

Detección de Exoplanetas y Cómputo Paralelo

Jesús Hidalgo^a, Mariela Galdamez^a, Pamela Chirino^a, Paola CaymesScutari^{a,b}, y Germán Bianchini^a

^aLaboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD)
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Mendoza,
Universidad Tecnológica Nacional. (M5502AJE) Mendoza, Argentina
{jesus.hidalgo, mariela.galdamez, pamela.chirino}@alumnos.frm.utn.edu.ar.
gbianchini@frm.utn.edu.ar.

^b Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar.

Resumen

Un planeta extrasolar o exoplaneta es un planeta que orbita una estrella madre diferente al Sol y que, por lo tanto, no pertenece al sistema solar. Encontrar exoplanetas es una tarea de alta complejidad, ya que los planetas constituyen una fuente de luz extremadamente tenue en comparación con la estrella a la que orbitan. Tres de los métodos de detección más utilizados son el método de tránsito, de velocidad radial y el método de microlentes gravitacionales. Estos métodos proveen datos a través de sistemas informáticos que permiten la detección de un exoplaneta. Sin embargo, se requieren no solo altas capacidades computacionales sino tiempo para el cómputo y análisis. Por ello, consideramos que el paradigma del cómputo paralelo/distribuido podría colaborar en esta problemática.

Categoría Trabajos de alumnos: Extra cátedra. Trabajo vinculado a Beca de Investigación realizado por un alumno de primer año de Ing. en Sist. de Información

1. Introducción

Los planetas extrasolares se convirtieron en objeto de investigación científica en el siglo XX. Muchos astrónomos suponían su existencia, pero carecían de medios para identificarlos. La primera detección confirmada de un planeta extrasolar, nombrado Dimidio, orbitando alrededor de una estrella de la secuencia principal (se refiere a la región del diagrama de Hertzsprung - Russell donde se compara las estrellas en base a su tipo versus su brillo), se hizo en 1995. Desde entonces el número de hallazgos ha crecido año tras año [1][11].

Al 28 de agosto del 2019 se han descubierto 4107 sistemas planetarios que contienen un total de 3057 cuerpos planetarios, 667 de estos sistemas son múltiples, 361 tienen un gran parecido a la tierra y 149 de estos planetas están por encima de las 13 M_J (1 M_J es la masa de Júpiter). Esto demuestra que no es fácil detectar planetas del tamaño de la tierra. [2]

Es un hecho que ciertos científicos estén interesados en la posibilidad de encontrar hogares alternos a la tierra porque, como es bien sabido lamentablemente, nuestro planeta pareciera tener fecha de caducidad. El objetivo es que el fin de la Tierra no signifique el fin de la humanidad.

Mucha gente cree que es tan fácil como utilizar un telescopio y observar el cielo, pero no es tan sencillo. Uno de los telescopios más potentes, el E-ELT, ofrece una resolución máxima de 0,001 segundos de arco. Este dato por sí solo no dice mucho, pero podría ser decepcionante si se analiza cuál sería el objeto más grande que podría enfocar en Alfa Centauri, el sistema solar más próximo a nosotros (4,37 años luz). Sólo podríamos observar objetos con un tamaño superior a unos 200.000 kilómetros, envergadura que supera con creces los casi 13.000 kilómetros del diámetro terrestre o los 140.000 de Júpiter. Mostrando una vez más la dificultad de encontrar planetas similares a la Tierra.

Los programas de búsqueda de planetas han descubierto planetas orbitando alrededor de una fracción sustancial de las estrellas que se han estudiado. Sin embargo, la fracción total de estrellas con planetas es incierta debido a efectos de selección observacional. El método de velocidad radial y el método de tránsito (los

cuales son responsables de la gran mayoría de las detecciones) son más sensibles a los grandes planetas en órbitas pequeñas. Por esa razón, muchos exoplanetas conocidos son del tipo “Júpiter caliente” (planetas de alrededor de la masa de Júpiter en órbitas muy pequeñas, con períodos de solamente algunos días). Ahora se sabe que entre el 1% al 1.5% de las estrellas como el Sol poseen ese tipo de planetas, donde la estrella parecida al Sol se refiere a cualquier estrella de secuencia principal de clases espectrales F, G o K sin un compañero estelar cercano. El descubrimiento de planetas extrasolares ha intensificado el interés en la posibilidad de vida extraterrestre. Se estima además que entre el 3% al 4,5% de las estrellas parecidas al Sol poseen un planeta gigante con un período orbital de 100 días o menos, donde “planeta gigante” significa un planeta de por lo menos treinta masas de la Tierra (M_T).[3]

Se estima que los planetas pequeños (con similar masa a la de la Tierra) serían más comunes que los planetas gigantes. También pareciera que los planetas en órbitas de gran tamaño podrían ser más comunes que los de pequeñas órbitas. Y se estima que quizás el 20% de las estrellas parecidas al Sol tienen por lo menos un planeta gigante, mientras que por lo menos el 40% pueden tener planetas de masas más bajas.

Independientemente de la fracción exacta de las estrellas con planetas, el número total de exoplanetas pareciera ser muy grande. Nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, tiene al menos 100.000 millones de estrellas, y debería también contener miles de millones de planetas si no cientos de miles de millones de ellos.

En enero de 2013, los astrónomos del Centro Harvard-Smithsonian para Astrofísica (CfA) utilizaron datos de Kepler para estimar que “por lo menos 17.000 millones” de exoplanetas del tamaño de la Tierra residen en la Vía Láctea. Para noviembre de 2014, los nuevos datos elevaron las estimaciones a 40.000 millones de exoplanetas terrestres orbitando a sus estrellas en la zona habitable, definida como el intervalo de distancias a una estrella donde la temperatura sea la adecuada para que exista agua líquida en la superficie de un planeta, de los cuales 11000 millones de ellos están en torno a cuerpos estelares similares al Sol.

Si bien existe gran cantidad de planetas, en la mayoría de ellos se ha descubierto una gran acumulación de gases tóxicos en las atmósferas lo que les hace inadecuados para la vida compleja tal como la conocemos. Ello complejiza las búsquedas, por lo que científicos se centran en la búsqueda de la denominada “zona habitable”.

Pero no alcanza sólo con buscar en la zona habitable ya que al tener en cuenta los niveles esperados de ciertos gases tóxicos, la zona segura para la vida compleja se reduce hasta la mitad, y en algunos casos desaparece completamente. Usando modelos por computadora para

estudiar el clima atmosférico y la fotoquímica en varios planetas los investigadores consideraron primero el dióxido de carbono. Para mantener el agua líquida en la superficie de un planeta situado en el límite de la zona de habitabilidad, sería necesaria una cantidad de dióxido de carbono decenas de miles de veces mayor que la que existe actualmente en la Tierra. Esto supera con creces los límites que sabemos son tóxicos para la vida humana y animal de la Tierra.

En el caso de algunas estrellas, como Próxima Centauri, no existe zona segura. El tipo e intensidad de radiación ultravioleta que emiten estas estrellas frías puede producir altas concentraciones de monóxido de carbono.

En las siguientes secciones se describirán los métodos de detección más importantes y luego desarrollaremos nuestra propuesta para mejorar el tiempo de cómputo utilizando el paradigma de paralelismo.

2. Método Directo

Obtener imágenes o fotografías de los planetas extrasolares ha sido uno de los objetivos más deseados de la investigación exoplanetaria. Las fotografías, ya sea de luz visible o infrarrojas, podrían revelar mucha más información sobre un planeta que cualquier otra técnica conocida. Sin embargo, esto ha resultado ser mucho más difícil técnicamente que cualquiera de las otras técnicas disponibles. Esto se debe a que los planetas son una fuente de luz (reflejada) muy tenue en comparación con sus estrellas, en longitudes de onda visibles; por lo general tienen menos de una millonésima del brillo de su estrella madre. Por ello es sumamente difícil detectar este tipo de fuente de luz tenue (además la estrella madre tiene una luz deslumbrante que casi lo hace imposible) pero es posible si los planetas cumplen una serie de requisitos como estar relativamente cerca de la Tierra u orbitar a una distancia lo suficientemente grande como para distinguir la luz reflejada por estos de la de su estrella. Entonces podrían apreciarse como entidades separadas y verse a través de imágenes directas, siempre y cuando se bloquee de alguna forma la luz directa de la estrella con un coronógrafo (un dispositivo que se puede acoplar a un telescopio bloqueando la luz de un objeto central y permitiendo observar objetos débilmente iluminados cerca de una estrella).

Por las razones expuestas, los telescopios han fotografiado directamente no más de una decena de exoplanetas. Esto sólo ha sido posible para planetas que son especialmente grandes (por lo general mucho más grandes que Júpiter) y muy distantes de su estrella madre. La mayoría de las imágenes de planetas han sido hechas en infrarrojos en vez de longitudes de onda visibles, con

el fin de reducir el problema del resplandor de la estrella madre. Un ejemplo de esto se puede apreciar en la Figura 1 donde el cuerpo central es la enana marrón 2M1207 y el planeta 2M1207b que la orbita.



Figura 1. Primera imagen directa de un planeta extrasolar.[4]

3. Método de velocidades Radiales

La velocidad radial es la velocidad de un objeto a lo largo de la línea visual del observador. Esto es la componente de la velocidad con la que el objeto se acerca (Corrimiento al azul) o aleja (Corrimiento al rojo) del observador, aunque no se mueva exactamente en dirección de colisión con el observador. El corrimiento al rojo hace referencia a un incremento en la longitud de onda de radiación electromagnética, conocida como luz visible, recibida por un detector comparado con la longitud de onda emitida por la fuente, esto implica que la luz que emite el objeto se desplaza hacia el rojo al final del espectro electromagnético. En el caso del corrimiento al azul, implica que la longitud de onda se disminuye haciendo que la luz se desplace hacia el azul al principio del espectro electromagnético (ver Figura 2 [12]).

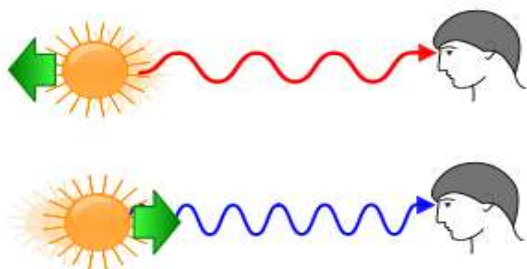


Figura 2. Desplazamiento de la longitud de onda (arriba rojo, abajo azul).[12]

La velocidad radial de una estrella u otros objetos luminosos pero distantes se puede medir con precisión, tomando una alta resolución del espectro y comparando las medidas de longitud de onda de conocidas líneas espectrales con longitudes de onda a partir de mediciones hechas en un laboratorio. Por convención, una velocidad radial positiva indica que el objeto se aleja, mientras que, si el signo es negativo, entonces el objeto se acerca.

Las estrellas no permanecen estáticas mientras los planetas orbitan alrededor, sino que ambos orbitan como en una danza alrededor del centro de masas del sistema y como la estrella es muchísimo más masiva, el punto se encuentra en el interior cercano a la estrella (ver Figura 3).

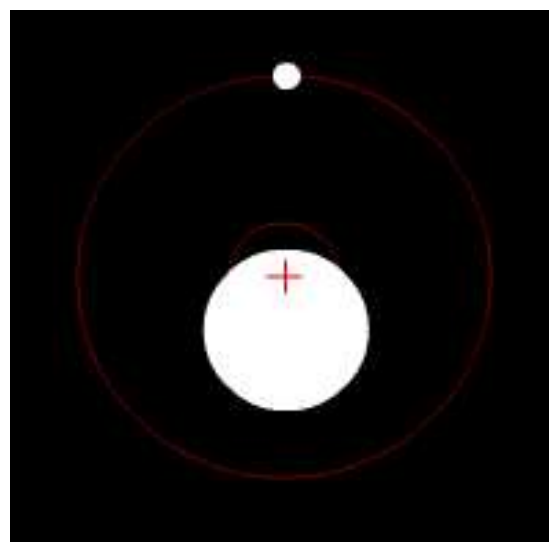


Figura 3. Centro de masa común (cruz del centro).[5]

Estos sutiles cambios en la posición y la velocidad de la estrella son suficientes para producir un corrimiento al rojo o al azul, y son detectables mediante un estudio denominado espectroscopia Doppler que se basa en el efecto Doppler, donde el planeta, al orbitar la estrella madre, ejerce también una fuerza gravitacional sobre ésta de manera que la estrella gira sobre el centro de masa común del sistema. Las oscilaciones de la estrella pueden detectarse mediante leves cambios en las líneas espectrales según la estrella se acerca al observador (corrimiento hacia el azul) o se aleja (corrimiento al rojo).

Este método ha sido el más exitoso en la búsqueda de nuevos planetas, aunque es más eficaz detectando planetas gigantes más cercanos a la estrella principal, ya que estos producen mayor oscilación.

Pero no en todos los casos se puede utilizar este método ya que, si el plano que define la órbita es

perpendicular al observador, no será posible detectar ningún cambio en el brillo de la estrella, y por lo tanto no se podrá saber si existe un planeta en el sistema. A no ser que, mediante una técnica denominada Astrometría, se detecte el minúsculo movimiento de esta con respecto a estrellas vecinas. Este movimiento es tan complicado de detectar que es muy inusual detectar planetas de esta forma, de hecho, sólo se ha descubierto un planeta con la técnica de astrometría: Gliese 876b. [6]

4. Método de Microlentes Gravitacionales

El efecto de lente gravitacional ocurre cuando los campos de gravedad del planeta y la estrella actúan para aumentar o focalizar la luz de una estrella distante. Para que el método funcione, los tres objetos tienen que estar casi perfectamente alineados. El principal defecto de este método es que las posibles detecciones no sean repetibles, ya que el alineamiento se tiene que cumplir más de una vez para que se pueda determinar efectivamente una microlente, por lo que el planeta así descubierto debería ser estudiado adicionalmente por alguno de los métodos anteriores.

Unos 45 planetas han sido descubiertos utilizando microlentes. Esta técnica permite descubrir incluso los exoplanetas más pequeños gracias a una consecuencia de la teoría de la relatividad general de Einstein. Cualquier objeto con masa produce una deformación en el espacio-tiempo, de forma que la luz que pasa por sus inmediaciones es desviada produciendo un efecto (lupa), y de ahí su denominación de microlentes.[7]

Un sistema planetario, al pasar por delante de una estrella más distante, produce una curva de intensidad lumínica muy característica debido a la aportación del exoplaneta a dicha microlente gravitatoria.

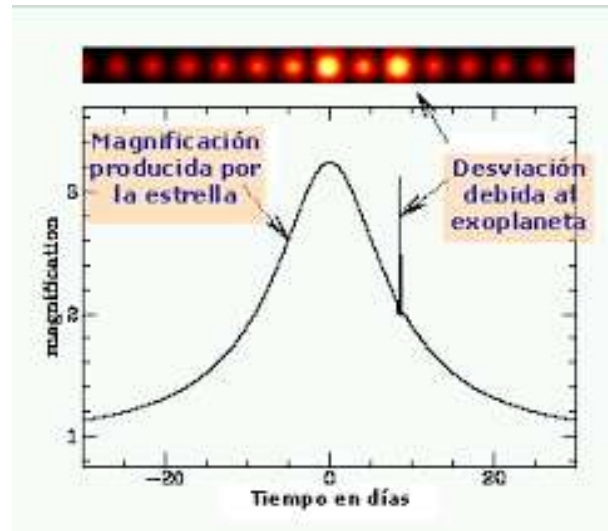


Figura 4. Ejemplo de microlente.

Como puede observarse en la Figura 4, el brillo de la estrella más cercana llega a un aumento elevado de su brillo producto de eclipsar a la estrella más lejana. Vemos este aumento en el brillo por los efectos de la Teoría de la Relatividad, y además podemos visualizar en la gráfica una oscilación de la curvatura de manera repentina. Esta variación es debido a la aparición de un exoplaneta orbitando la estrella más cercana.

5. Método de Tránsitos

Consiste en observar fotométricamente la estrella y detectar sutiles cambios en la intensidad de su luz cuando un planeta orbita por delante de ella (ver Figura 5). Esta disminución es de alrededor de 1/10.000 para planetas del tipo de la Tierra y el intervalo que dura su tránsito es de 1-16 horas para planetas del tipo de la Tierra, aunque esto depende mucho del tamaño del planeta y de su distancia a su estrella. Esta pequeña variación en brillo de la estrella se produce de forma periódica cada vez que el planeta realiza un tránsito (para planetas del tipo de la Tierra cada tránsito ocurre 1 vez al año y se necesitan al menos observar 3 tránsitos para que la secuencia sea fiable). El tipo de tránsito más conocido, por su espectacularidad, es el eclipse solar, en el que es la Luna la que cubre la vista del Sol.

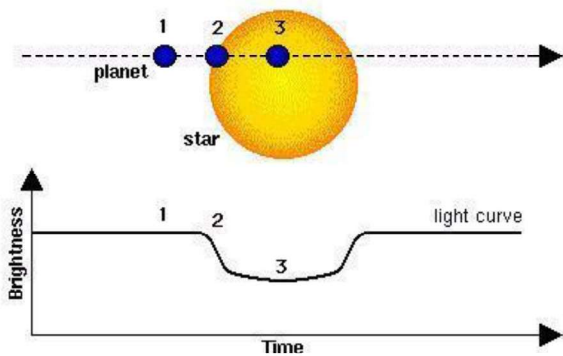


Figura 5. Ejemplo de tránsito.

El método de tránsitos, junto con el de la velocidad radial, puede utilizarse para caracterizar mejor la atmósfera de un planeta, como en los casos de HD209458b y los planetas OGLE-TR-40 y OGLE-TR-10. Este método, al igual que el de la velocidad radial, encuentra de forma más eficiente planetas de gran volumen, pero tiene la ventaja de que la cercanía del planeta a la estrella no es relevante, por lo que el espectro de planetas que puede detectar aumenta considerablemente. Los avances tecnológicos en fotometría han permitido que la sonda Kepler, lanzada en 2009, tenga sensibilidad suficiente como para detectar planetas del tamaño de la Tierra, hecho que sucedió a finales de 2011 con el descubrimiento de los planetas Kepler-20e y Kepler-20f.

Con este método no sólo podemos saber si hay o no un planeta, sino también su tamaño o incluso su composición haciendo un estudio de espectrometría (espectro de luz).

Si bien dicho método es uno de los más exitosos, lamentablemente sólo es válido cuando la estrella transita entre su estrella y la línea de visión del observador. Si su órbita no resulta estar alineada, no podremos ver su tránsito y por tanto no se podrá detectar (al menos de esta forma).

Además, la variación de tiempo de tránsito (VTT) proporciona un método extremadamente sensible capaz de detectar planetas adicionales en el sistema con masas potencialmente tan pequeñas como la de la Tierra. En sistemas planetarios con una distancia corta entre los planetas, la atracción gravitacional de los planetas entre ellos genera una aceleración o desaceleración del período orbital de los mismos. Por ello, si detectamos una variación del período orbital de dos planetas, se podría concluir que entre ellos existe un planeta que interactúa gravitacionalmente con ellos generando así una variación de sus velocidades durante sus correspondientes períodos orbitales.

La primera detección significativa de un planeta que no transita utilizando las variaciones de tiempo de tránsito se llevó a cabo con el telescopio Kepler de la NASA. El planeta en tránsito Kepler-19b muestra la variación del tiempo de tránsito con una amplitud de 5 minutos y un período de unos 300 días, lo que indica la presencia de un segundo planeta, Kepler-19c, que tiene un período que es un múltiplo casi racional del Período del planeta que transita.

La VTT también puede usarse para medir indirectamente la masa de los exoplanetas en sistemas compactos de múltiples planetas y/o sistemas cuyos planetas están en cadenas resonantes, una cadena resonante sería un conjunto de resonancias que ocurren en un sistema planetario (viene del concepto de resonancia orbital que se produce cuando los cuerpos en órbita ejercen una influencia gravitacional periódica y regular entre sí).

Al estudiar el tiempo entre los tránsitos, los astrónomos también pueden averiguar qué tan lejos está el planeta de su estrella. Esto nos dice algo sobre la temperatura del planeta. Si un planeta tiene la temperatura adecuada, podría contener agua líquida.

6. Kepler y el Método de Tránsitos

Kepler es un satélite especializado cuya misión es buscar planetas en tránsito que se encuentran en la zona habitable de sus estrellas, monitoreando más de 150 mil estrellas en una región que se encuentra situada entre las constelaciones de Cygnus y Lyra. Se ha elegido esta región porque está lo suficientemente por encima del plano de la eclíptica como para que ni el Sol ni la Tierra “estorben” durante sus observaciones. Las estrellas observadas se encuentran en el llamado Brazo de Orión y están en un rango de distancias comprendido entre los 600 y los 3000 años luz (sólo unas pocas, alrededor del 1%, están más cerca de los 600 años luz). Hasta el momento, se ha hecho muchos descubrimientos, no solamente sobre planetas habitables, sino también de Júpiter calientes.

Para detectar planetas orbitando otras estrellas utiliza el Método de tránsito ya anteriormente explicado. Por supuesto, las inclinaciones de las órbitas de los planetas respecto a la línea de observación estarán distribuidas aleatoriamente en todos los ángulos posibles y por tanto se estima que sólo un 0.5% de las estrellas observadas tendrán planetas del tipo de la Tierra cuya inclinación sea la adecuada para poder observar un tránsito (para planetas gigantes, tipo Júpiter y con órbitas cercanas a su estrella, de tan sólo 4 días el porcentaje se eleva al 10%). Es por esto por lo que hay que observar un gran número de estrellas (más de 150.000) para tener una probabilidad

razonable de encontrar planetas del tipo de la Tierra mediante el Método de Tránsito.

La búsqueda de planetas extrasolares del tipo terrestre está generando una cantidad considerable de información procedente de las observaciones de forma continua. Se están recopilando medidas del brillo de las estrellas y su variación a lo largo del tiempo permite obtener la llamada curva de luz característica de cada estrella, como ilustra la Figura 6. Los posibles tránsitos de planetas sobre el disco de la estrella provocan ligerísimas variaciones en su brillo que quedan registradas en su curva de luz. Estas pequeñas variaciones son las que se buscan y para ello el equipo de la misión Kepler ha desarrollado una serie de algoritmos que permiten analizar mediante computadoras las curvas de luz de las estrellas ya que la observación visual sería inviable dado la enorme cantidad de curvas de luz que es preciso analizar.

Aunque se espera que esos programas informáticos detecten de manera fiable los patrones en las curvas de luz para los que han sido creados, se cree que es posible que otra serie de “sorpresas” en las curvas de luz no sean detectadas por las computadoras, pero sí puedan serlo detectados por las personas ya que, el cerebro humano es particularmente bueno descubriendo patrones y más si esa búsqueda se realiza por un gran número de personas.

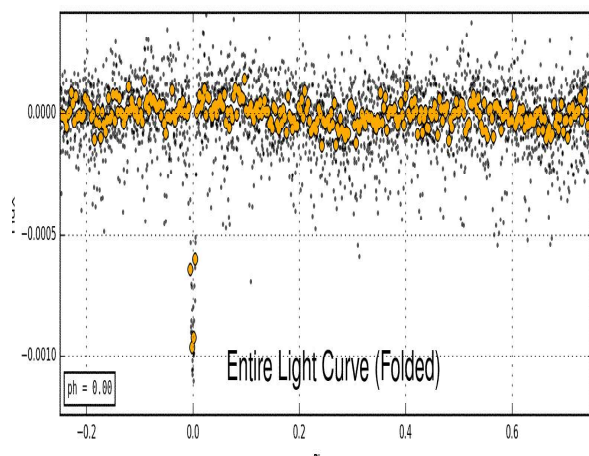


Figura 6. Ejemplo de curva de luz con tránsito. [8]

En la sección siguiente se analizan las características de los gráficos de curvatura de luz con tránsito y del algoritmo utilizado para su análisis, a fin de analizar las posibilidades de paralelización.

7. Nuestra Propuesta

En la actualidad la misión Kepler utiliza inteligencia artificial, en particular una red neuronal para la detección de exoplanetas a través del método de tránsito. La misma analiza la curvatura de luz característica de una estrella y

detecta la variación de luz producida por el tránsito. Esta red neuronal analizó los datos recolectados por Kepler y encontró señales de tránsito débiles de un octavo planeta previamente perdido que orbitaba Kepler-90, en la constelación Draco. Sin embargo, este proceso puede generar demoras por la gran cantidad de información a analizar [9].

Sin lugar a dudas, este problema manifiesta una gran demanda computacional, y es por ello que en este trabajo se propone la utilización del paradigma paralelo. El cómputo paralelo consiste en una forma de cómputo en la que muchas instrucciones se ejecutan simultáneamente, operando sobre el principio de que problemas grandes, a menudo se pueden dividir en unos más pequeños, que luego son resueltos simultáneamente (en paralelo) [13].

Si bien el cómputo paralelo involucra aspectos de coordinación de tareas, sincronización y/o comunicación que en ocasiones sobrecargan y van más allá de la funcionalidad del algoritmo en sí, constituye un paradigma potente para la resolución de problemas de gran envergadura y/o para reducir el tiempo de ejecución necesario para el procesamiento de los datos y devolución de un resultado.

En lo que sigue de esta sección se describe el análisis realizado sobre el Método de los Tránsitos para identificar posibilidades de paralelización en el algoritmo de detección de exoplanetas, a fin de establecer las bases para su posterior implementación.

En primer lugar, han de considerarse las características de los datos a procesar, en este caso los gráficos que representan la curvatura de la luz de una estrella. La gráfica de la Figura 7 representa la curvatura de la luz de una estrella, los puntos dentro de la gráfica representan la luz de la estrella en forma discreta, ya que hay variaciones continuas en la luz de la misma producto de factores externos (ruido, asteroides, polvo espacial, etc.). El “eje y” representa el brillo (luminosidad) de la estrella. La gráfica se encuentra ordenada, es decir que la media del rango de luz de la estrella se ubica en el 0 del “eje y”, y el tránsito que puede visualizarse se encuentra en el 0 del “eje x”. El “eje x” (horizontal) representa el tiempo de observación en días. Como el tránsito se produce en el punto 0, el gráfico muestra la intensidad captada en los días previos (a la izquierda del 0.0) y en los posteriores (a la derecha del 0.0).

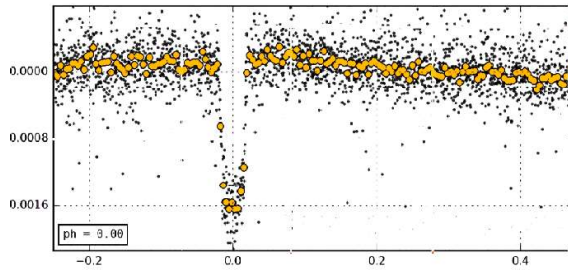


Figura 7. Curvatura de luz de una estrella donde se presencia un tránsito.

Es posible observar que la luminosidad registrada en un instante de tiempo es independiente de la luminosidad captada para los instantes vecinos, si bien existe cierta correlación entre ellas. En base a tales características de independencia relativa entre los datos, el tipo de paralelismo que se propone utilizar es el paralelismo de datos el cual es un paradigma de la programación concurrente que consiste en subdividir el conjunto de datos de entrada de un programa, de manera que a cada procesador le corresponda un subconjunto de esos datos.

Dada la complejidad del problema y a la gran cantidad de datos con los cuales trabajar, además de la dificultad que nos propone disponer de esos datos, en este trabajo nos centraremos en el tratamiento de las curvaturas de luz de las estrellas ya procesadas en gráficos. A lo largo del procesamiento para el análisis de los gráficos, lo que se busca identificar es una variación brusca de los puntos de la gráfica, generando un pico descendente del gráfico.

El procesamiento de estos gráficos requiere dos consideraciones adicionales, lo que incrementa la complejidad del procesamiento. En primer lugar, el tamaño de la inmersión en la curva de luz depende tanto del tamaño del planeta como de la estrella. Por un lado, para una estrella de tamaño promedio, si el planeta en tránsito es grande, bloqueará más luz estelar y, por lo tanto, la caída en la curva de luz será mayor. Por otro lado, para un mismo planeta, si la estrella es más grande (como una enana G como el Sol), el tránsito será más superficial que si la estrella es más pequeña (como una enana marrón) ver Figura 8.

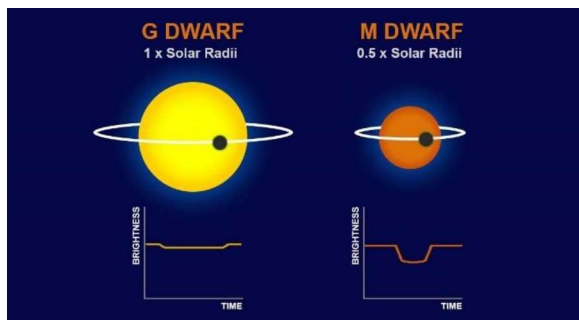


Figura 8. Diferentes tránsitos, para un planeta del mismo tamaño, con estrellas de distintos tamaños.

En segundo lugar, en sistemas planetarios múltiples la curva de luz muestra múltiples tránsitos de los diferentes planetas, que probablemente tengan profundidades diferentes debido a sus diferentes tamaños. También es probable que se separen de forma irregular, ya que diferentes planetas orbitan alrededor de las estrellas a diferentes velocidades, al igual que los planetas de nuestro sistema Solar. Un ejemplo de curvatura de luz de un sistema múltiple se puede ver en la Figura 9.

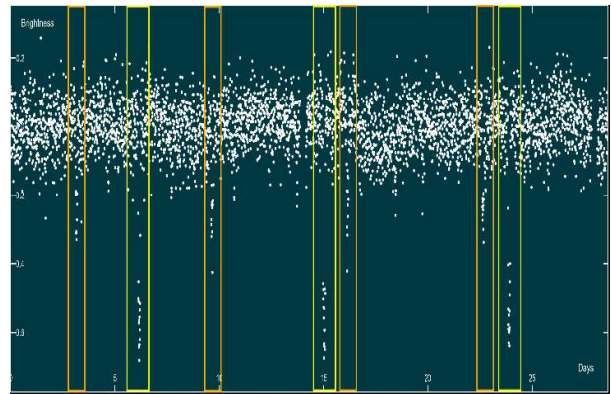


Figura 9. Ejemplo de múltiples tránsitos. [10]

El algoritmo general para el tratamiento de los gráficos como el de la Figura 7 se presenta escrito en pseudocódigo a continuación:

```
PROGRAMA
VAR: t: ENTERO //indica detección del tránsito
    gráfico: FiguraCurvatura
    punto: ElementoGrafico
INICIO
t = 0
MIENTRAS ( t < 1)
    punto = obtenerPunto(gráfico) // obtengo punto del gráfico
    t = Analisis(punto) //analizo punto de la grafica
SI ( t = 1) ENTONCES
    Retornar ("Transito Detectado")
FINSI
FINMIENTRAS
FINPROGRAMA
```

El algoritmo iterativamente obtiene un punto de la gráfica, el mismo es analizado para determinar si es o no un tránsito, y en caso de ser retorna tránsito detectado.

Se propone entonces descomponer el tratamiento de cada gráfico a través de su fraccionamiento en secciones que permitan analizarlas de forma simultánea. La imagen es dividida en 4 secciones (ver Figura 11,12,13,14) las cuales serán analizadas en paralelo a través del uso de 4 nodos computacionales como se ilustra en la Figura 10.

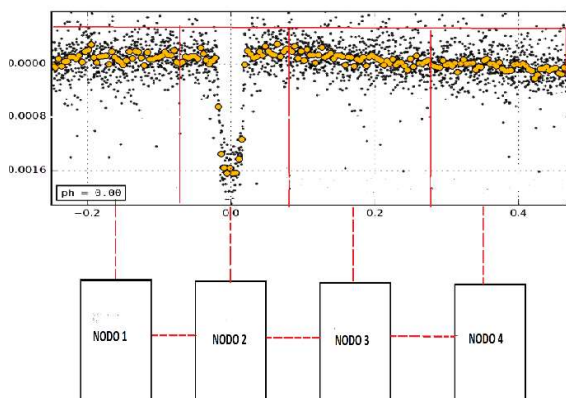


Figura 10. Ejemplo de división de imagen en 4 nodos.

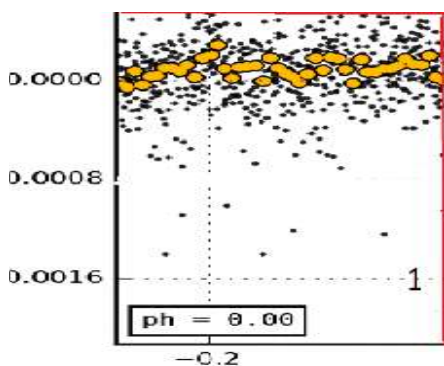


Figura 11. Sección 1

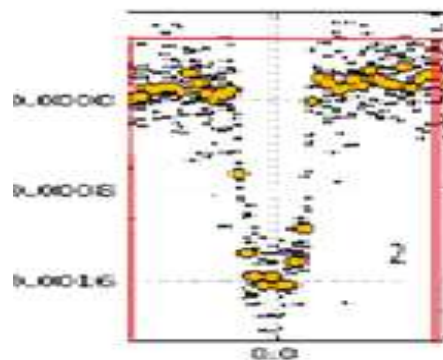


Figura 12. Sección 2

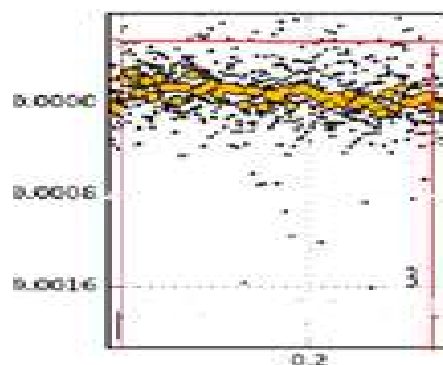


Figura 13. Sección 3

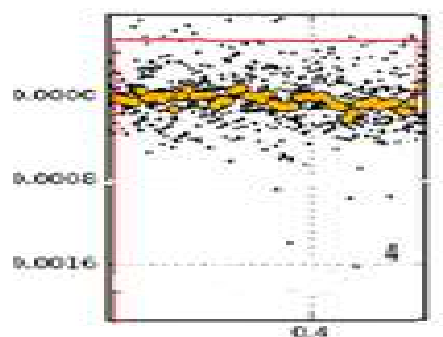


Figura 14. Sección 4

Cada procesador efectuará la misma secuencia de operaciones que los otros procesadores sobre el subconjunto de datos asignado. En síntesis: se propone descomponer el gráfico en porciones más pequeñas para distribuir los datos y replicar las tareas en paralelo, asignándolas a diferentes nodos de cómputo a fin de analizarlas. Esto permite que el "rastrillaje" de la imagen se haga en las cuatro secciones al mismo tiempo utilizando distintos nodos para cada imagen fraccionada. Idealmente,

esta ejecución simultánea de operaciones debería resultar en una aceleración neta global del cómputo.

Al incorporar el paralelismo en el tratamiento de los gráficos, el algoritmo presentado anteriormente se modifica de acuerdo con el siguiente pseudocódigo, el cual constituirá la funcionalidad de cada uno de los nodos.

```
PROGRAMA
VAR: t: ENTERO //indica detección del tránsito
    gráfico: SubFiguraCurvatura
    punto: ElementoSubgrafico
    izq: subgrafica
    der: subgrafica
INICIO
t = 0
MIENTRAS ( t <> 1)
    punto = obtenerPunto(subgráfico) // obtengo punto del subgráfico
    t = Analisis(punto) //analizo punto de la grafica
SI ( t = 1) ENTONCES
    Retornar("Tránsito Detectado")
FINSI
FINMIENTRAS
izq = obtenerSubgraficoIzquierdo(gráfico)//obtengo la seccion izquierda del subgrafico
derc = obtenerSubgraficoDerecho(gráfico)//obtengo la seccion derecha del subgrafico
EvaluarExistenciadeTránsito()
FINPROGRAMA
```

Como puede visualizarse en el pseudocódigo modificado, ya no hablamos de gráfico sino de subgráfico, ya que se utilizarán las secciones divididas. También se analizan las relaciones en la frontera del subgráfico en relación con sus subgráficos colindantes.

A partir de la descomposición de la imagen y de la replicación del cómputo sobre las porciones de datos, desde el punto de vista teórico, se espera conseguir la respuesta del programa en $\frac{1}{4}$ del tiempo original, dada la utilización en paralelo de 4 nodos.

8. Conclusión y Trabajo Futuro

Durante el desarrollo de este trabajo hemos definido qué es un exoplaneta, su amplia abundancia en el universo, y la dificultad para encontrarlos, como también algunos de los métodos de detección más frecuentes (o eficientes) utilizados en la actualidad. Como dijimos, lamentablemente nuestro planeta tiene una fecha de caducidad y es necesario encontrar un posible planeta habitable para la humanidad como también la posibilidad de encontrar vida más allá de nuestro planeta.

En base a estas problemáticas de detección que presentamos, propusimos aplicar el paradigma de cómputo paralelo para disminuir el tiempo de análisis de datos, teniendo en cuenta la gran cantidad de datos y de

análisis que se necesitan para concluir la existencia de un exoplaneta orbitando una estrella lejana.

En esta propuesta preliminar de paralelización del análisis de la curvatura de la luz, se propone la utilización de políticas sencillas tanto para la descomposición estática y de granularidad gruesa, bajo la asunción de que se utilizará un entorno homogéneo para el procesamiento de las porciones del gráfico, y por lo tanto todos los nodos trabajarán a la misma velocidad (evitando posibles tiempos ociosos). Una vez verificada la hipótesis de la reducción del tiempo y la factibilidad de descomponer el tratamiento del gráfico en forma efectiva, nos centraremos en la incorporación de técnicas más sofisticadas tanto para la descomposición como para la asignación, en pos de una ejecución más balanceada, eficiente y escalable.

Referencias

- [1] Michel Mayor y Didier Queloz (1995). "A Jupiter-mass companion to a solar-type star". *Nature* 378
- [2] "Interactive Extra-solar Planets Catalog". Consultado 28 de Agosto 2019.
- [3] Wikipedia "Planet _extrasolar / properads generals". Consultado 28 de Agosto 2019
- [4] A giant planet candidate near a young brown dwarf. Direct VLT/NACO observations using IR wave front sensing, G. Chauvin, A.-M. Lagrange, C. Dumas, B. Zuckerman, D. Mouillet, I. Song, J.-L. Beuzit, P. Lowrance, *Astronomy and Astrophysics* **425** (October 2004), pp. L29–L32 (en inglés). Bibcode: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2004A&A...425L..29C> <https://www.aanda.org/articles/aa/abs/2004/38/aagg222/aagg222.html> . Consultado 28 de Agosto 2019.
- [5] Wikipedia Spectroscopic Doppler. Extraído de: https://es.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia_Doppler Consultado 28 de Agosto 2019.
- [6] "The Astrophysical Journal Letters". Extraído de: <https://iopscience.iop.org/article/10.1086/346073>. Consultado 28 de Agosto 2019.
- [7] "¿Cómo se buscan exoplanetas?". Extraído de: <https://www.geekmag.es/ciencia/como-se-buscan-exoplanetas/>. Consultado 28 de Agosto 2019.
- [8] "ID EPIC 206026904". Extraído de: https://exofop.ipac.caltech.edu/k2/edit_target.php?id=206026904. Consultado 28 de Agosto 2019.
- [9] "Inteligencia Artificial". Extraído de: <https://www.nasa.gov/press-release/artificial-intelligence-nasa-data-used-to-discover-eighth-planet-circling-distant-star>. Consultado 28 de Agosto 2019.
- [10] Planet Hunters TESS "Nuestra misión". Extraído de: <https://www.zooniverse.org/projects/nora-dot-eisner/planet-hunters-tess/about/research>. Consultado 28 de Agosto 2019.
- [11] Wikipedia "Diagrama de Hertzsprung-Russell". Extraído de: https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Hertzsprung-Russell. Consultado 28 de Agosto 2019.
- [12] Wikipedia "Corrimiento al rojo". Extraído de: https://es.wikipedia.org/wiki/Corrimiento_al_rojo .

“Corrimiento al azul”. Extraído de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Corrimiento_al_azul.
Consultado 28 de Agosto 2019.

- [13] Fox G. et al. -Parallel Computing Works!
<http://www.netlib.org/utk/lsi/pcwLSI/text/>. Consultado 6 de
Septiembre 2019.