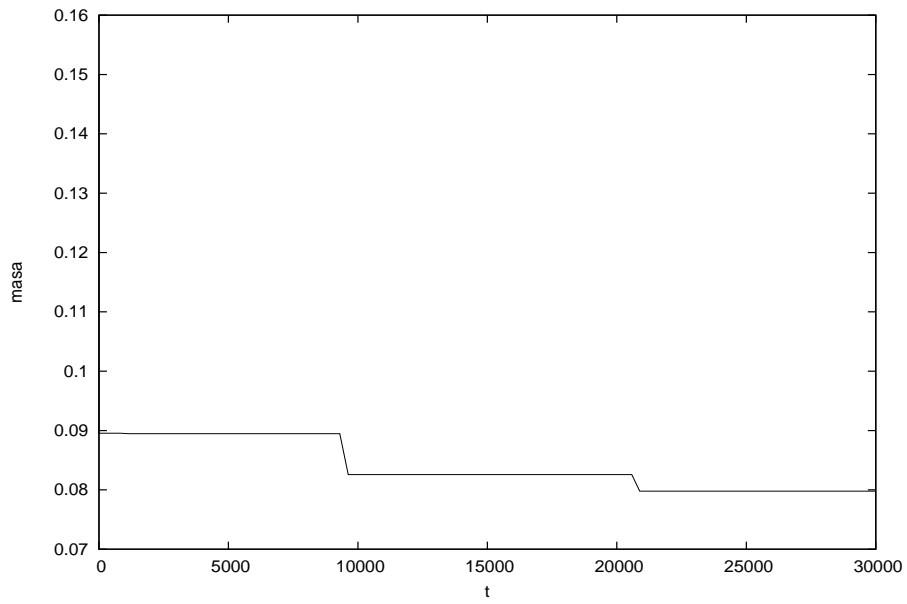


Fig. 10.5: Masa vs. tiempo de la satélite.

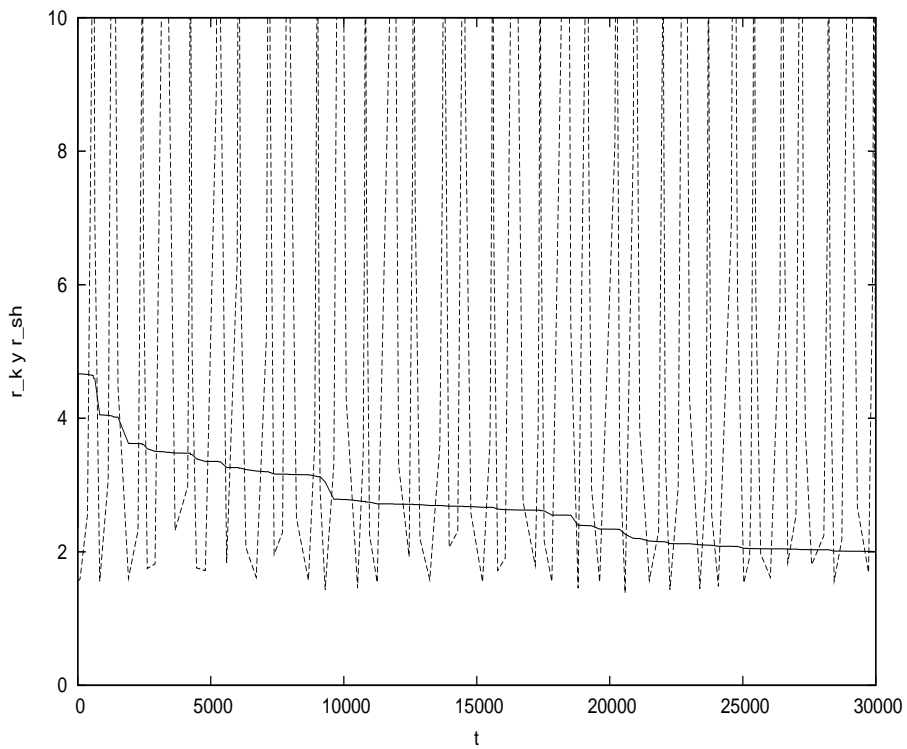


Fig. 10.6: Radios de marea y de shock para el modelo "a" de ESO 285-G19.

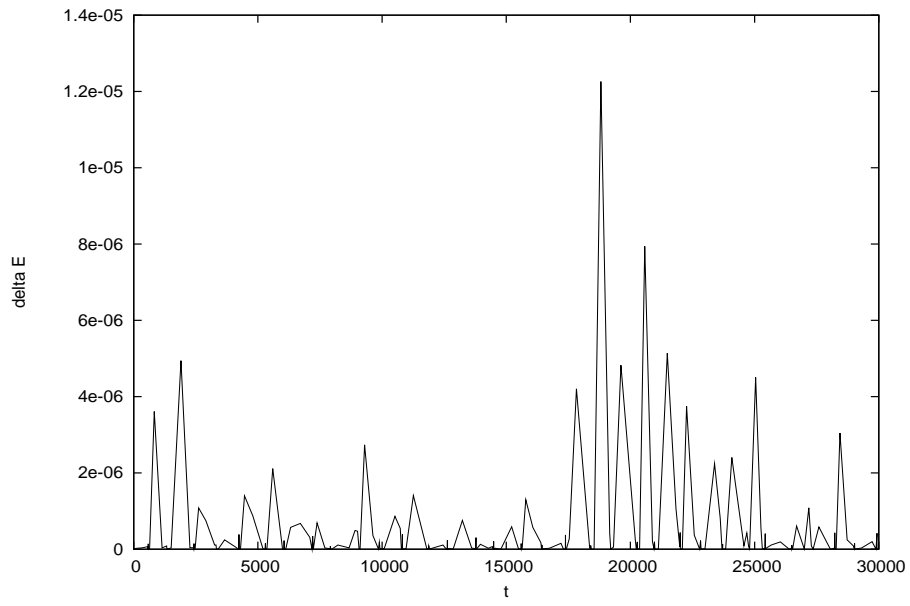


Fig. 10.7: Energía recibida por N2 por shocks gravitacionales en ESO 285-G19.

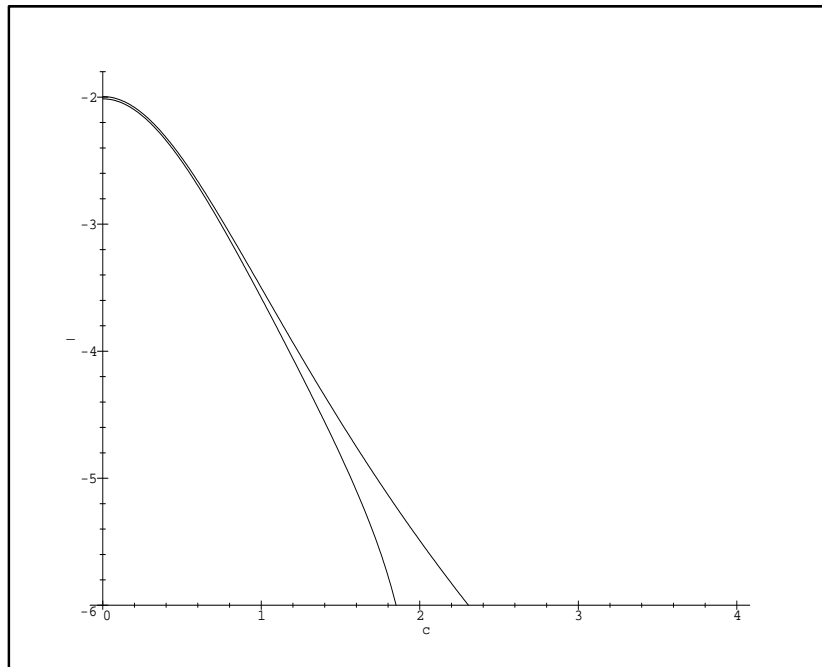


Fig. 10.8: Perfiles de brillo superficial inicial (izquierda) y final (derecha) de N2.

10.0.11. Modelo “b”.

Condiciones iniciales.

En este modelo las condiciones iniciales se eligieron de modo que la satélite pase más cerca del centro : $\mathbf{x}_0=(5,0.1,50)$ kpc y $\mathbf{v}_0=(0,10,0)$ km s⁻¹.

Resultados.

En este modelo, la satélite pierde gran porcentaje de su masa inicial en el primer pasaje pericéntrico 10.10, debido al fuerte shock de bulbo (figuras 10.11 y 10.13) La masa final es $6,7 \times 10^8$ y $r_t = 0,28$ kpc, es decir, un objeto menos masivo y más compacto (10.14), pero que apuede pasar por núcleo secundario –como en el caso de MCG+00-12-73. Más aún, permanece orbitando el centro a una distancia media de 7 kpc.

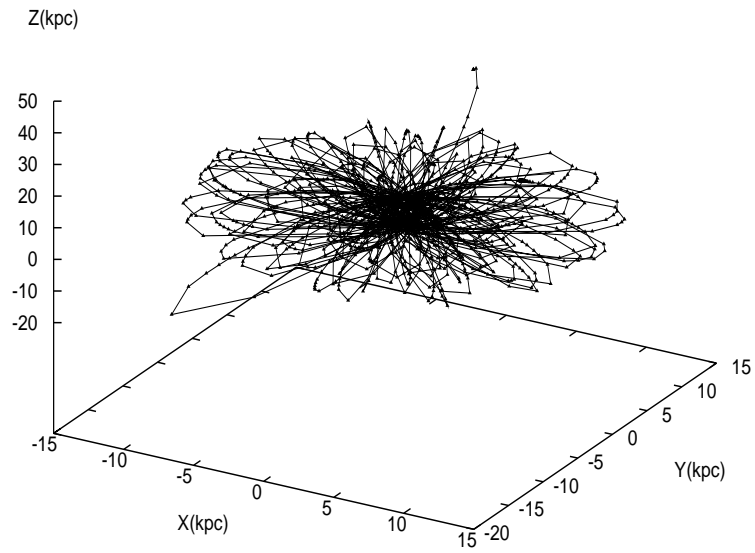


Fig. 10.9: Órbita en 3D para el modelo “b” de ESO 285-G19.

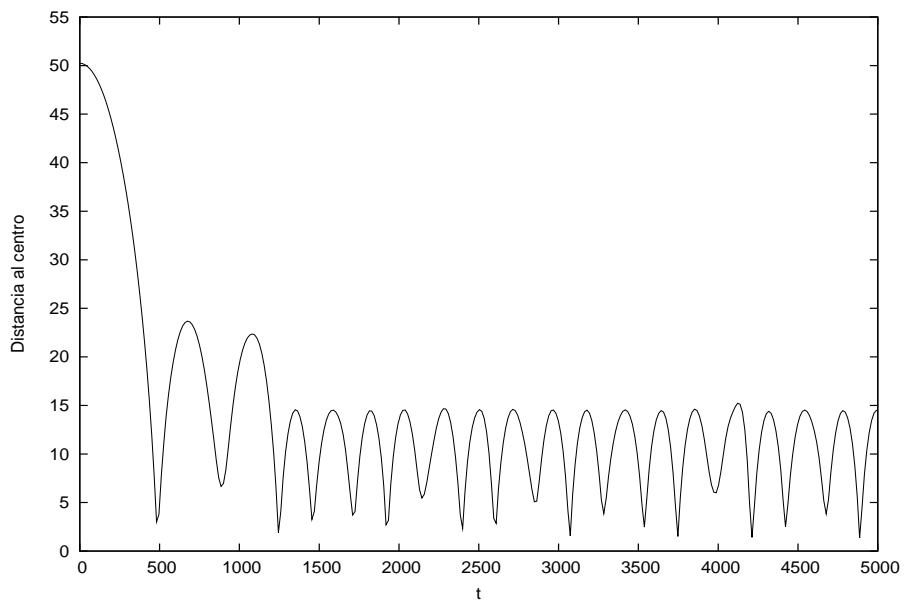


Fig. 10.10: Distancia al centro vs. tiempo de la satélite.

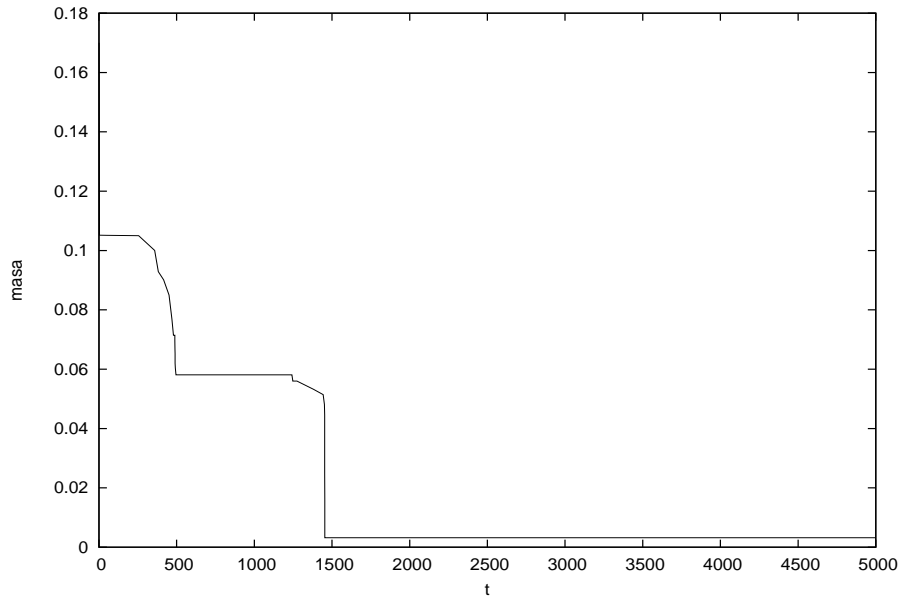


Fig. 10.11: Masa vs. tiempo de la satélite.

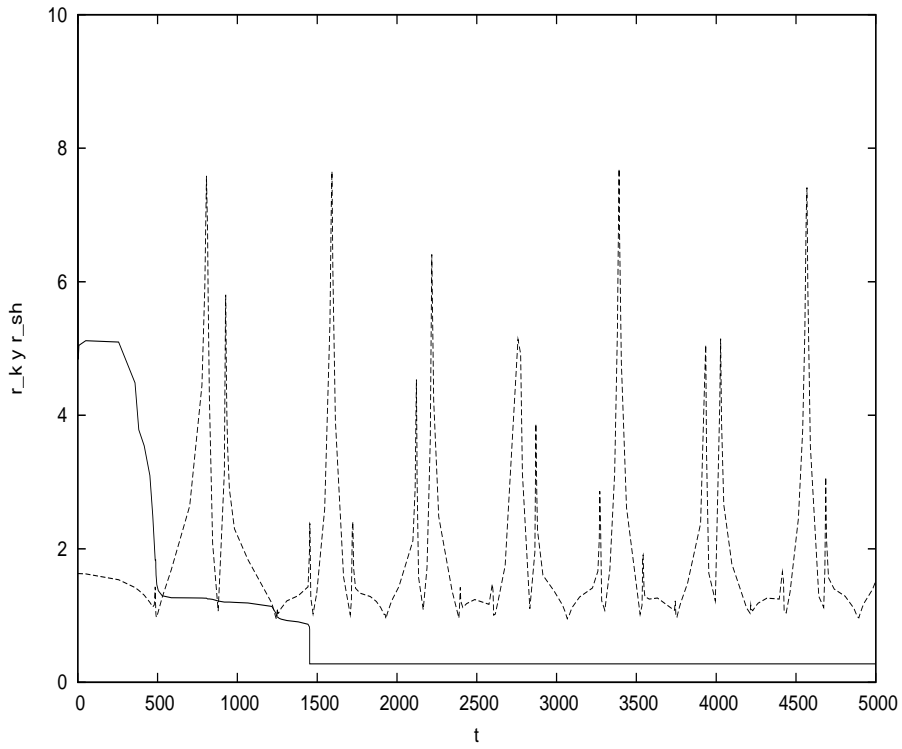


Fig. 10.12: Radios de marea y de shock para el modelo "b" de ESO 285-G19.

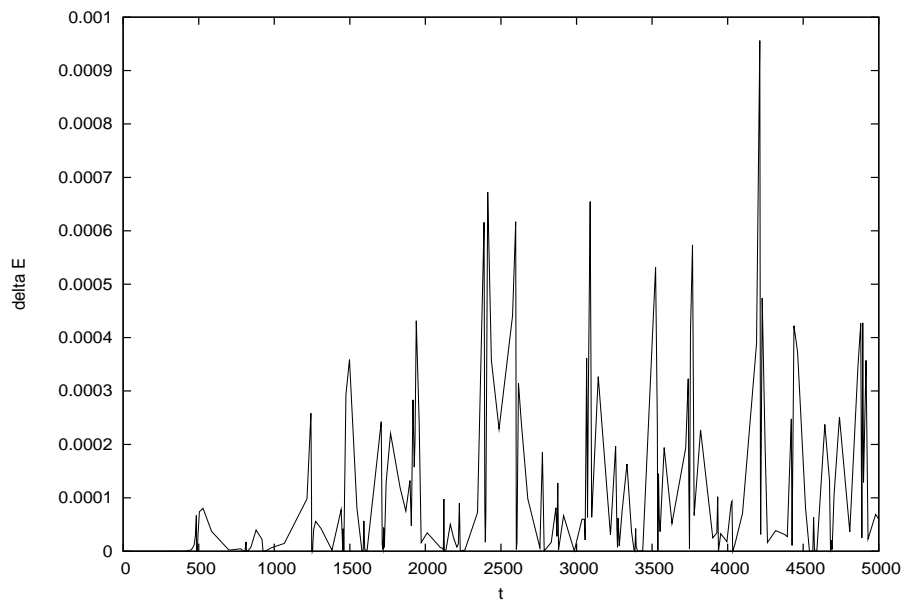


Fig. 10.13: Energía recibida por N2 por shocks gravitacionales en ESO 285-G19.

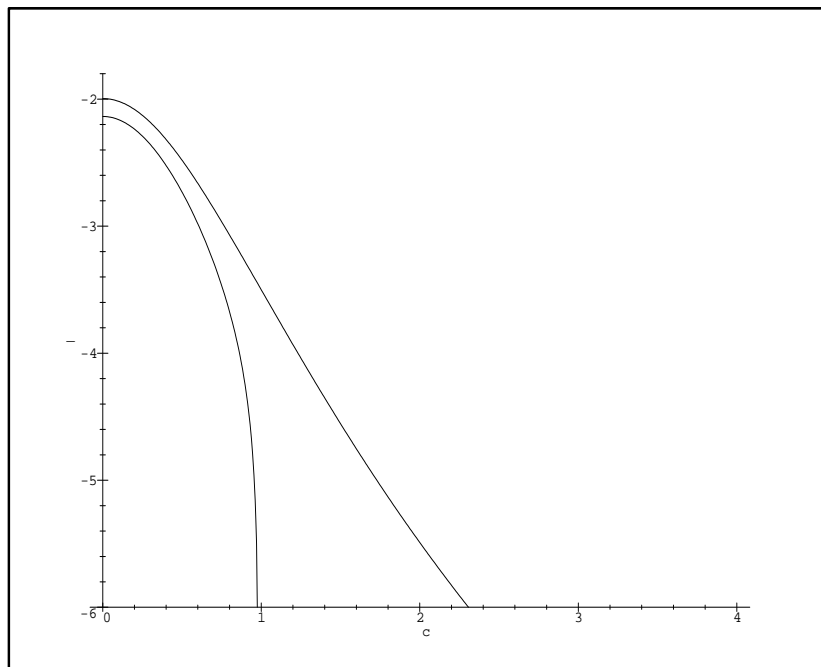


Fig. 10.14: Perfiles de brillo superficial inicial (izquierda) y final (derecha) de N2.

Capítulo 11

MODELO DE MRK 306

Mrk 306/305 es un objeto muy interesante para estudiar en el contexto de esta Tesis; como vimos en la parte I. Allí se propuso un escenario levemente diferente de los previamente existentes, el cual consiste en una interacción triple que da como resultado una galaxia con dos núcleos (Mrk 306) con una compañera menor (Mrk 305). En este capítulo sólo estudiaremos la evolución dinámica de Mrk 306 haciendo abstracción de la presencia de Mrk 305, la cual será objeto de investigación aparte (Gimeno, 2007).

11.1. Modelo.

11.1.1. Condiciones iniciales.

Para la galaxia hospedera se adoptó un modelo de disco puro de Miyamoto-Nagai (6.6), donde los parámetros fueron derivados a partir del ajuste del mismo a la curva de rotación observada por Kollatschny & Dietrich (1990), y el modelo de Plummer *previo* al truncamiento utilizado en la parte I para N1.

Se ensayaron entonces varias órbitas de este tipo, variando además los valores para la masa inicial. Las condiciones iniciales que mejor reprodujeron el escenario observado son: $\mathbf{x}_0=(10,0,1)$ kpc y $\mathbf{v}_0=(0,29,-3)$ km s⁻¹.

Los parámetros de los modelos se muestran en la tabla 11.1.

Tab. 11.1: Parámetros del modelo de Mrk 306.

Parámetro	A : modelo D + MN	B : modelo de Plummer
$M_{bulbo} (M_{\odot})$...	$7,5 \times 10^8$
a_{bulbo} (kpc)	...	0,34
$M_{disco} (M_{\odot})$	$2,0 \times 10^{10}$...
a_{disco} (kpc)	5,0	...
b_{disco} (kpc)	0,3	...

11.1.2. Resultados.

La órbita se muestra en las figuras 11.1 a 11.3. La posición inicial de la satélite es levemente apartada del plano del disco, pero es confinada al mismo en unas pocas revoluciones. Asimismo, la órbita, inicialmente excéntrica, es rápidamente espiralizada. Antes de ello, la satélite sufre un shock

de disco inicial importante que lleva el radio límite a 880 pc, y luego otros de menor impacto hasta que la órbita queda sobre el plano del disco (figura 11.5). El radio límite final es igual al actual $r_t = 540$ pc (cap. 2) corresponde a $t \sim 250 \approx 1,6 \times 10^8$ años, y la posición corresponde al comienzo de la primera revolución. Compárese la morfología de la estructura de marea asociada a N1 en la figura 2.19, con la geometría de la trayectoria calculada de la figura 11.3 para dicha posición. A partir de aquí $t \approx 250$ no hay más pérdida de masa, el radio límite alcanzó su valor definitivo, y la caída al centro por fricción dinámica culmina en $t \sim 1 \times 10^9$ años. La masa final es $4,5 \times 10^8 M_\odot$.

Al no incluir una componente bulbo, Mrk 306 es una galaxia originalmente dominada por el disco, y la relevancia posterior de su núcleo en la evolución dinámica de N1 es mínima; en concreto éste último no recibe shocks –más que los iniciales debido al disco– y permanece orbitando en espiral pero son modificar su estructura apreciablemente por 1×10^9 años antes de caer al centro, con lo cual se ha generado un núcleo doble duradero (asumiendo que el núcleo original de Mrk 306 permanece intacto). Este modelo ha podido reproducir la configuración observada y el radio límite del núcleo capturado de manera con notable exactitud, basado exclusivamente en parámetros derivados de la observación.

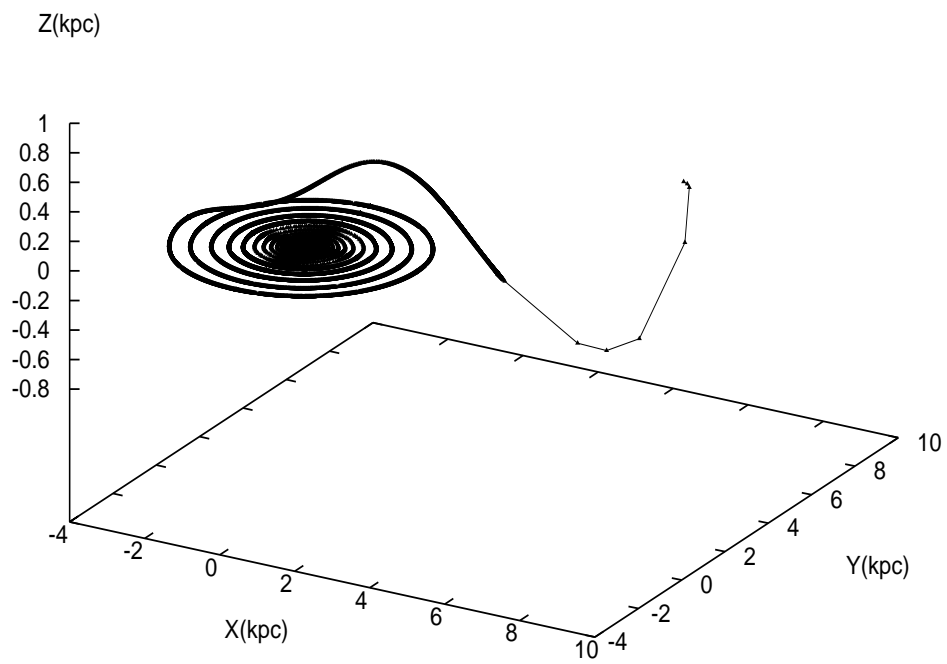


Fig. 11.1: Órbita en 3D para el modelo de Mrk 306.

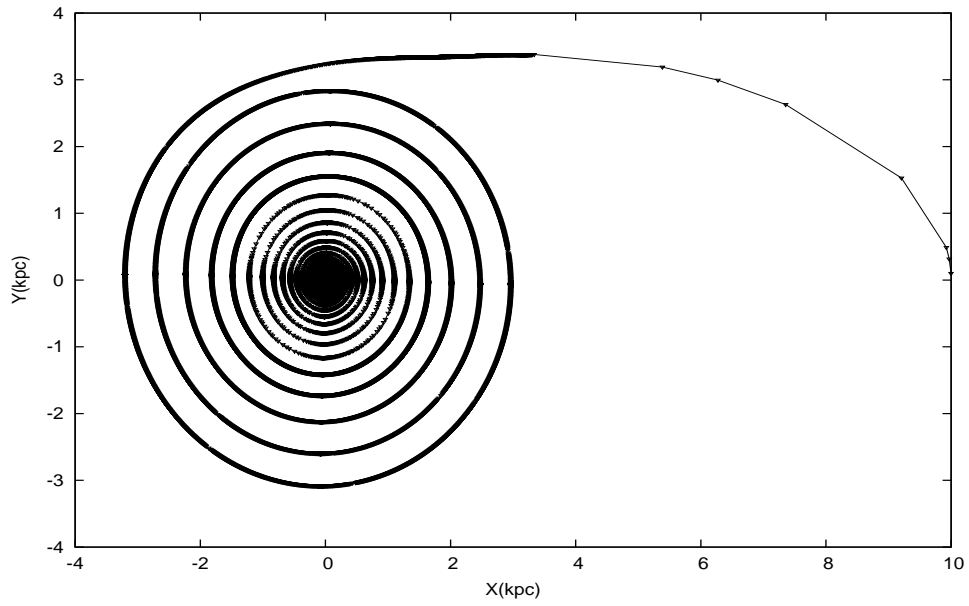


Fig. 11.2: Órbita en 2D para el modelo de Mrk 306.

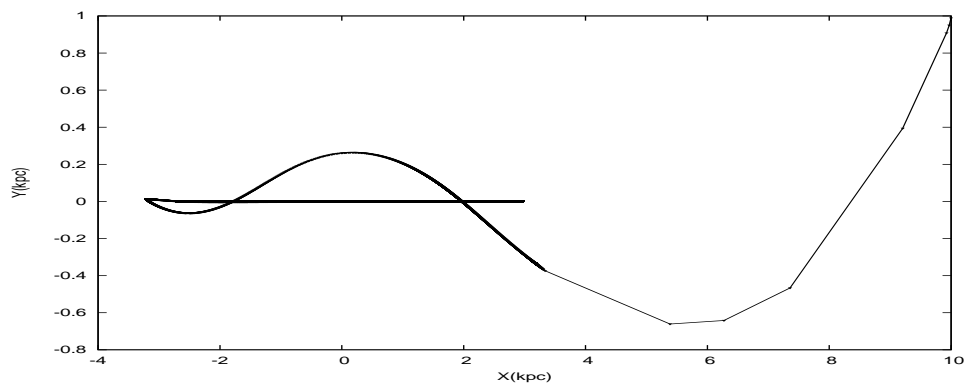


Fig. 11.3: Órbita sobre el plano xz para el modelo de Mrk 306.

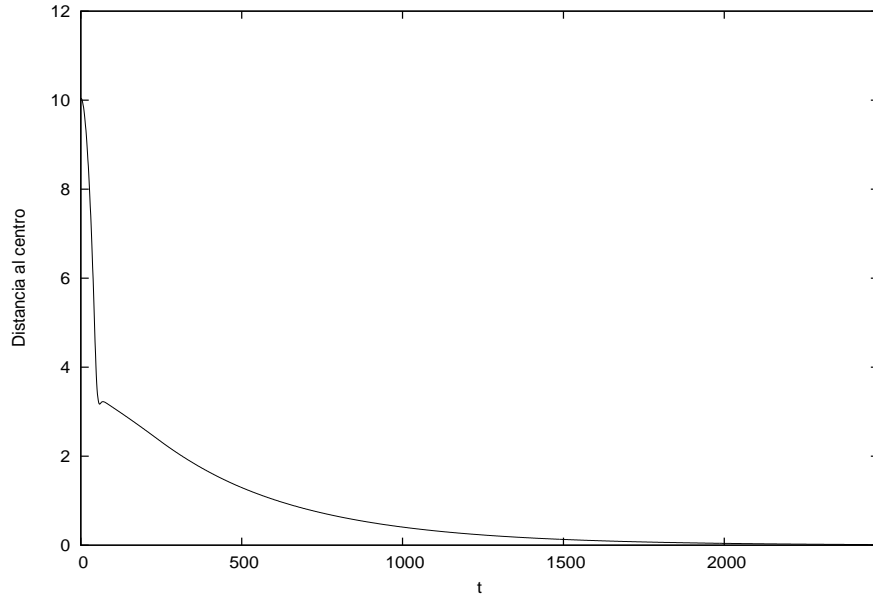


Fig. 11.4: Distancia al centro vs. tiempo de N1 para Mrk 306.

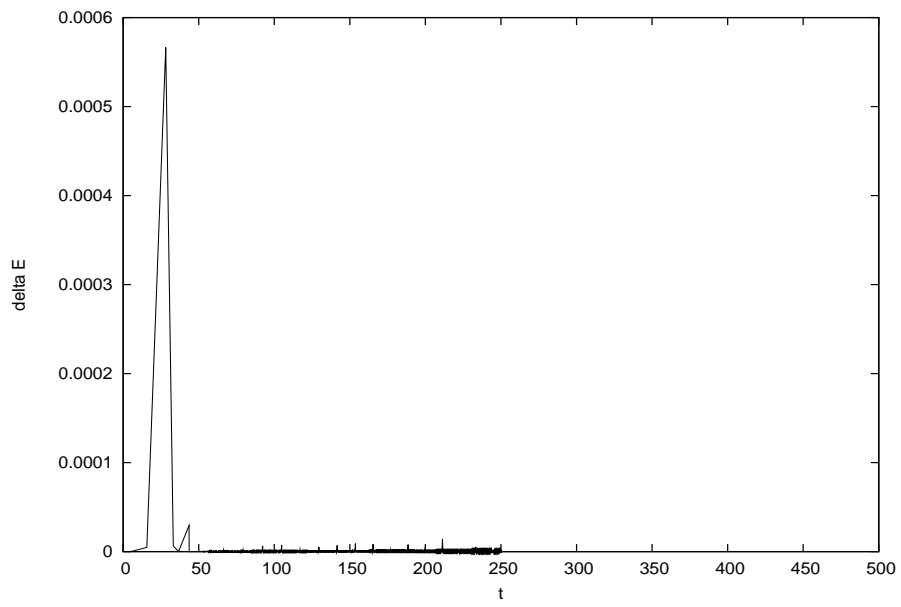


Fig. 11.5: Shocks de disco sobre la satélite, para $t < 300 \approx 4,8 \times 10^6$ años.

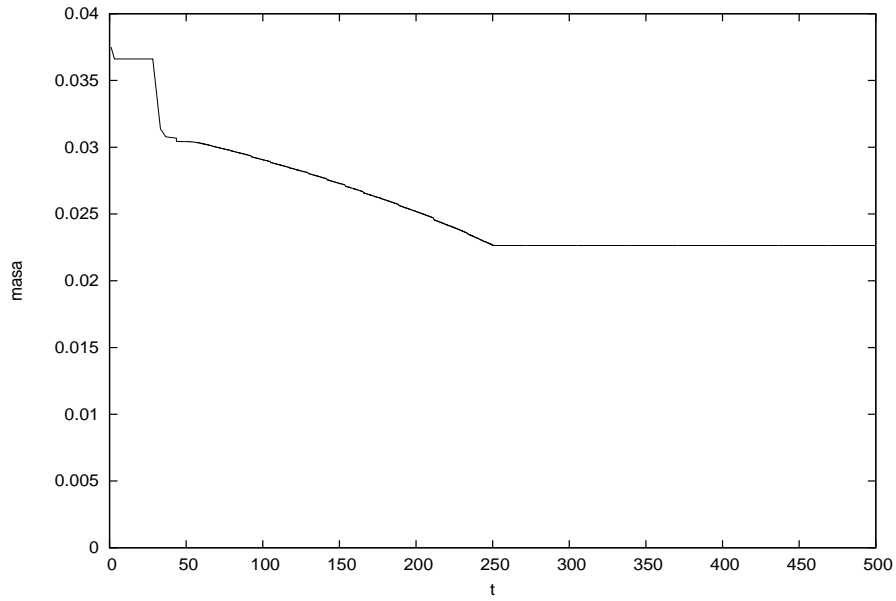


Fig. 11.6: Masa vs. tiempo de la satélite, para $t < 500 \approx 8 \times 10^6$ años. La masa ligada alcanza su valor final en $t = 325$.

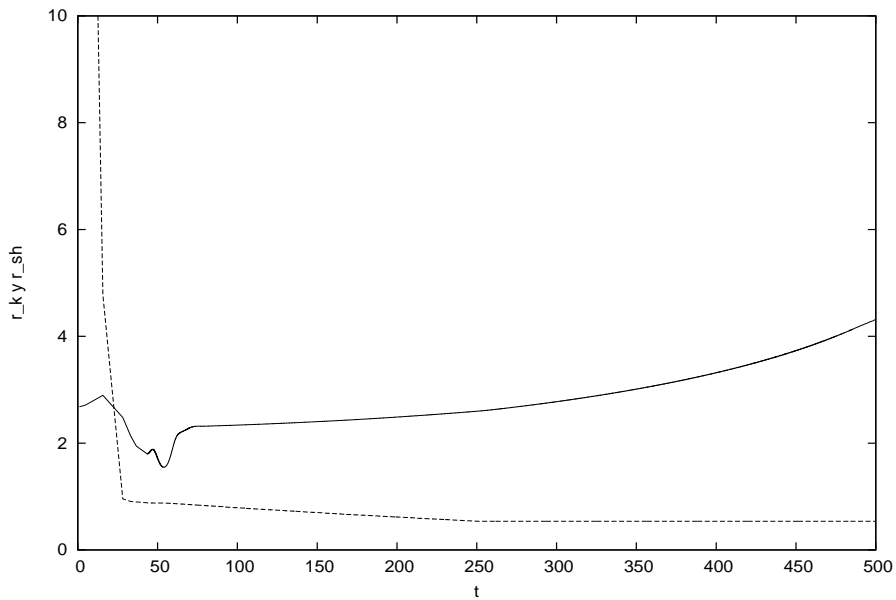


Fig. 11.7: Radios de marea (línea continua) y de shock (línea de trazos) para N1 en el modelo de Mrk 306, para $t < 500 \approx 8 \times 10^6$ años. El radio límite alcanza su valor final $=r_{sh} = 140$ pc en $t = 325$.

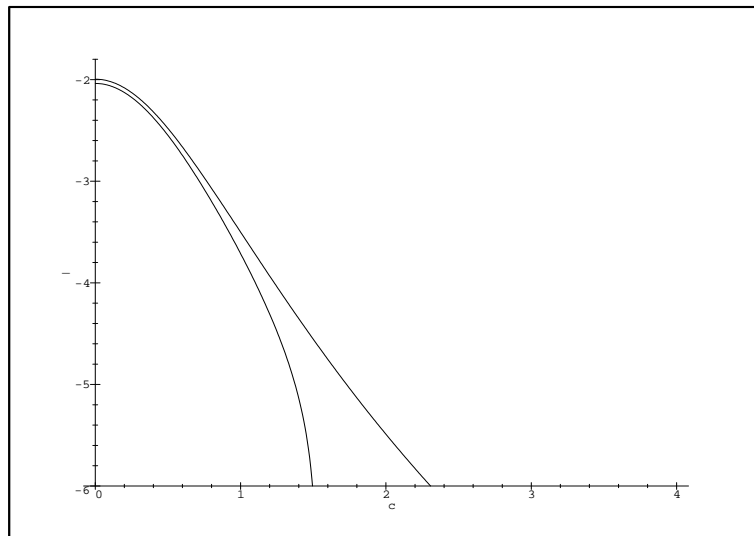


Fig. 11.8: Perfiles de brillo superficial inicial (derecha) y final (izquierda) de N1 para el modelo de Mrk 306.