# Astrofísica Computacional - Parcial 3

Pablo Agudelo Londoño

1. **Tiempo de cómputo:**

   Al buscar sus vecinos en una zona delimitada en vez de en la totalidad de partículas el tiempo de cómputo se reduce mucho con el algoritmo *linked list*. En la figura 1 se puede observar la diferencia, tomada corriendo el programa de la siguiente forma:

   ```
   time ./sph_mod.out 4000
   ```

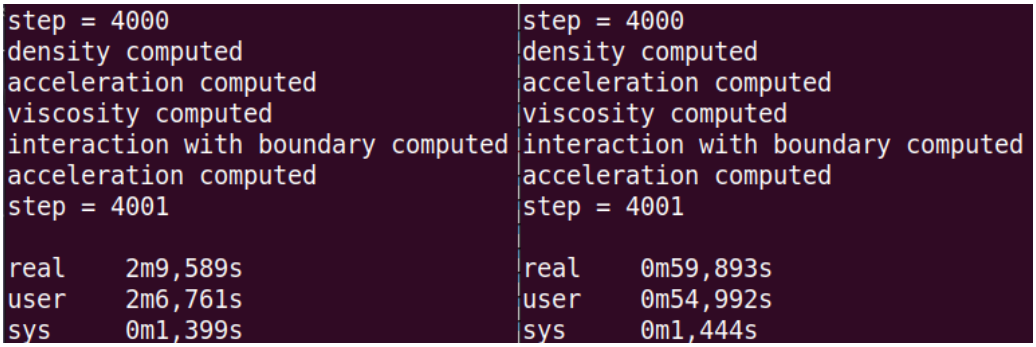


Figura 1: A la izquierda se encuentra el algoritmo original, a la derecha se encuentra el algoritmo *linked list*.

   Como se puede observar, el tiempo de cómputo se reduce a más de la mitad. Los tiempos totales dependen mucho de la capacidad de cómputo de la máquina, por lo que enfatizo que el programa fue compilado y ejecutado en el computador donde siempre me hago en clase.

2. **Resolución temporal:**

   Primero se tomaron valores de dt de órdenes de magnitud $\geqslant 10^{-3}$ y se pudo ver en la simulación lo inestable que es el método de integración LeapFrog con pasos muy grandes como se observó en el primer parcial; no hay ninguna imagen pues todas las partículas rápidamente escapan de la simulación. El órden de magnitud en el que el integrador empieza a converger es $10^{-4}$, y se observa que la simulación se desarrolla mucho más rápido que la original, pues los cambios de las partículas en posición y velocidad en cada frame son mayores, como se observa en el siguiente gif.

   Finalmente se tomó un orden de magnitud de $10^{-8}$, y al principio la simulación se vio estática. Al iniciar la simulación de los vectores se observa que sí ocurre un cambio, como se ve en el siguiente gif. Paralelo al caso anterior, la simulación se desarrolla más lento pues los cambios en los parámetros de las partículas son menores.

3. **Dominio de soporte:**

   El dominio de soporte es dependiente del valor de $\kappa$. Las simulaciones previas, junto con el tiempo de casi un minuto, son tomadas con un valor de $\kappa = 2$. Tomando un valor más grande se observa que la simulación corre de manera más suave, pues cada partícula interactúa con más vecinos haciendo que los cambios en velocidad, posición y energías sean más naturales. Se puede observar en el siguiente gif.
   Tomando un valor de $\kappa \leqslant 2$ se puede observar en el siguiente gif que el comportamiento de cada partícula se vuelve cada vez más errático. Esto es debido a que una partícula interactúa con menos vecinos, haciendo que el intercambio de energía sea menos realista y eficiente.
   Se evidencia también un cambio en el tiempo de cómputo, como se observa en la figura 2.

```
step = 4000
density computed
acceleration computed
viscosity computed
interaction with boundary computed
acceleration computed
step = 4001

real    2m9,589s
user    2m6,761s
sys     0m1,399s
```

```
step = 4000
density computed
acceleration computed
viscosity computed
interaction with boundary computed
acceleration computed
step = 4001

real    0m59,893s
user    0m54,992s
sys     0m1,444s
```

Figura 2: A la izquierda está el aumento del dominio de soporte, a la izquierda se encuentra un dominio de soporte menor. La diferencia de tiempos es causada porque en un caso la partícula tiene que analizar más vecinos que en la situación original, y paralelamente en el otro caso la partícula tiene menos vecinos con los que interactuar.

4. **Viscosidad artificial:**

   El modelo de viscosidad artificial es el dado por J.J. Monaghan[1].
   El término $\alpha$ es prácticamente el nivel de viscosidad del fluido. Al tomar valores muy altos como en el gif, en el que se tomó un valor de 10 sin modificar el beta, se observa que llega un punto en el que varias partículas en la esquina superior derecha presionan con más fuerza las paredes hasta que la simulación se quiebra. Si se toma un valor de alfa mucho menor esto también ocurre, pues hay una acumulación de partículas en esta esquina que si bien no presionan con tanta fuerza, son muchas partículas presionando.
   El término $\beta$ modifica el flujo de partículas que entra en un volumen determinado. Al incrementarlo la simulación se inestabiliza rápidamente. Sin embargo, por más que lo disminuí (tomando hasta valores de 0,00001) la simulación corrió sin más inestabilidad que un punto en la esquina superior derecha.
   Los tiempos de cómputo oscilan alrededor de un minuto, por lo que no podría determinar si el cambio estos valores influye en esto.

5. **Interacción con las fronteras:**

   En este punto se modificará la función boundaryInteraction().

   El valor de la distancia en que las partículas comienzan a interactuar con la frontera es dado por $r0$. Tomando un valor de dx/2.0 tenemos la simulación normal.
   Incrementando este valor las partículas empiezan a estar más apretadas por las interacciones con las fronteras y el intercambio de energía será tan inestable que muchas partículas se escaparán hasta que las pocas que queden se estabilicen en sus interacciones. Disminuyendo este valor las partículas que se acumulan en la esquina superior derecha interactúan a distancias tan bajas que la intensidad de su interacción puede no ser suficiente para detener su movimiento como se ve en la siguiente imagen:

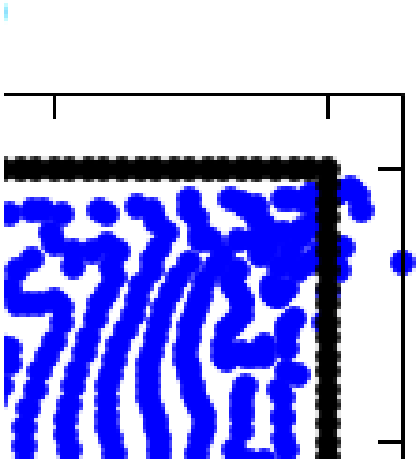

Figura 3: Partículas escapando de la simulación.

[1] Monaghan, J. J. (1994). Simulating free surface flows with SPH. Journal of Computational Physics, 110(2), 399–406.

El valor que modifica la intensidad de la interacción es dado por $D$. Tomando un valor de $D = 0{,}01$ tenemos la simulación original.
Tomando un valor de $D = 1$ muchos puntos del fluido se inestabilizan debido a esta fuerte interacción con las paredes. Tomando un valor de $D = 0{,}001$ las interacciones en la esquina superior derecha se hacen tan mínimas que las partículas comienzan a filtrarse por las paredes.

6. **Velocidad media:**

   El valor del peso promedio de velocidades es modificado por el epsilon de la función meanVelocity(). Esta función analiza las velocidades de las vecinas de una partícula, y escencialmente resta este valor del promedio de velocidad en el "sector.ª la velocidad de la partícula en cuestión. Esto suaviza las interacciones no solo entre partículas de fluído, sino también con las paredes, generando una simulación estable y adecuada a la realidad. El épsilon es qué tanto se considera esta velocidad media, y es un valor porcentual.

   Con el valor dado de 0.3 (el 30 %) se tiene la simulación inicial y estable.

   Si no se toma este valor la repulsión de las partículas paredes hace que todas las partículas tiendan en un principio a ir hacia al centro, pero después de unos momentos se vuelven a distribuir de forma desordenada (a excepción de las partículas superiores que adquieren más o menos este movimiento de cizalladura.

   Tomando un peso del 10 % todavía ocurre este movimiento en dirección al centro, sin embargo en poco tiempo el movimiento de cizalladura comienza a verse de forma más notable y más o menos estable, con minúsculas inestabilidades en la esquina inferior izquierda (la más alejada del movimiento).

   Tomando un peso del 50 % las partículas de arriba .ºplotan"brevemente al acumularse tantas diferencias de velocidad. Se busca continuar con el movimiento, sin embargo en la esquina superior derecha se generan continuamente grandes inestabilidades.

   Al tomarse un peso del 100 % la simulación está en su punto más inestable.

7. **Fronteras**

   La velocidad de la frontera está dada por la variable vBoundary en en la función de las condiciones iniciales, ics(). El valor inicial es de 1.5e-2.

   Al disminuir este valor, el movimiento de cizalladura se hace mucho menor y el fluido no se mueve tanto. Generalmente, por más que se baje (mientras no supere el límite de la máquina) la simulación será estable.

   Al incrementar un poco este valor el movimiento se hace más veloz; aunque si se incrementa mucho la simulación se vuelve inestable.

   Mientras se tenga este valor inicial, o uno cercano que mantenga la estabilidad, se pueden cambiar las diferentes velocidades de las fronteras. En partícular, si se eliminan los comentarios predeterminados para las velocidades en las fronteras, genera un efecto remolino observado en este gif