

Tarea 4:
Masa de aislamiento
Ciencias Planetarias

Camilo Ospinal
Agosto, 2023

Introducción

La formación planetaria es un Battle Royale

Me saldré un poco de la rigurosidad hasta ahora tratada para revisar como la formación de planetas podría haber sido un juego web muy exitoso iniciando la segunda mitad de la anterior década que, además de haber sido muy divertido para la comunidad de internet de la época, habría podido ser extremadamente educativo enseñando de astronomía a la vez que se lo jugaba, permitame me explico: *Agar.io* es el nombre de un juego de internet desarrollado por el brasileño Matheus Valadares con 19 años en 2015, el juego ganó rápida popularidad a través del mundo por su simpleza y competitividad. El concepto es fácil, cada jugador maneja un círculo que puede comer material a su alrededor lo que permite que aumente de tamaño, también puede comerse a otros jugadores con tamaños inferiores, pero puede ser comido por jugadores con tamaños mayores. Es interesante saber que el contexto de juego es que cada jugador está manejando a una célula que vive dentro de una placa de Petri y el material primordial que consume es *agar*, una sustancia obtenida a partir de las paredes celulares de ciertas algas que se utiliza para el crecimiento de cultivos celulares en, como ha de adivinar, placas de Petri.

Imagine que hubieramos quedado imitar la formula de Agar.io o se nos hubiera ocurrido la idea antes que Matheus, pero en vez de utilizar células, utilizaramos nuestros conocimientos en formación planetaria. Podríamos construir un juego cuya zona de batalla sea el disco protoplanetario una vez la cuagulación de granos y los procesos aún no entendidos en el gas haya formado planetesimales de diámetros mayores a un metro. Cada jugador sería un planetesimal en formación, inmerso en una guerra en la cual debe buscar pasar de ser un planetesimal de unos 10 km de diámetro a un cuerpo prominente, respetable e imponente que domine totalmente la órbita, llegando a ser un planeta totalmente hecho y derecho. La materia prima de los jugadores planetesimales serían aquellos cuerpos pequeños no jugables de unos cuantos metros que sederían fácilmente a la gravedad provocada por sus masas, recorriendo el disco protoplanetario los jugadores comenzarian a incrementar su tamaño, encontrandose en el camino con otros jugadores planetesimales contra los que tienen que luchar. Si te encuentras a un planetesimal más pequeño, es la presa perfecta, puesto que tú gravedad sería mayor y podrías ir a su caza intentando que este caiga en tu zona de alimentación. Si te encuentras con un planetesimal más grande, para no caer ante su gravedad, tendrías que ir muy rápido, de tal forma que tú velocidad sea mayor que la velocidad de escape del otro jugador permitiendote huir. Encontrarse con un jugador de tu misma masa quizás no sea buena idea, puesto que los dos quedarían destruidos fusionandose en un solo cuerpo, por lo que el juego acabaría. Aunque realmente el choque entre dos cuerpos del mismo tamaño, si no es muy fuerte, los uniría creando un cuerpo mayor, pero en un juego dos jugadores no pueden manejar al mismo personaje, por lo que, gracias a cuestiones técnicas, el juego acabaría para ambos, dejando un pedazo de planetesimal no jugable que pueden disfrutar de comer los demás jugadores. Los jugadores planetesimales más grandes que se conviertan en planetoides comenzarían un proceso

de crecimiento desbocado debido a su gran masa, se tragarían a los demás jugadores con mucha facilidad, y les robarían a los planetesimales su material de crecimiento. Debido a que en cierto momento los jugadores planetoides serán muy grandes respecto a los jugadores planetesimales, y puesto a que ya han muerto bastantes de estos últimos, la tasa de crecimiento de los planetoides empezará a disminuir, no será tan rápida y solo será de crecimiento oligárquico. Como la masa en el disco no es infinita, es decir, programaríamos el juego de tal forma que los planetesimales como materia prima sean finitos y, claramente, los jugadores también, los jugadores planetoides sobrevivientes a esa gran guerra no podrán crecer para siempre, se alimentaran si acaso de lo que sobre, alcanzando la masa de aislamiento. La pelea final será entre los pocos jugadores que queden, el que haya tragado más ganará en los tiestazos, logrando ser un feliz y lindo planeta.

Cálculos

Pasemos de nuevo a la rigurosidad del asunto. Encontremos la masa de aislamiento de planetoides, M_{iso} , a 1 y 5 ua. La ecuación es la siguiente:

$$M_{iso} = \frac{8}{3} \pi^{3/2} C^{3/2} M_*^{-1/2} \Sigma_p^{3/2} a^3$$

Donde C es un parámetro dado que se propone como $\sim 3, 5$, M_* la masa de la estrella, en este caso una de tipo solar, Σ_p la densidad superficial del disco que puede ser tomada como constante a cualquier radio (Como en Armitage, 2009) o utilizar un para calcularlo, ya que la densidad cambia en función de la distancia a la estrella, en este caso el modelo de Ida & Lin (2008), finalmente a es la distancia orbital.

El modelo de Ida da la densidad superficial como

$$\Sigma_p = \Sigma_{p,10} \eta_{ice} f_p (r/10 \text{ AU})^{-q_p}$$

Donde el factor de normalización $\Sigma_{p,10} = 0,32 g \text{ cm}^{-2}$ corresponde a 1,4 veces el valor de Σ_p a 10 AU en el modelo MMSN. η_{ice} se lo toma como 1 para los radios menores a la línea de hielos y 4,2 para los radios mayores a la línea de hielos. f_p es un factor de escala que tomamos aquí como 1 y q_p es otro parámetro que varía desde 1 hasta 3, en esta oportunidad se tomará como 1,5.

Entonces, remplazando los datos en la ecuación, obtenemos para 1 AU:

$$\Sigma_p = 10,12 g \text{ cm}^{-2}$$

$$M_{iso} = 0,039 M_{\oplus}$$

Para 5 AU:

$$\Sigma_p = 3,80 g \text{ cm}^{-2}$$

$$M_{iso} = 9,06 M_{\oplus}$$

Conclusiones

Los resultados muestran que la densidad de polvo del disco tiende a decrecer con la distancia, lo que encaja con el análisis físico del problema de la formación de planetesimales en el disco protoplanetario. La gravedad de la naciente estrella tiende a traer con mayor fuerza a los objetos más grandes, estas partículas de polvo, al moverse entre el gas y polvo de su órbita experimentan fricción, perdiendo velocidad y empezando a caer al centro del disco. Por otro lado, se puede concluir que la masa de aislamiento de los cuerpos más allá de la línea de hielos tiende a ser mayor que la de aquellos que están antes de la línea de hielos, el parámetro η_{ice} juega un papel importante, si este mantuviera su valor de 1 más allá de la línea de hielos, la masa de aislamiento de los planetoides sería de $1 M_{\oplus}$ aproximadamente según el modelo seguido, lo que no produce

la gravedad suficiente para acretar el gas circundante y generar planetas gaseosos y helados. Cabe mencionar que sin importar que la densidad de polvo haya disminuido drásticamente con la distancia, a 5 AU los planetoides aún así logran acretar cantidades enormes de masa, estos dos resultados aparentemente contradictorios podrían explicarse considerando que, pese a que la densidad del disco a 5 AU es menor, el área recorrida por el planetóide es mayor, compensando lo anterior. O posiblemente esto se explique con otros procesos como la migración planetaria.

Finalmente, agregando estos resultados a nuestro juego propuesto al inicio, la arena de juego concentraría la mayor densidad de material acretable en el centro, obligando a los jugadores a tomar la decisión de acercarse y tratar de capturar la mayor cantidad de masa en un espacio pequeño o migrar a localizaciones alejadas con una densidad menor de polvo, pero un mayor espacio que recorrer.

References

- [1] Armitage, P. (2009). Observations of planetary systems. In *Astrophysics of Planet Formation* (pp. 1-33). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511802225.002
- [2] Ida, S., & Lin, D. N. C. (2004). Toward a deterministic model of planetary formation. i. a desert in the mass and semimajor axis distributions of extrasolar planets. *The Astrophysical Journal*, 604(1), 388-413. <https://doi.org/10.1086/381724>
- [3] Ida, S., & Lin, D. N. C. (2008). Toward a deterministic model of planetary formation. IV. Effects of Type I migration. *The Astrophysical Journal*, 673(1), 487-501. <https://doi.org/10.1086/523754>