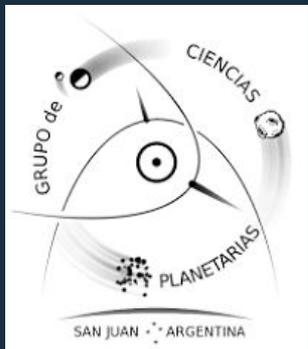


# Modelado Numérico de comas de polvo cometarias



Romina S. Garcia

XII Taller de Ciencias Planetarias  
26/02 - 01/03 de 2024  
Río de Janeiro, Brasil



CONICET



# Contenidos

# Contenidos

## Introducción

### Cometas

Resumen de qué sabemos de ellos hasta ahora.

# Contenidos

## Introducción

### Cometas

Resumen de qué sabemos de ellos hasta ahora.

## Modelo

### Planteo y solución

¿Qué se desea calcular y cómo hacemos para lograrlo?

# Contenidos

## Introducción

### Cometas

Resumen de qué sabemos de ellos hasta ahora.

## Modelo

### Planteo y solución

¿Qué se desea calcular y cómo hacemos para lograrlo?

## Resultados

### ¿Qué se obtiene?

Modelado del cometa C/2021 A1 (Leonard)

# Contenidos

## Introducción

### Cometas

Resumen de qué sabemos de ellos hasta ahora.

## Modelo

### Planteo y solución

¿Qué se desea calcular y cómo hacemos para lograrlo?

## Resultados

### ¿Qué se obtiene?

Modelado del cometa C/2021 A1 (Leonard)

## Conclusiones

### Resumen final

Qué se tiene hasta ahora y proyecciones a futuro.

# Introducción

## COMETA

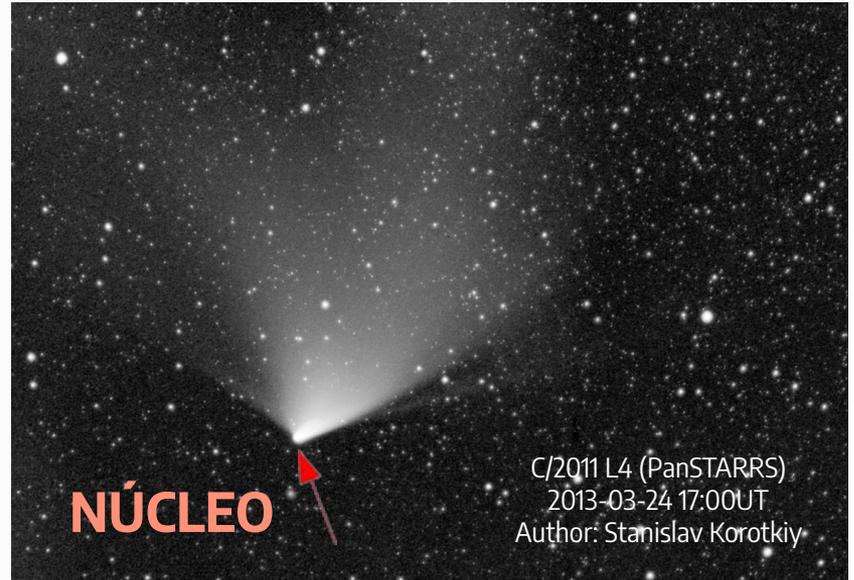
cuerpo menor del Sistema Solar formado por roca y hielo, normalmente de unos pocos kilómetros de diámetro, que orbita alrededor del Sol.



# Introducción

## COMETA

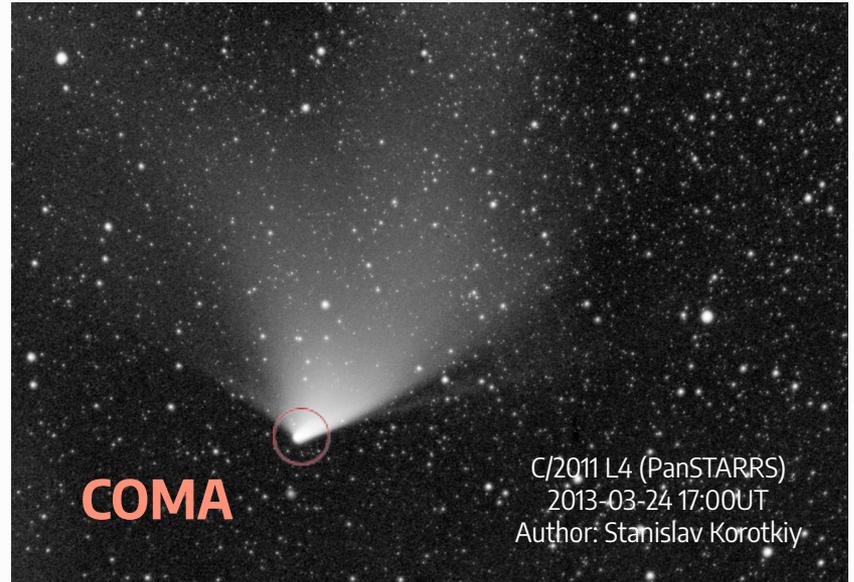
cuerpo menor del Sistema Solar formado por roca y hielo, normalmente de unos pocos kilómetros de diámetro, que orbita alrededor del Sol.



# Introducción

## COMETA

cuerpo menor del Sistema Solar formado por roca y hielo, normalmente de unos pocos kilómetros de diámetro, que orbita alrededor del Sol.



# Introducción

## COMETA

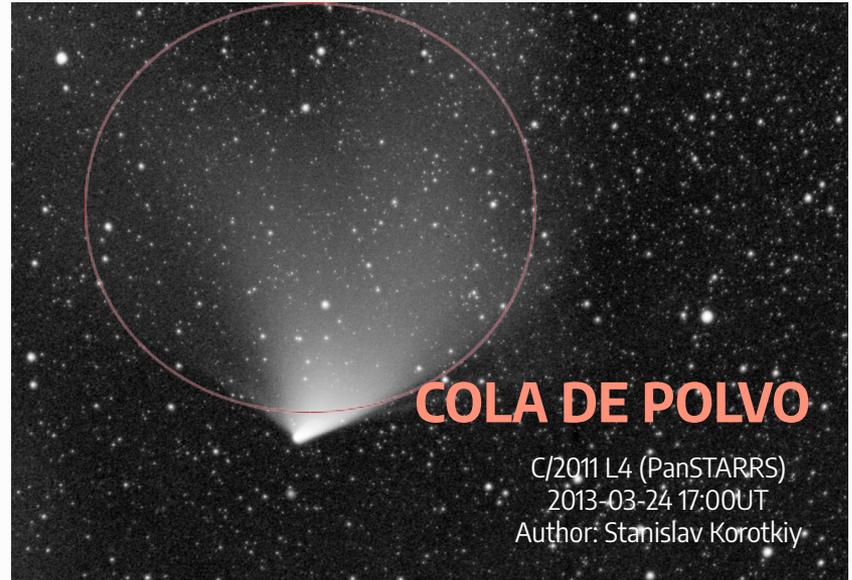
cuerpo menor del Sistema Solar formado por roca y hielo, normalmente de unos pocos kilómetros de diámetro, que orbita alrededor del Sol.



# Introducción

## COMETA

cuerpo menor del Sistema Solar formado por roca y hielo, normalmente de unos pocos kilómetros de diámetro, que orbita alrededor del Sol.



# Introducción

Si no aparecen eyecciones abruptas de material, el resultado sería una coma esférica y en estado estable.

(Combi et al., 2004)

Son comunes los cambios repentinos en el brillo y en la estructura.



17P/Holmes  
David Jewitt  
Hawai, Noviembre de 2007

# Introducción

## Objetivo

Estudio y caracterización de las propiedades físicas de la coma de polvo cometaria.



Información del núcleo + polvo

Tres diferentes perspectivas:

- Morfología
- Fotometría
- Modelado Numérico

# Introducción

## Objetivo

Estudio y caracterización de las propiedades físicas de la coma de polvo cometaria.



Información del núcleo + polvo

Tres diferentes perspectivas:

- Morfología
- Fotometría
- Modelado Numérico

# Introducción

**Modelado 2D**



# Introducción

## Modelado 2D



- Bessel (1836) : primer modelo que se ajusta a observaciones. Existe una fuerza repulsiva que actúa sobre el material.

# Introducción

## Modelado 2D

- Bessel (1836) : primer modelo que se ajusta a observaciones. Existe una fuerza repulsiva que actúa sobre el material.
- Bredichin (1885): introduce los conceptos de sindinas y sincronas.

# Introducción

## Modelado 2D

- Bessel (1836) : primer modelo que se ajusta a observaciones. Existe una fuerza repulsiva que actúa sobre el material.
- Bredichin (1885): introduce los conceptos de sindinas y sincronas.
- Arrhenius (1900's): propone la presión de radiación solar como fuerza repulsiva planteada por Bessel.

# Introducción

## Modelado 2D

- Bessel (1836) : primer modelo que se ajusta a observaciones. Existe una fuerza repulsiva que actúa sobre el material.
- Bredichin (1885): introduce los conceptos de sindinas y sincronas.
- Arrhenius (1900's): propone la presión de radiación solar como fuerza repulsiva planteada por Bessel.
- Schwarzschild y Debye establecen que el parámetro  $\beta$  es inversamente proporcional al tamaño de la partícula.

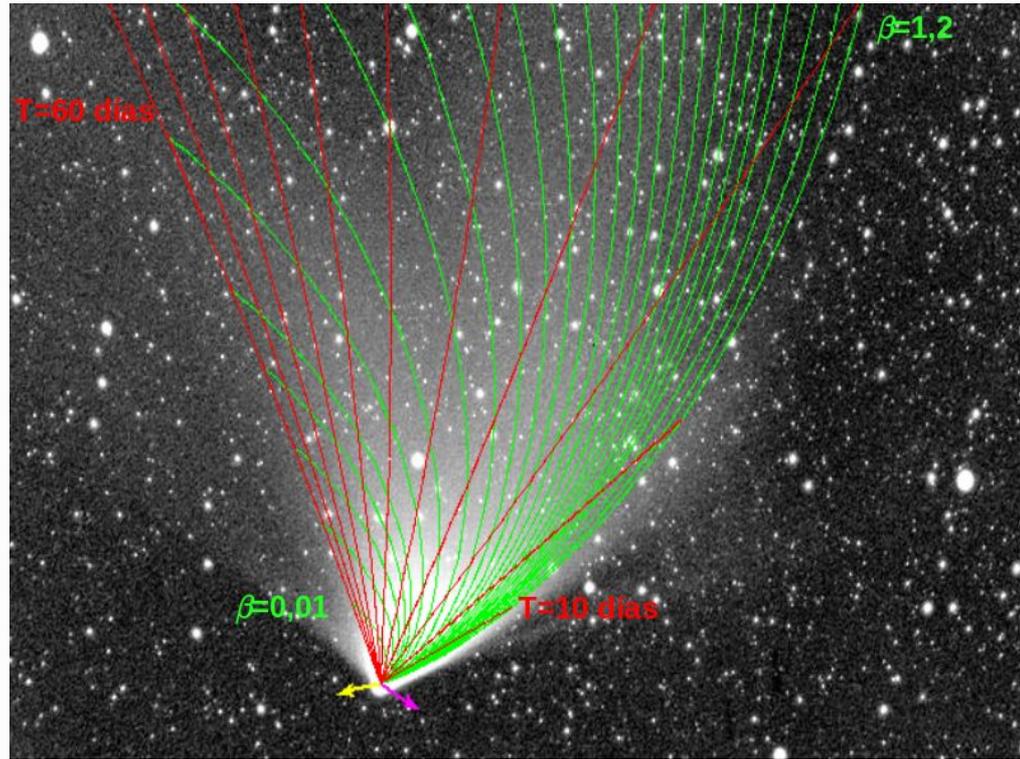
# Introducción

## Modelado 2D

- Bessel (1836) : primer modelo que se ajusta a observaciones. Existe una fuerza repulsiva que actúa sobre el material.
- Bredichin (1885): introduce los conceptos de sindinas y sincronas.
- Arrhenius (1900's): propone la presión de radiación solar como fuerza repulsiva planteada por Bessel.
- Schwarzschild y Debye establecen que el parámetro  $\beta$  es inversamente proporcional al tamaño de la partícula.
- Finson y Probststein (1968): modelado 2D y posterior asociación de éste a modelos tri-dimensionales más realistas.

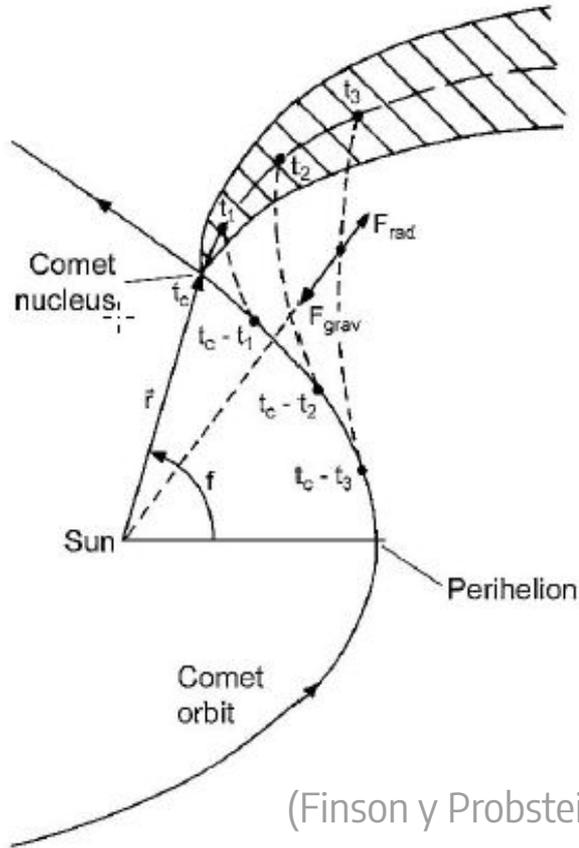
# Introducción

Núcleo cometario moviéndose a lo largo de su órbita y eyectando partículas de polvo con velocidad de eyección cero.



C/2011 L4 (PanStarrs) Imagen: Stanislav Korotkiy, Observatorio Ka-Dar.  
24/03/2013 17:00 UT Modelo: Romina S. Garcia

# Introducción



Tubo sincrónico/ sindínico cuyo ancho se obtiene al considerar la velocidad de eyección del polvo para el tiempo/tamaño de partícula en cuestión.

Modelo a primer orden

# Introducción

## Modelado 3D



- Kimura and Liu (1977)
- Fulle (1987, 1989, 2004)
- Waniak (1994)
- Lisse et al., 1998
- Moreno (2009, 2011, 2012) y otros..

# Introducción

## Modelado 3D



- Kimura and Liu (1977)
- **Fulle (1987, 1989, 2004)**
- Waniak (1994)
- Lisse et al., 1998
- Moreno (2009, 2011, 2012) y otros..

# Introducción

## Modelado 3D

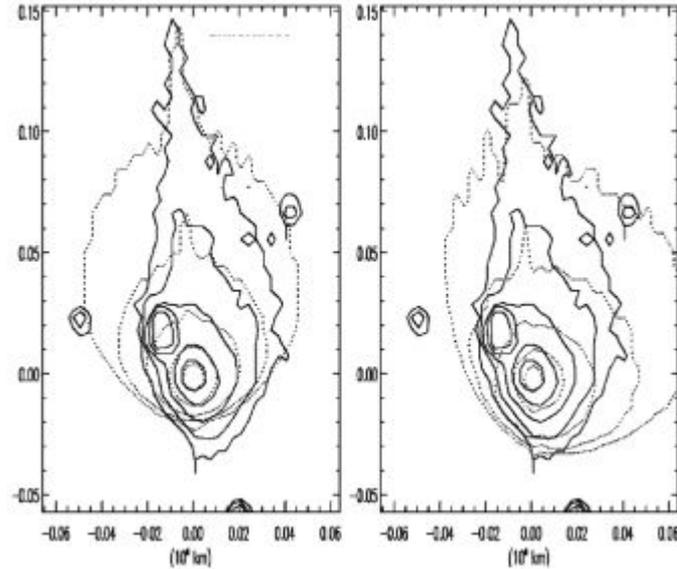


- Kimura and Liu (1977)
- **Fulle (1987, 1989, 2004)**
- Waniak (1994)
- Lisse et al., 1998
- Moreno (2009, 2011, 2012) y otros..

- Monte carlo inverso.
- Velocidad de eyección para cada tamaño de partícula de polvo.
- Consideran emisiones anisotrópicas.
- Uso de métodos numéricos de cálculo.
- Sirven para modelar coma y cola.

# Introducción

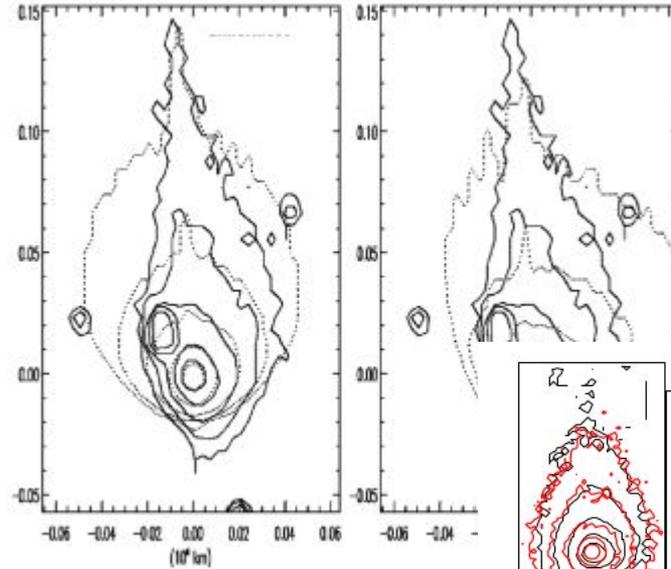
## Modelado 3D



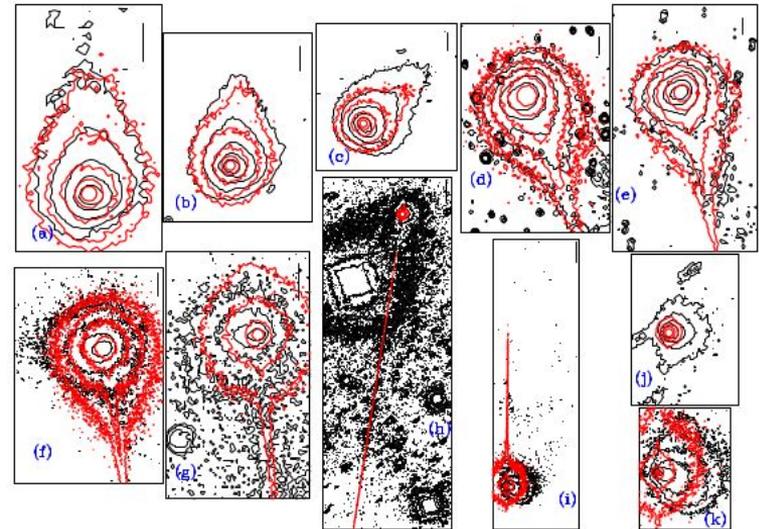
(Fulle, 2010)

# Introducción

## Modelado 3D

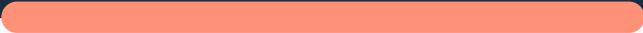


(Fulle, 2010)



(Moreno et al., 2012)

# Modelo Numérico



# Modelo Numérico

1° Resolver numéricamente la ecuación de movimiento de las partículas de polvo.



encontrar la trayectoria que describen una vez que abandonan la superficie del núcleo y se desacoplan del gas.

2° Estimar su contribución al brillo.



**Modelo  
Numérico:  
Fuerzas  
interactuantes**

Fuerza gravitatoria del Sol	1
Presión de radiación	0,5
Fuerza de Lorentz	$2 \times 10^{-2}$
Presión en la coma	$2 \times 10^{-4}$
Efecto Poynting-Robertson	$5 \times 10^{-5}$
Colisiones con partículas de viento solar	$2 \times 10^{-5}$
Fuerza gravitatoria del cometa	$1 \times 10^{-5}$
Fuerza de Coulomb	$2 \times 10^{-7}$

(Vincent, 2010)

# Modelo Numérico: Fuerzas interactuantes

Fuerza gravitatoria del Sol	1
<u>Presión de radiación</u>	<u>0,5</u>
Fuerza de Lorentz	$2 \times 10^{-2}$
Presión en la coma	$2 \times 10^{-4}$
Efecto Poynting-Robertson	$5 \times 10^{-5}$
Colisiones con partículas de viento solar	$2 \times 10^{-5}$
Fuerza gravitatoria del cometa	$1 \times 10^{-5}$
Fuerza de Coulomb	$2 \times 10^{-7}$

(Vincent, 2010)

# Modelo Numérico: Fuerzas interactuantes

**Fuerza gravitatoria del Sol**

$$\vec{F}_G = -\frac{k^2 M_s m_d}{r^2} \hat{r}$$

**Presión de radiación**

$$\vec{F}_R = \frac{S_0 \pi s^2 Q_{pr}}{r^2 c} \hat{r}$$

**Modelo  
Numérico:  
Fuerzas  
interactuantes**

**Fuerza gravitatoria del Sol**

$$\vec{F}_G = -\frac{k^2 M_s m_d}{r^2} \hat{r}$$

**Presión de radiación**

$$\vec{F}_R = \frac{S_0 \pi s^2 Q_{pr}}{r^2 c} \hat{r}$$

$$\beta = -\frac{F_R}{F_G} = \frac{C_{pr} Q_{pr}}{2\rho_d s}$$

(Finson y Probstein, 1968)

**Modelo  
Numérico:  
Fuerzas  
interactuantes**

**Fuerza gravitatoria del Sol**

$$\vec{F}_G = -\frac{k^2 M_s m_d}{r^2} \hat{r}$$

**Presión de radiación**

$$\vec{F}_R = \frac{S_0 \pi s^2 Q_{pr}}{r^2 c} \hat{r}$$

$$\beta = -\frac{F_R}{F_G} = \frac{C_{pr} Q_{pr}}{2\rho_d s}$$

(Finson y Probstein, 1968)

$$\vec{F}_{tot} = \vec{F}_G + \vec{F}_R$$

$$\vec{F}_{tot} = -\frac{k^2 (1 - \beta) M_s m_d}{r^2} \hat{r}$$

**Modelo  
Numérico:  
Fuerzas  
interactuantes**

**Fuerza gravitatoria del Sol**

$$\vec{F}_G = -\frac{k^2 M_s m_d}{r^2} \hat{r}$$

**Presión de radiación**

$$\vec{F}_R = \frac{S_0 \pi s^2 Q_{pr}}{r^2 c} \hat{r}$$

$$\beta = -\frac{F_R}{F_G} = \frac{C_{pr} Q_{pr}}{2\rho_d s}$$

(Finson y Probstein, 1968)

$$\vec{F}_{tot} = \vec{F}_G + \vec{F}_R$$

$$\vec{F}_{tot} = -\frac{k^2 (1 - \beta) M_s m_d}{r^2} \hat{r}$$

$$\ddot{\vec{r}} = -\frac{k^2 M_s}{r^2} (1 - \beta) \hat{r}$$

**Modelo  
Numérico:  
Fuerzas  
interactuantes**

**Fuerza gravitatoria del Sol**

$$\vec{F}_G = -\frac{k^2 M_s m_d}{r^2} \hat{r}$$

**Presión de radiación**

$$\vec{F}_R = \frac{S_0 \pi s^2 Q_{pr}}{r^2 c} \hat{r}$$

$$\beta = -\frac{F_R}{F_G} = \frac{C_{pr} Q_{pr}}{2\rho_d s}$$

(Finson y Probstein, 1968)

$$\vec{F}_{tot} = \vec{F}_G + \vec{F}_R$$

$$\vec{F}_{tot} = -\frac{k^2 (1 - \beta) M_s m_d}{r^2} \hat{r}$$

$$\ddot{\vec{r}} = -\frac{k^2 M_s}{r^2} (1 - \beta) \hat{r}$$

$$\ddot{\vec{r}}_c = -\frac{k^2 M_s}{r_c^2} \hat{r}_c$$

**Modelo  
Numérico:  
Fuerzas  
interactuantes**

## Fuerza gravitatoria del Sol

$$\vec{F}_G = -\frac{k^2 M_s m_d}{r^2} \hat{r}$$

## Presión de radiación

$$\vec{F}_R = \frac{S_0 \pi s^2 Q_{pr}}{r^2 c} \hat{r}$$

$$\beta = -\frac{F_R}{F_G} = \frac{C_{pr} Q_{pr}}{2\rho_d s}$$

(Finson y Probstein, 1968)

$$\vec{F}_{tot} = \vec{F}_G + \vec{F}_R$$

$$\vec{F}_{tot} = -\frac{k^2 (1 - \beta) M_s m_d}{r^2} \hat{r}$$

$$\ddot{\vec{r}} = -\frac{k^2 M_s}{r^2} (1 - \beta) \hat{r}$$

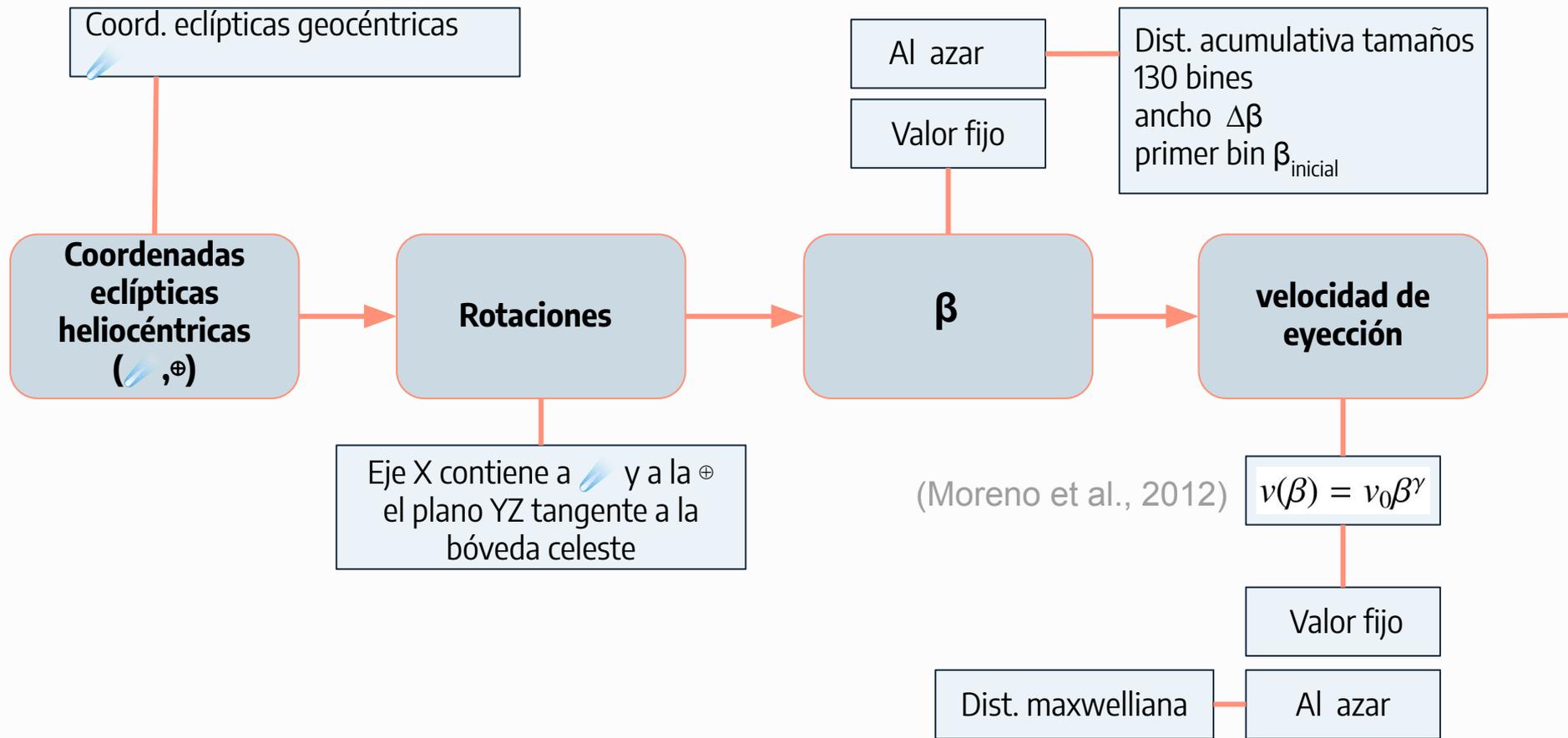
$$\ddot{\vec{r}}_c = -\frac{k^2 M_s}{r_c^2} \hat{r}_c$$

**Modelo  
Numérico:  
Fuerzas  
interactuantes**

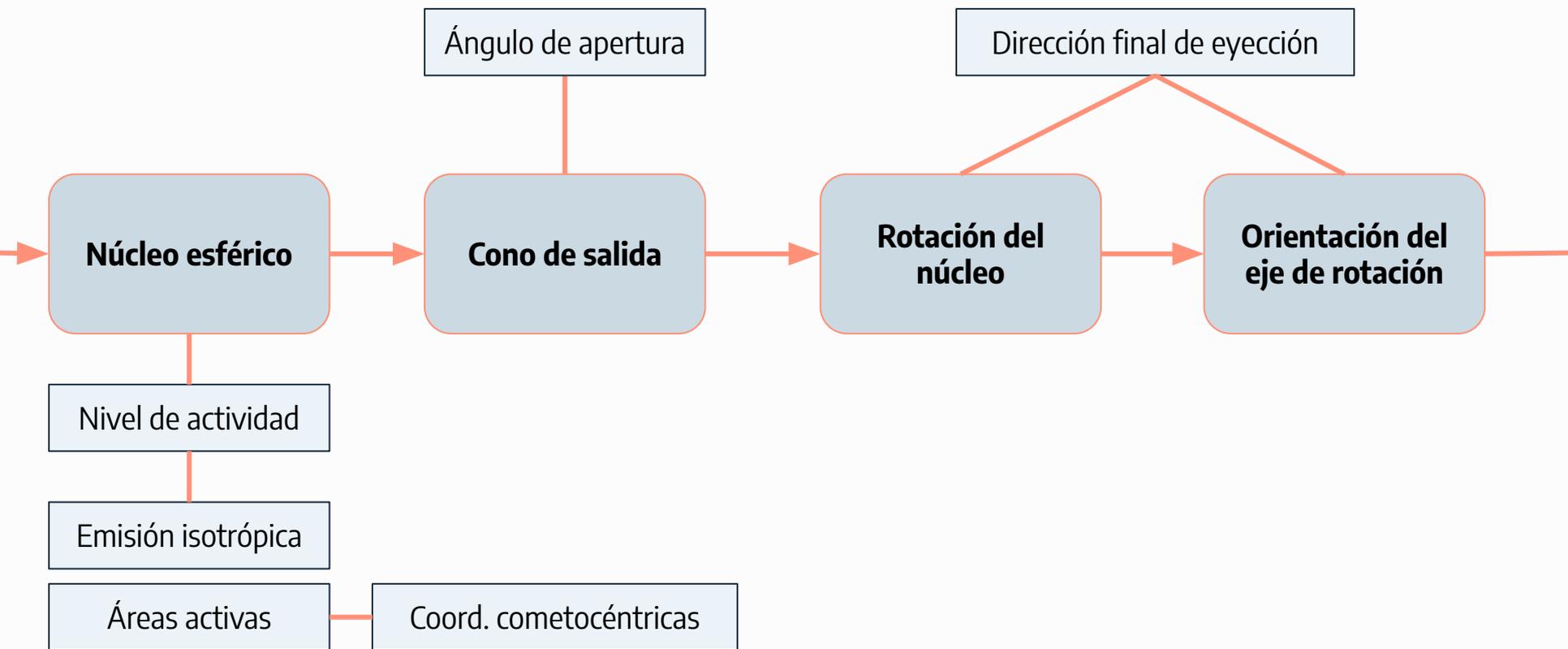


# Modelo Numérico: ¿Cómo funciona?

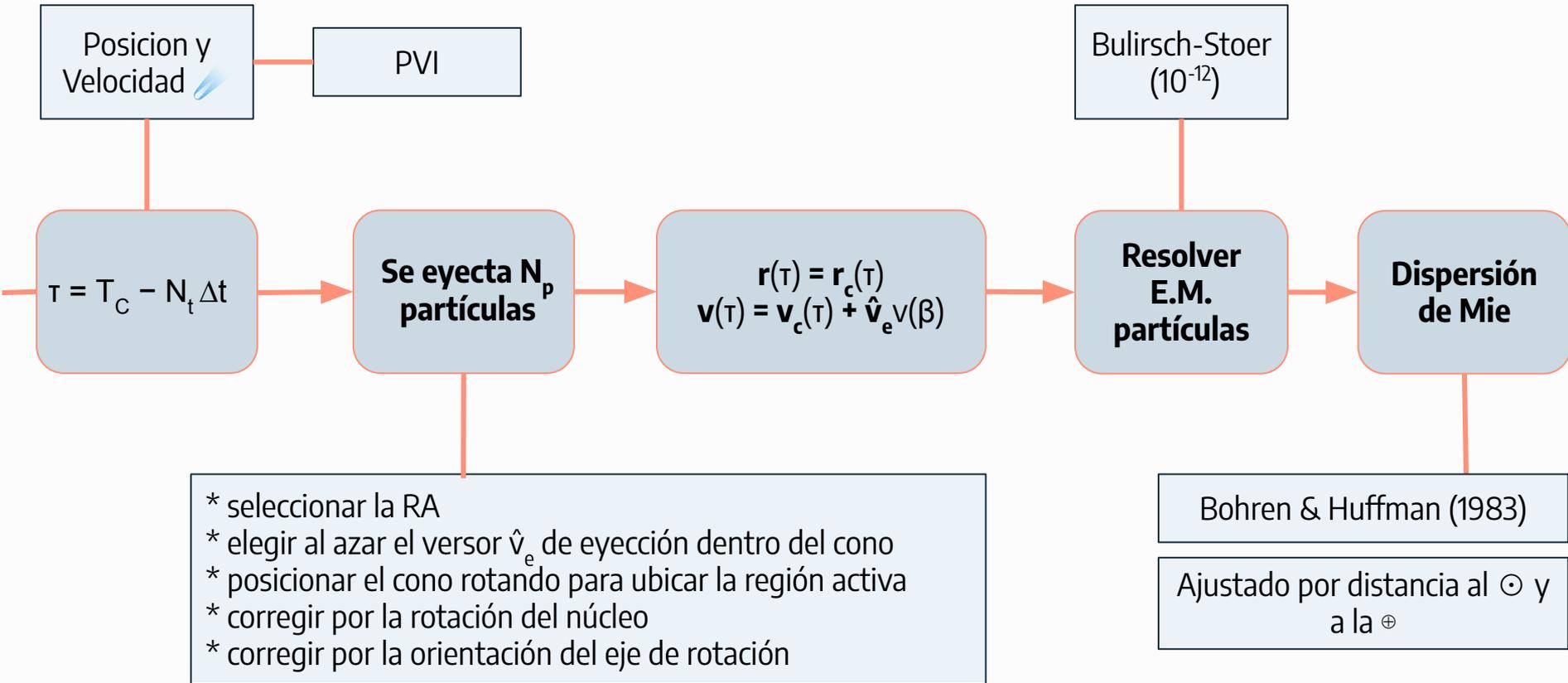
# Modelo Numérico: ¿Cómo funciona?



# Modelo Numérico: ¿Cómo funciona?



# Modelo Numérico: ¿Cómo funciona?



# Modelo Numérico: ajuste a imágenes reales

# Modelo Numérico: ajuste a imágenes reales



- El código ejecuta repetidamente el modelo con diferentes valores iniciales para las variables.
- Considera un tamaño de partícula fijo cada vez.



Arma una matriz A

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{F} = \mathbf{I}$$

# Modelo Numérico: ajuste a imágenes reales



- El código ejecuta repetidamente el modelo con diferentes valores iniciales para las variables.
- Considera un tamaño de partícula fijo cada vez.



Arma una matriz A

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{F} = \mathbf{I}$$

**SISTEMA  
SOBREDIMENSIONADO!!**

# Modelo Numérico: ajuste a imágenes reales



$$\mathbf{r} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{I}$$

$$\|\mathbf{r}\|_p = \|\mathbf{A} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{I}\|_p = \min \quad (\text{Branham, 1990})$$

# Modelo Numérico: ajuste a imágenes reales



$$\mathbf{r} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{I}$$

$$\|\mathbf{r}\|_p = \|\mathbf{A} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{I}\|_p = \min \quad (\text{Branham, 1990})$$

$p = 1 \rightarrow L1$   
sumas mínimas

$p = 2$   
mínimos cuadrados

$p = \infty$   
Chebyshev

# Modelo Numérico: ajuste a imágenes reales



$$\mathbf{r} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{I}$$

$$\|\mathbf{r}\|_p = \|\mathbf{A} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{I}\|_p = \min \quad (\text{Branham, 1990})$$

$p = 1 \rightarrow L1$   
sumas mínimas

$p = 2$   
mínimos cuadrados

$p = \infty$   
Chebyshev

# Modelo Numérico: ajuste a imágenes reales



$$\mathbf{r} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{I}$$

$$\|\mathbf{r}\|_p = \|\mathbf{A} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{I}\|_p = \min \quad (\text{Branham, 1990})$$

$p = 1 \rightarrow \text{L1}$   
sumas mínimas

$p = 2$   
mínimos cuadrados

$p = \infty$   
Chebyshev

$$F_i \geq 0$$

SLSQP

(Kraft, 1991)

# Modelo Numérico: ajuste a imágenes reales



$$\mathbf{r} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{I}$$

$$\|\mathbf{r}\|_p = \|\mathbf{A} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{I}\|_p = \min \quad (\text{Branham, 1990})$$

$p = 1 \rightarrow$  L1  
sumas mínimas

$p = 2$   
mínimos cuadrados

$p = \infty$   
Chebyshev

$$F_i \geq 0$$

SLSQP

(Kraft, 1991)

$$\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |I - I_{\text{modelada}}|$$

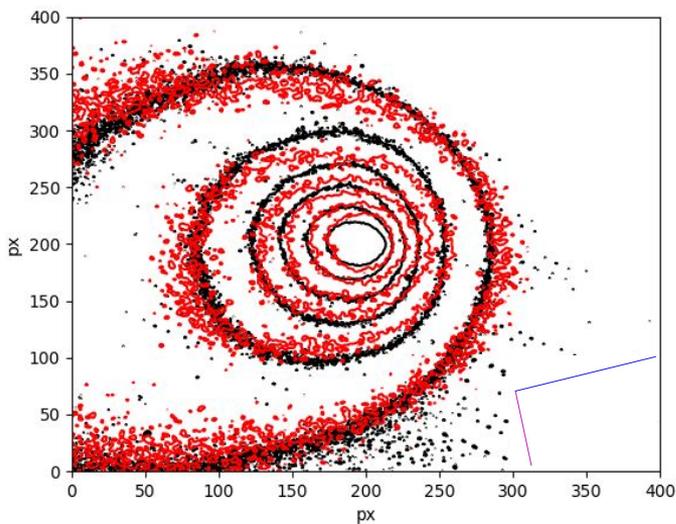
# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)

---

# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)

- Descubrimiento: Enero del 2021,  $r_h = 5$  au,  $V \sim 19$  (Leonard et al., 2022)
- Órbita elíptica  $\longrightarrow$  órbita hiperbólica
- Imágenes en los filtros de banda ancha B, V y R tomadas con el telescopio HSH de 0.6 m en CASLEO para el 21 y 23 de Diciembre de 2021

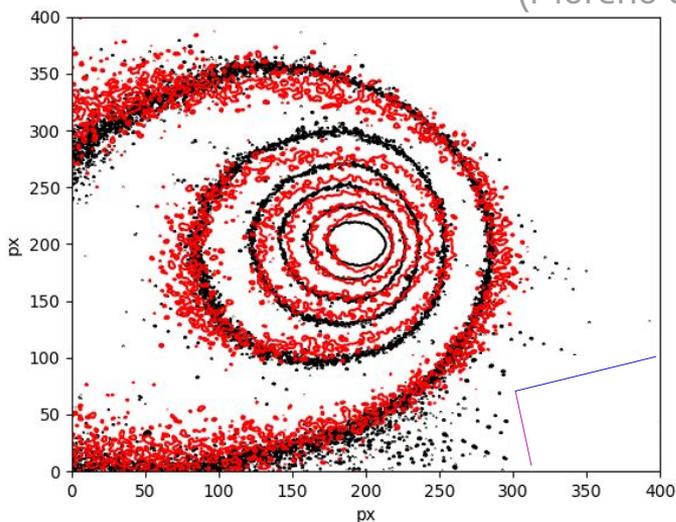
# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)



Parameter	Type of Parameter	Value
Grain density	Fixed	$1000 \text{ kg m}^{-3}$
Grain refractive index	Fixed	$m = 1.88 + 0.71i$
Ejection velocity: power index	Fixed	0.5
Size distribution: $\beta_{min}, \beta_{max}$	Fixed	0.01, 1.3
Size distribution: power index	Variable	-3.5
Nucleus rotation period	Fixed	15 hr
Time interval between positions	Variable	0.32 days
Pole position: heliocentric longitude and latitude	Variable	(250°, 10°)
Active areas location: longitude and latitude	Variable	AA1 = (180°, 80°) AA2 = (0°, -10°)
Integration steps numbers: $N_t$	Variable	200
Number of ejected particles in each integration step: $N_p$	Fixed	3000
Reference ejection velocity: $v_0$	Variable	$500 \text{ m s}^{-1}$
Cone angle width	Fixed	AA1 = 80° AA2 = 60°

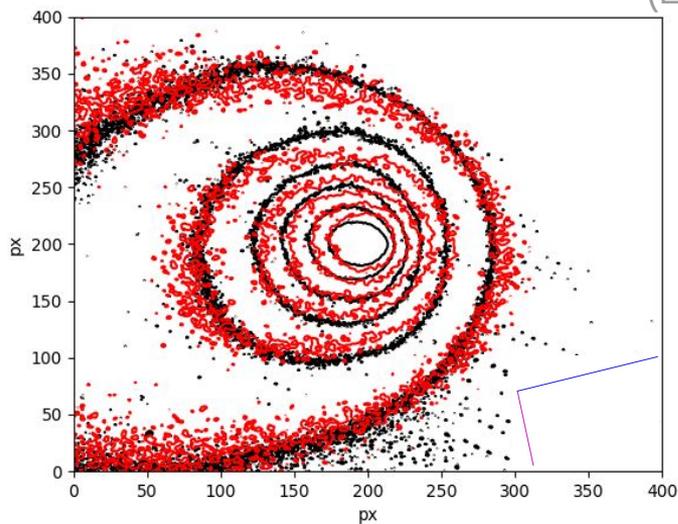
# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)

(Moreno et al., 2012)



Parameter	Type of Parameter	Value
Grain density	Fixed	$1000 \text{ kg m}^{-3}$
Grain refractive index	Fixed	$m = 1.88 + 0.71i$
Ejection velocity: power index	Fixed	0.5
Size distribution: $\beta_{min}, \beta_{max}$	Fixed	0.01, 1.3
Size distribution: power index	Variable	-3.5
Nucleus rotation period	Fixed	15 hr
Time interval between positions	Variable	0.32 days
Pole position: heliocentric longitude and latitude	Variable	(250°, 10°)
Active areas location: longitude and latitude	Variable	AA1 = (180°, 80°) AA2 = (0°, -10°)
Integration steps numbers: $N_t$	Variable	200
Number of ejected particles in each integration step: $N_p$	Fixed	3000
Reference ejection velocity: $v_0$	Variable	$500 \text{ m s}^{-1}$
Cone angle width	Fixed	AA1 = 80° AA2 = 60°

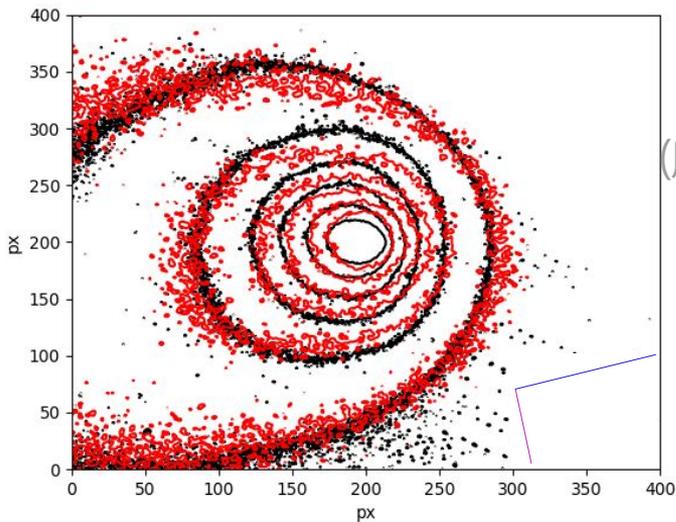
# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)



(Edoh, 1983)

Parameter	Type of Parameter	Value
Grain density	Fixed	$1000 \text{ kg m}^{-3}$
Grain refractive index	Fixed	$m = 1.88 + 0.71i$
Ejection velocity: power index	Fixed	0.5
Size distribution: $\beta_{min}, \beta_{max}$	Fixed	0.01, 1.3
Size distribution: power index	Variable	-3.5
Nucleus rotation period	Fixed	15 hr
Time interval between positions	Variable	0.32 days
Pole position: heliocentric longitude and latitude	Variable	(250°, 10°)
Active areas location: longitude and latitude	Variable	AA1 = (180°, 80°) AA2 = (0°, -10°)
Integration steps numbers: $N_t$	Variable	200
Number of ejected particles in each integration step: $N_p$	Fixed	3000
Reference ejection velocity: $v_0$	Variable	$500 \text{ m s}^{-1}$
Cone angle width	Fixed	AA1 = 80° AA2 = 60°

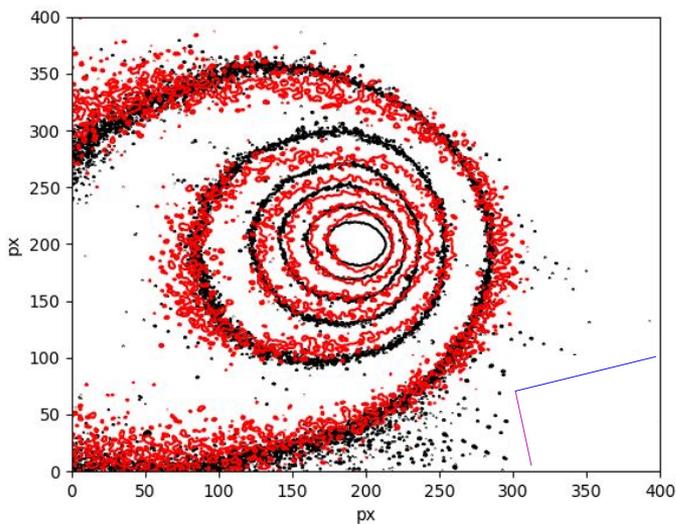
# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)



(Jewitt+2023)

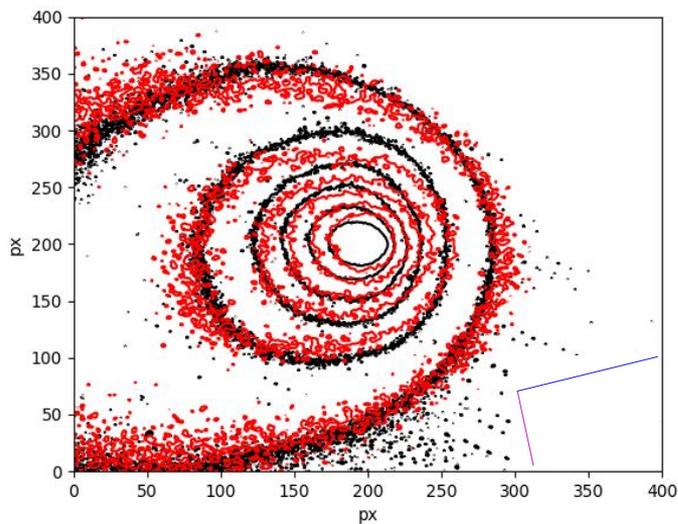
Parameter	Type of Parameter	Value
Grain density	Fixed	$1000 \text{ kg m}^{-3}$
Grain refractive index	Fixed	$m = 1.88 + 0.71i$
Ejection velocity: power index	Fixed	0.5
Size distribution: $\beta_{min}, \beta_{max}$	Fixed	0.01, 1.3
Size distribution: power index	Variable	-3.5
Nucleus rotation period	Fixed	15 hr
Time interval between positions	Variable	0.32 days
Pole position: heliocentric longitude and latitude	Variable	(250°, 10°)
Active areas location: longitude and latitude	Variable	AA1 = (180°, 80°) AA2 = (0°, -10°)
Integration steps numbers: $N_t$	Variable	200
Number of ejected particles in each integration step: $N_p$	Fixed	3000
Reference ejection velocity: $v_0$	Variable	$500 \text{ m s}^{-1}$
Cone angle width	Fixed	AA1 = 80° AA2 = 60°

# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)



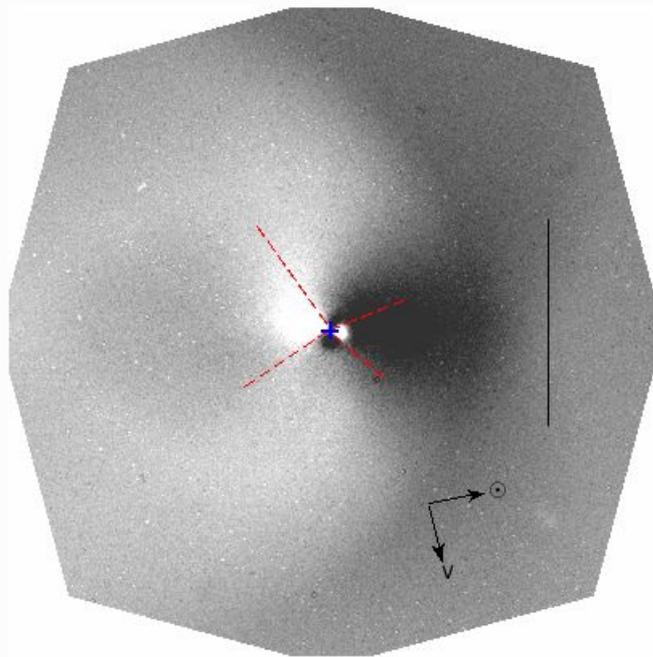
Parameter	Type of Parameter	Value
Grain density	Fixed	$1000 \text{ kg m}^{-3}$
Grain refractive index	Fixed	$m = 1.88 + 0.71i$
Ejection velocity: power index	Fixed	0.5
Size distribution: $\beta_{min}, \beta_{max}$	Fixed	0.01, 1.3
Size distribution: power index	Variable	-3.5
Nucleus rotation period	Fixed	15 hr
Time interval between positions	Variable	0.32 days
Pole position: heliocentric longitude and latitude	Variable	(250°, 10°)
Active areas location: longitude and latitude	Variable	AA1 = (180°, 80°) AA2 = (0°, -10°)
Integration steps numbers: $N_t$	Variable	200
Number of ejected particles in each integration step: $N_p$	Fixed	3000
Reference ejection velocity: $v_0$	Variable	$500 \text{ m s}^{-1}$
Cone angle width	Fixed	AA1 = 80° AA2 = 60°

# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)



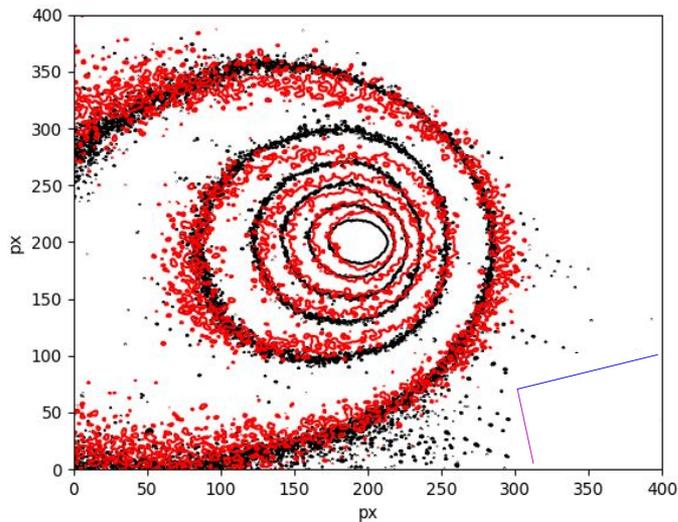
Parameter	Type of Parameter	Value
Grain density	Fixed	$1000 \text{ kg m}^{-3}$
Grain refractive index	Fixed	$m = 1.88 + 0.71i$
Ejection velocity: power index	Fixed	0.5
Size distribution: $\beta_{min}, \beta_{max}$	Fixed	0.01, 1.3
Size distribution: power index	Variable	-3.5
Nucleus rotation period	Fixed	15 hr
Time interval between positions	Variable	0.32 days
Pole position: heliocentric longitude and latitude	Variable	$(250^\circ, 10^\circ)$
Active areas location: longitude and latitude	Variable	AA1 = $(180^\circ, 80^\circ)$ AA2 = $(0^\circ, -10^\circ)$
Integration steps numbers: $N_t$	Variable	200
Number of ejected particles in each integration step: $N_p$	Fixed	3000
Reference ejection velocity: $v_0$	Variable	$500 \text{ m s}^{-1}$
Cone angle width	Fixed	AA1 = $80^\circ$ AA2 = $60^\circ$

# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)



Parameter	Type of Parameter	Value
Grain density	Fixed	$1000 \text{ kg m}^{-3}$
Grain refractive index	Fixed	$m = 1.88 + 0.71i$
Ejection velocity: power index	Fixed	0.5
Size distribution: $\beta_{min}, \beta_{max}$	Fixed	0.01, 1.3
Size distribution: power index	Variable	-3.5
Nucleus rotation period	Fixed	15 hr
Time interval between positions	Variable	0.32 days
Pole position: heliocentric longitude and latitude	Variable	(250°, 10°)
Active areas location: longitude and latitude	Variable	AA1 = (180°, 80°) AA2 = (0°, -10°)
Integration steps numbers: $N_t$	Variable	200
Number of ejected particles in each integration step: $N_p$	Fixed	3000
Reference ejection velocity: $v_0$	Variable	$500 \text{ m s}^{-1}$
Cone angle width	Fixed	AA1 = 80° AA2 = 60°

# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)



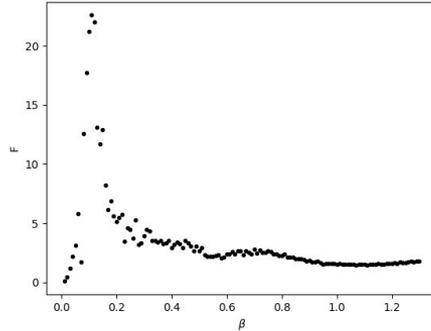
Parameter	Type of Parameter	Value
Grain density	Fixed	$1000 \text{ kg m}^{-3}$
Grain refractive index	Fixed	$m = 1.88 + 0.71i$
Ejection velocity: power index	Fixed	0.5
Size distribution: $\beta_{min}, \beta_{max}$	Fixed	0.01, 1.3
Size distribution: power index	Variable	-3.5
Nucleus rotation period	Fixed	15 hr
Time interval between positions	Variable	0.32 days
Pole position: heliocentric longitude and latitude	Variable	(250°, 10°)
Active areas location: longitude and latitude	Variable	AA1 = (180°, 80°) AA2 = (0°, -10°)
Integration steps numbers: $N_t$	Variable	200
Number of ejected particles in each integration step: $N_p$	Fixed	3000
Reference ejection velocity: $v_0$	Variable	$500 \text{ m s}^{-1}$
Cone angle width	Fixed	AA1 = 80° AA2 = 60°

# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)

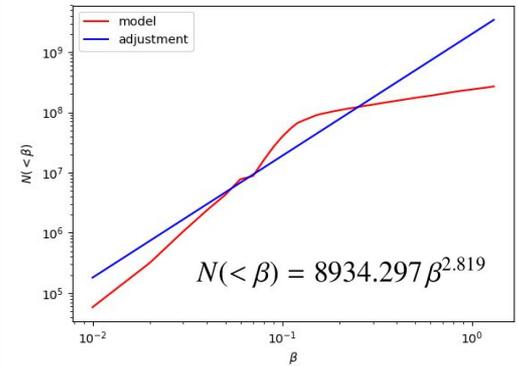
## Pérdida de masa

$$\frac{dM}{dt} = \frac{3C_{pr}Q_{pr}}{2A_p(\alpha)} \int_{\beta_i}^{\beta_f} \frac{F(\beta)}{\beta} d\beta$$

## Tamaño de partículas que dominan la coma



## Distribución de tamaños



# Conclusiones



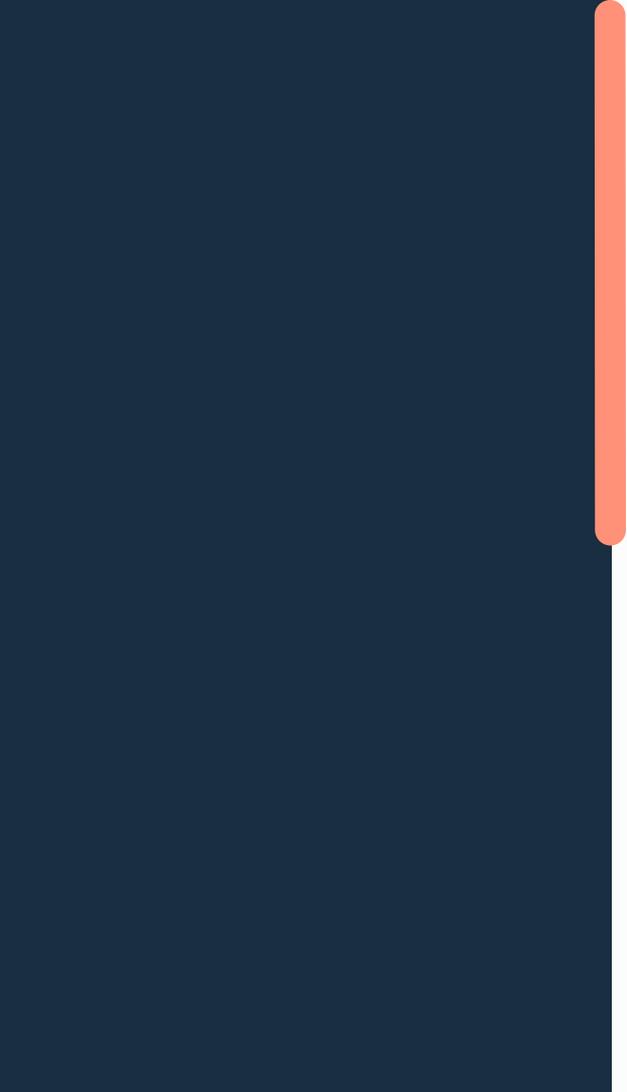
# Conclusiones

- Un buen modelado, pueden proporcionar información significativa, incluso de la propia superficie del núcleo que no es directamente observable desde la Tierra cuando el cometa está activo.
- Con este programa, ahora se cuenta con una nueva herramienta para la investigación de cometas que permite inferir parámetros importantes y da respuestas a la actividad de cualquier cuerpo para la cual las observaciones de la coma están disponibles.
- El modelo numérico desarrollado, tanto en términos de opciones de implementación como de resultados obtenidos, está al nivel del de otros autores.
- Complementado con otra información, puede aproximarnos a un buen entendimiento del comportamiento cometario.

# Conclusiones

- Un buen modelado, pueden proporcionar información significativa, incluso de la propia superficie del núcleo que no es directamente observable desde la Tierra cuando el cometa está activo.
- Con este programa, ahora se cuenta con una nueva herramienta para la investigación de cometas que permite inferir parámetros importantes y da respuestas a la actividad de cualquier cuerpo para la cual las observaciones de la coma están disponibles.
- El modelo numérico desarrollado, tanto en términos de opciones de implementación como de resultados obtenidos, está al nivel del de otros autores.
- Complementado con otra información, puede aproximarnos a un buen entendimiento del comportamiento cometario.

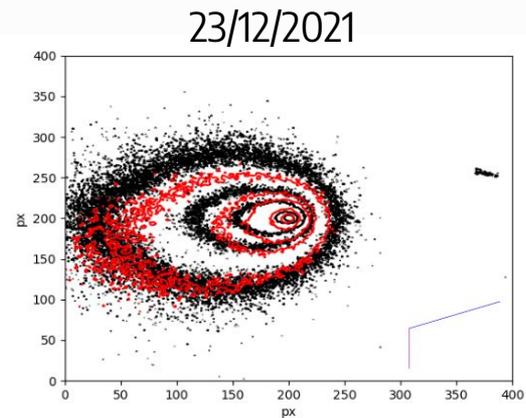
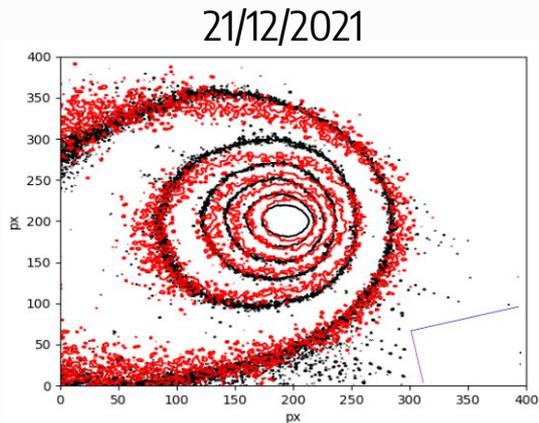
**MODELADO CON ESTIMACIÓN APROPIADA DEL PERÍODO DE ROTACIÓN**



¡GRACIAS!

# Resultados: C/2021 A1 (Leonard)

FILTRO V



FILTRO R

