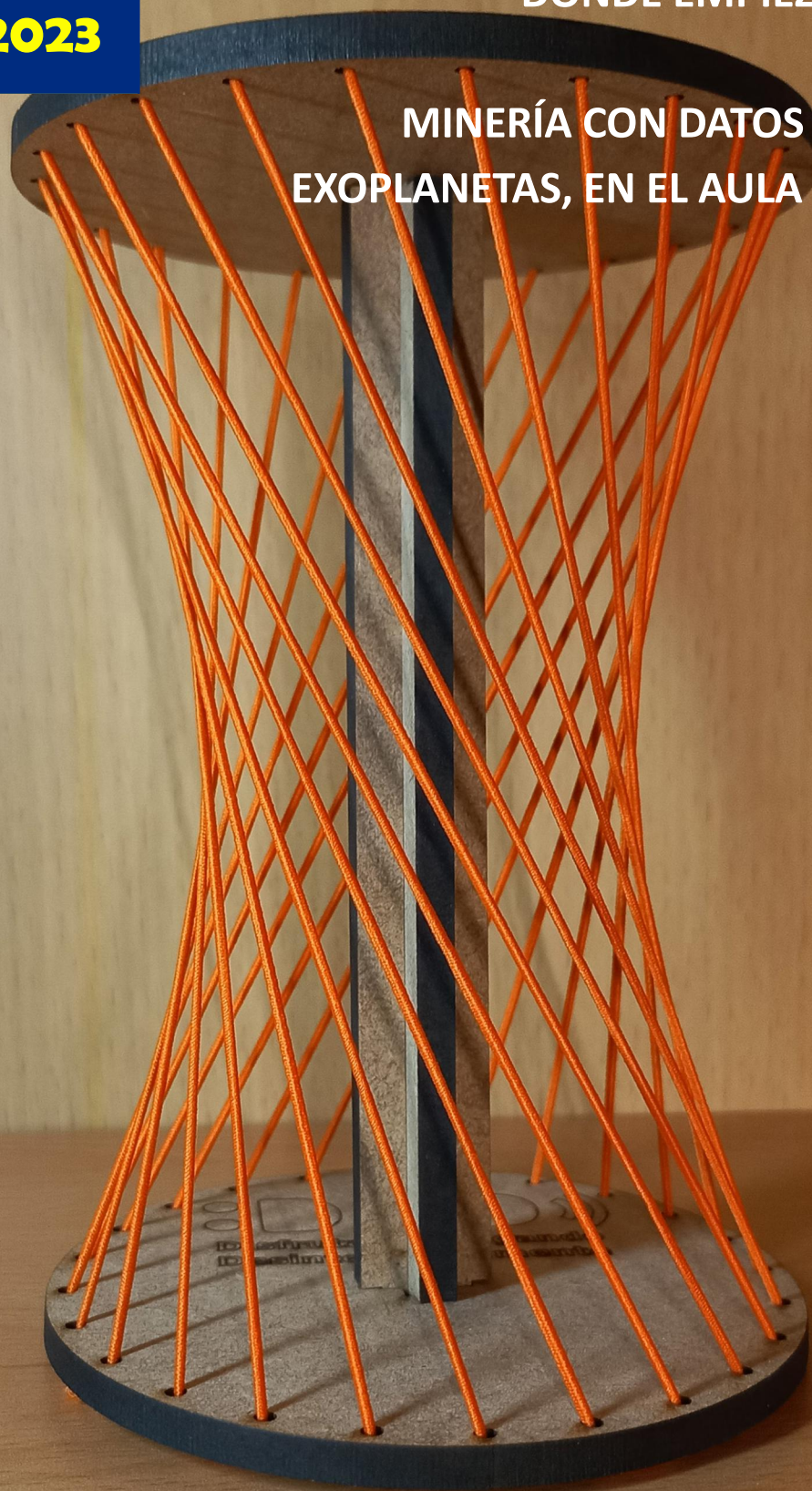




ApEA

NaDiR es una revista de la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía (ApEA) www.apea.es

Presidente:

Carolina Clavijo Aumont

Vicepresidente:

Sebastián Cardenete García

Secretario:

Fernando Sánchez Gil

Tesorero:

Xavier Benlliure i Perales

Vocal de Publicaciones:

Ricardo Moreno Luquero

Vocal página web:

Eva Dominique Ibarra

Vocal FAAE:

Ángel Gómez Roldán

Vocales de Encuentros:

Antonio González Hernández

Fernando Ordóñez Monteagudo

Vocales:

Sensi Pastor Rodríguez

Joaquín Álvaro Contreras

Edición de la revista Nadir:

Ricardo Moreno Luquero

rmluquero@gmail.com

Comité de Redacción:

Joaquín Álvaro Contreras y

Sebastián Cardenete García

Depósito Legal: Z-2513-98

ISSN: 1575-7528

Enero 2023

Foto de portada: Regalo en las reuniones DDD de Zaragoza 2022. ©R.M.

SUMARIO

DIVULGACIÓN

REUNIONES DDD

Manolo Fernández y Sebastián Cardenete 3

DIDÁCTICA

EL BIG BANG Y LA CREACIÓN (II)

Ricardo Moreno Luquero 6

ACTIVIDADES

DONDE EMPIEZA EL CIELO

Esteban Esteban Peñalba 9

EXOPLANETAS

MINERÍA CON DATOS REALES DE EXOPLANETAS, DE APLICACION AL AULA (2ª PARTE)

Joaquín Álvaro Contreras 15

NaDiR no se hace responsable de las opiniones expresadas en los artículos. Si no se indica otra cosa, las imágenes son propiedad de los autores de los artículos.

La distribución de NaDiR es gratuita entre los socios de ApEA, y se puede descargar de su web.

Se autoriza la difusión del contenido de la revista, citando la fuente.

REUNIONES DDD

Manolo Fernández y Sebastián Cardenete



Recientemente han finalizado en Zaragoza las XVI jornadas DDD, de divulgación científica. Actualmente es un punto de referencia anual para todos aquellos a los que les gusta la enseñanza de las ciencias. Aunque no tratan sólo de astronomía, no faltan propuestas en este ámbito, y además, son de alguna manera fruto de la iniciativa de varios socios de ApEA, movidos por su interés por la enseñanza. Por esa razón, las traemos con orgullo a estas páginas. Su web es www.dddivulgar.com

La idea de celebrar estas reuniones de divulgadores surgió en el año 2005 a partir de las conferencias que se realizaban en el Centro Principia, de Málaga, con el fin de reunir a un buen número de conferenciantes sobre temas de ciencia.

Las dos primeras se celebraron en Málaga, y asistieron unos pocos divulgadores.

Pero como cada uno de ellos conocía en su ámbito de trabajo a otros muchos con ganas de divulgar, fue aumentando el número de personas dispuestas a pasar un fin de semana



Zaragoza 2022: Visita a la Aljafería

(normalmente en noviembre por ser más fácil de conseguir precios bajos en los hoteles) en una localidad que le viniese bien a una gran mayoría, y así fueron sucediéndose año tras año estas reuniones DDD, que significa Disfrutar Divulgando Desinteresadamente.

Los lugares elegidos desde 2005 hasta 2022 han sido Antequera, Orihuela, Vejer de la Frontera, Almería, Bilbao, Baeza, Salamanca, Lleida, Cartagena, Córdoba, Guadalajara, Granada, Sevilla y Zaragoza, con el paréntesis de la pandemia en 2020 y 2021.



Cartagena 2015: Visita al submarino Peral

El esquema del fin de semana consiste en llegar el viernes por la tarde al lugar elegido, cenar en conjunto -lo que inicia el contacto entre los no conocidos y lo refuerza entre los amigos- y dormir en el hotel elegido. La mañana del sábado se dedica a visitar algún lugar importante del entorno. La comida es también conjunta, y por la tarde se hace la primera reunión divulgativa en un salón de actos, de 16 a 21 horas en la que cada

divulgador presenta a los demás un experimento o una pequeña comunicación científica de no más de cuatro minutos de duración. Esa tarde se asiste a unas 40 ponencias breves, que van al grano, sin posibilidad alguna al tedio.



Vejer de la Frontera 2009: Sesión de experiencias

La cena es en el hotel, en la que se propicia seguir hablando de los experimentos realizados. La mañana siguiente se dedica a la segunda reunión, de 9,30 a 14 horas, con similares características.

Evidentemente, además de la posibilidad de conocer a mucha gente con las mismas inquietudes y con ganas de divulgar ciencia, se aprende mucho durante las reuniones, ya que se muestran verdaderas joyas de experimentos sencillos, ingeniosos y fáciles de reproducir en clase con los alumnos.



Zaragoza 2022: Sesión de experiencias

El éxito de estas reuniones, confirmado por el número creciente de asistentes a ellas (se ha pasado de unos 20 en la primera reunión en Málaga a una media de 150 participantes

actualmente), se debe fundamentalmente a que se trata de pasar un fin de semana entre amigos, aprendiendo mucho y sin pretensiones de personalismos de ningún tipo.



Salamanca 2013: Sesión de experiencias



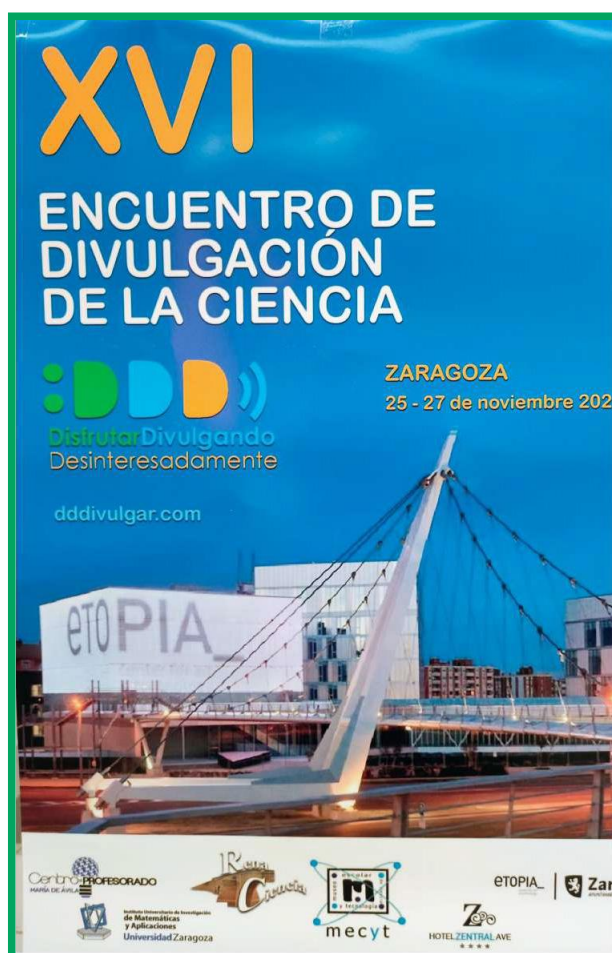
Zaragoza 2022: Sesión de experiencias



Córdoba 2016: Intercambio de ideas en comidas y cafés

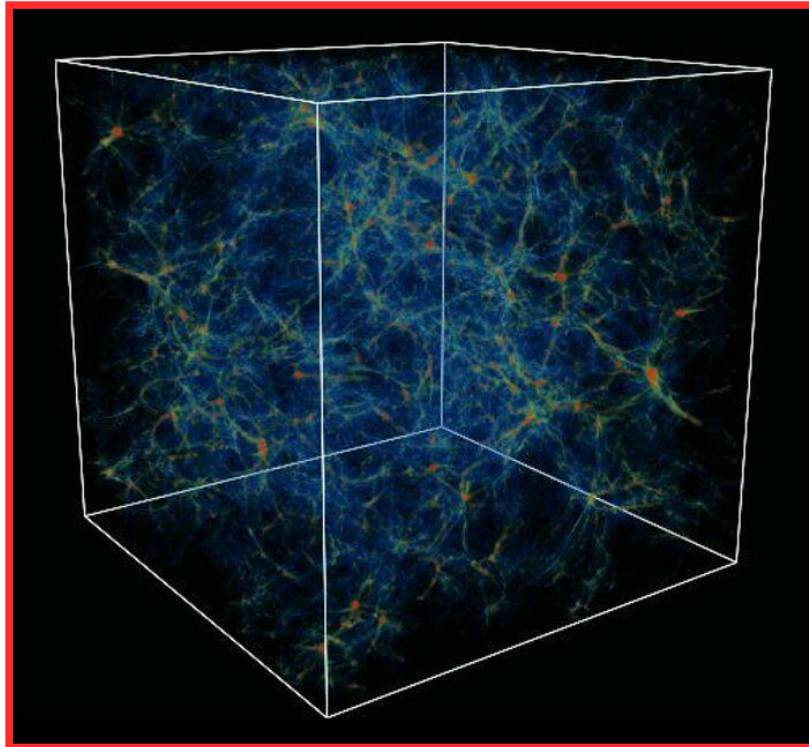


Zaragoza 2022: Sesión de experiencias



EL BIG BANG Y LA CREACIÓN (II)

Ricardo Moreno Luquero



En el artículo anterior comenté algunas preguntas y puntos de debate que surgían con los alumnos al tratar el tema del Big Bang y el tema de la creación, que se mueven en planos distintos, y tratan de contestar a preguntas distintas. Ahora quería tratar otro tema sugerente que también se planteaba en esas ocasiones, y es el ajuste de los valores de las constantes físicas, que aparentemente no tienen nada que ver entre sí, y que tienen unos valores que posibilitan la vida sobre la Tierra.

Tras el Big-Bang, se formaron unas nubes de materia, que evolucionaron en un delicado equilibrio entre la velocidad inicial de la expansión, que tendía a separar las partículas, y la atracción gravitatoria entre ellas, que frenaba esa expansión. Si la velocidad inicial hubiese sido algo menor, esas nubes primordiales se habrían atraído pronto,

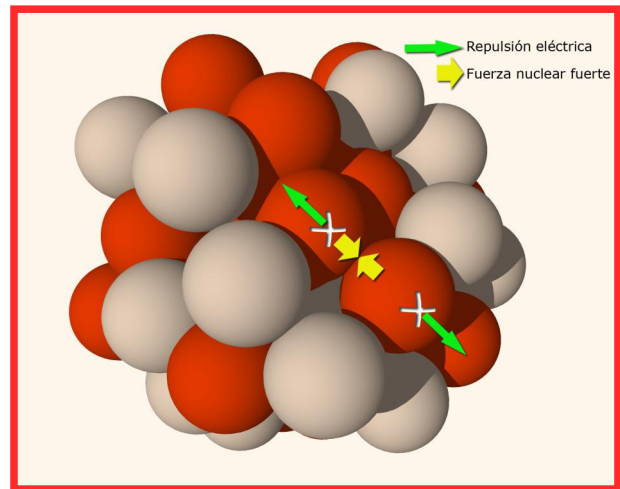
colapsando en un Big Crunch. Si la velocidad inicial hubiese sido mayor, las nubes se habrían dispersado, y no se habrían formado galaxias, estrellas y planetas^[1]. Se estima que los valores de la velocidad inicial de expansión y de la intensidad de la gravedad están ajustados al menos en $1/10^{60}$. ¿Tiene esto algún sentido?

[1] Rees, Martin. *Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape The Universe*. New York: Basic Books, 2001

La ciencia no nos habla de sentido, la ciencia mide. Por ejemplo, mide la constante de gravitación $G = 6'67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, que da la intensidad con la que se atraen dos masas. Y nos dice que si fuera un 10% más grande, las estrellas se fusionarían más deprisa y sólo habría gigantes azules, muy calientes y que se consumen muy rápido. El Sol habría sido una de ellas, y habría terminado su vida hace mucho tiempo, sin que la incipiente vida sobre la Tierra hubiera podido evolucionar. Si el valor de G fuera un 10% más pequeño, sólo habría enanas rojas, muy frías y con muchas más dificultades para poder desarrollarse la vida.

La ciencia mide que la fuerza eléctrica entre dos protones es 10^{36} veces superior a la fuerza de la gravedad entre ellos. Gracias a esto, las estrellas son enormes, ya que necesitan que se concentren muchos protones para que su gravedad venza la repulsión eléctrica entre ellos, hasta conseguir la fusión. Si la fuerza eléctrica fuese menos intensa, en cuanto se hubiese reunido una pequeña cantidad de átomos, hubiese empezado la fusión, y las estrellas serían más pequeñas, durarían sólo unos años, y no habría sido posible el lento desarrollo de la vida en la Tierra.

La fuerza nuclear fuerte es la que mantiene unidas a las partículas dentro del núcleo atómico, venciendo la repulsión eléctrica. Si hubiese sido más intensa, el diprotón sería estable y no se produciría la fusión como la conocemos, en la que 4 átomos de H dan uno de He, y la evolución del Universo hubiese sido muy distinta. Si la fuerza nuclear fuese menos intensa, sólo habría núcleos de un protón, que es el H, y no habría núcleos de carbono, calcio o fósforo, imprescindibles para la vida tal como la conocemos.



Por otra parte, los elementos pesados se producen en el interior de estrellas masivas, que acaban estallando como supernovas. Con la explosión, se diseminan por el espacio esos materiales, que son necesarios para la vida. En esas explosiones son clave los neutrinos, que dependen de la intensidad de la Fuerza Nuclear débil. Si tuviese un valor menor, los neutrinos atravesarían la nube como si fuera transparente. Si tuviese un valor mayor, saldrían insuficiente número de neutrinos. Afortunadamente tiene el valor que tiene, y hay en el Universo los elementos necesarios para la vida.

Así podríamos seguir con otras constantes, cuyos valores parecen ajustados para la aparición de la vida sobre la Tierra. ¿Tiene esto algún sentido? Se puede responder diciendo que es la pregunta la que carece de sentido, porque si las constantes no tuvieran esos valores, no estaríamos planteando esas preguntas. Pero eso no responde al porqué, es renunciar a la razón. Si estamos ante un pelotón de fusilamiento, y todos fallan, podríamos decir que si no hubiesen fallado, no estaríamos preguntando qué ha pasado, pero eso no explicaría la cuestión^[2].

La ciencia no habla de sentido, pero la razón puede intentarlo. Podríamos pensar ese

[2] Carreira, Manuel. *El origen del Universo*. Madrid: Didaskalos, 2020

ajuste se ha producido por azar. Pero el azar no produce nada. Cuando decimos que en la lotería de Navidad ha salido tal número por azar, manifestamos que no lo sabemos predecir, pero no que ha sido una especie de mano llamada azar la que ha hecho salir esa bolita. La bolita ha salido por efecto del llenado del bombo, de las interacciones entre las otras bolas, de los giros del bombo, de la mano que ha abierto la puerta en el momento adecuado por la que ha salido la bolita, etc. El azar significa que no podemos predecir algo, pero no es una causa que produzca cosas.

Otra posibilidad es pensar que puede haber infinitos universos, con valores distintos de las constantes, y que vivimos justo en el adecuado. ¿Es razonable? Requeriría que por cada universo con un valor de la gravedad diferente, haya infinitos universos con todas las velocidades iniciales del Big Bang, y para cada uno de esos infinitos al cuadrado universos, haya infinitos universos con los distintos valores de la fuerza nuclear, etc. Podría ser, pero la verdad es que cuesta trabajo admitirlo.

También podría haber un solo universo, con las constantes ajustadas al principio por alguien. Es razonable y sencillo. Pero como no son opciones científicas, no podemos aplicar la navaja de Ockham.

En un acto de creación (concepto no científico, sino de la razón), hay que fijar todos los detalles. Supongamos un ejemplo tomado de un cuento: un hada se presenta a un niño y le dice: “pídeme lo que quieras y te lo daré”. El niño pide un pastel, y el hada se lo da, en algo parecido a una creación de la nada. Pero si nos fijamos bien, el hada ha tenido que decidir que el pastel sea de fresa,



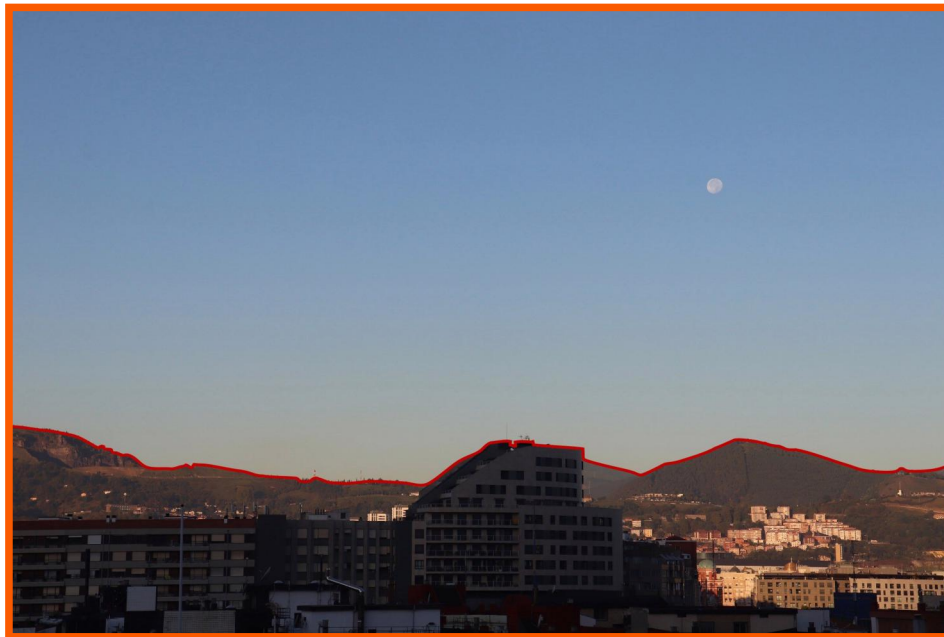
menta o de chocolate. Como ha sido de la nada, también ha tenido que concretar si era de galleta, de bizcocho o si llevaba pasta pastelera, y cuántos pisos debía tener, y el diámetro del pastel, etc. En un acto de creación de la nada, hay que fijar todos los detalles, por ejemplo, todos los valores de las constantes. Si se admite un creador, el ajuste de las constantes puede tener una finalidad, la de la aparición del hombre sobre la Tierra. Es razonable.

Por otra parte, si se admite a un creador de la nada, su potencia debe ser infinita (con un símil matemático, el cero sólo puede dar algo si se multiplica por infinito), y su sabiduría también, pues debe fijar la posición y el comportamiento ordenado con unas leyes, de todas las partículas.

Pero nos hemos vuelto a salir de la ciencia, aunque con la justificación de que, como la ciencia no nos contesta a todas las preguntas (p. ej. el sentido de las cosas), es lógico acudir a otros campos, también racionales.

DONDE EMPIEZA EL CIELO

Esteban Esteban Peñalba



La actividad que aquí se describe está basada inicialmente en una propuesta de la profesora de la universidad de Roma y experta en didáctica *Nicoletta Lanciano*.

Se realizaba todos los años en el IES Angela Figuera de Sestao, como primera actividad del curso en la asignatura optativa de Astronomía, pero podría incluirse en muchos proyectos de diversos ámbitos.

El título que yo le daba a la actividad, y que recogí en la programación oficial que el Dpto. de Educación del Gobierno Vasco me encargó redactar de cara a la publicación del currículum en esa comunidad autónoma, era “**Familiarización con el horizonte local**”, aunque me gusta más el de este artículo.

Al comenzar un curso de astronomía es importante hablar del horizonte. No tanto del concepto como de las circunstancias del mismo que pueden condicionar una observación astronómica o la toma de datos.

Pero... ¿qué es el horizonte?

Esa era la primera pregunta que yo hacía a mi alumnado, y surgían respuestas diversas:

- Los montes del fondo.
- La línea que separa el cielo y la Tierra.
- ¿Será eso del “Sky line”?
- Lo que está lejos. Lo más lejos que podamos ver.
- ...
- Donde empieza el cielo.

Esa última respuesta me gustó.

“Efectivamente, durante el curso vamos a estudiar y observar los espectáculos que se producen en el cielo, y precisamente el horizonte es el borde del escenario donde se desarrollarán”.



Figura 2. El horizonte, como el borde de un escenario en el que actúan los astros

Luego se les proponía pensar y discutir con los compañeros:

¿Cambia el horizonte si cambiamos ligeramente de lugar? ¿Y la posición de los astros respecto a un elemento común de ambos horizontes?

Y desde el mismo lugar ¿puede haber cambios con el paso del tiempo?

¿Crees que podrán verse los astros en distinto lugar y distancia al horizonte si hacemos un viaje más largo?

“Vamos a conocer nuestro horizonte”.

Subíamos a la azotea del instituto o bajábamos al patio, y observábamos a nuestro alrededor: por una zona los tejados de edificios cercanos, por otra los montes circundantes, en alguna dirección bastante lejanos...

Colocados **en corro mirando hacia fuera**, cada alumno tomaría un tramo de horizonte que tenía frente a él, lo describiría fijándose

en todos los detalles, y de alguna manera lo apadrinaría. Sería “su tramo de horizonte”, algo especial para él que tomaría un mayor significado cuando sobre esa zona ocurriese algún fenómeno celeste o se colocase algún astro destacado. Se repartían el horizonte y cada uno tenía su tramo.



Figura 3. Un grupo de niños realizando la actividad en el patio del Aula de Astronomía de Durango. En principio solía hacerse con adolescentes de mayor edad.

Pero ¿cómo repartir el horizonte de manera que cada uno tuviera un tramo concreto sin interferencias con el del compañero y sin discusiones a la hora de elegirlo?

Seguíamos un método que luego sería muy útil de cara a la segunda parte de la actividad (más formal) y les iba a permitir “descubrir” por sus propios medios una herramienta muy sencilla que suele utilizarse para medir ángulos en el cielo y situar los astros:

Una persona comenzaba por un elemento destacado que tuviera frente a ella (una antena, el borde de un tejado o la cima de un monte), y a partir de ahí extendiendo el brazo y abriendo la mano todo lo posible su tramo quedaba limitado por lo que abarcase entre el extremo de los dedos pulgar y meñique. Esa sería “su porción de horizonte”.

Tras la descripción de su tramo, como se indica luego, el compañero situado a su derecha tomaba el relevo y continuaba con el suyo, y de la misma manera los siguientes hasta que se llegaba al punto de partida.

A veces alguien protestaba *"Pero ese tiene la mano mucho más grande que yo y su tramo será más largo"*. - *"Pero también tiene el brazo más largo, y aproximadamente abarcará el mismo trozo"*, le replicaba otra.

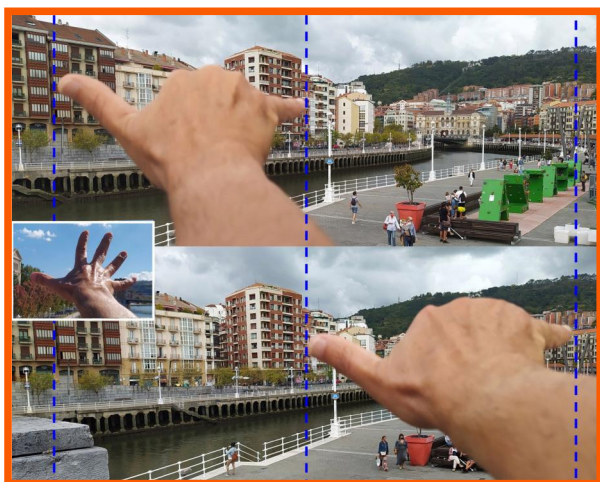


Figura 4. Delimitando los tramos de horizonte de cada uno. Pueden abrirse todos los dedos de la mano para mayor comodidad (como en el recuadro de la izquierda), o extender solo el pulgar y el meñique (como en las imágenes grandes) para tener mayor visibilidad. Es importante colocar la referencia a la altura de los ojos, y no junto al horizonte si éste está más alto.

¿Con cuántas personas se ha completado todo el horizonte? Esto era clave para la siguiente actividad, y era fácil averiguarlo.

Si el grupo era pequeño el profesor lo completaba con los tramos que faltasen y si se completaba antes de terminar el grupo, se repetían tramos (aunque se solapase el recorrido y algunos compartieran zona, lejos de producir rivalidades era un signo positivo de complicidad entre ellos). En cualquier caso, era importante fijarse en cuántas manos habían sido necesarias para completar todo el horizonte.

El proceso era el siguiente: Por orden, cada alumno una vez determinados exactamente los límites de su tramo realizaba una descripción del mismo, por ejemplo, algo así: *"Desde la antena sigue el tejado en*

horizontal con dos chimeneas hasta el final de la casa, luego más abajo en vertical de la pared hay un monte con árboles cuya ladera va subiendo hasta ... y termina en aquel ..."

El final era importante porque el compañero de al lado tenía que coger el relevo ahí, después de haber seguido con detalle la descripción anterior.

El profesor supervisaba todo el proceso, teniendo que corregir en alguna ocasión mediciones incorrectas o despistes en los relevos.

Les pedía que se fijasen en todos los detalles y fueran contestando varias cuestiones breves. Lo importante no era la respuesta en sí, sino el hecho de que se fijaran y se lo plantearan.

- Debes elegir algún detalle concreto de tu tramo que te sirva para recordarlo siempre.

- *¿Hacia qué punto cardinal crees que está?* -normalmente no lo sabían- *¿Recuerdas si os daba el sol por la ventana de clase a primera hora? Y mira donde está ahora.*

Ese dato de la orientación todavía no era importante en sí. Aunque normalmente este primer día no eran capaces de determinarlo, la pregunta les hacía que se lo planteasen y que posteriormente, una vez explicado el método en clase, lo averiguaran.

- *¿A qué distancia calculas que puede estar el punto medio de tu tramo?*

- *¿Qué longitud total crees que puede tener ese tramo?*

- *Memoriza tu tramo de horizonte y luego, en clase, lo dibujarás en tu cuaderno.*

Si lo hemos repartido de manera equitativa ¿Por qué unos tenéis un trozo mucho más largo que otros?

¡Claro! ¡No es lo mismo un ángulo que la longitud que abarca a diferentes distancias!

¿Qué tipo de unidades usaremos para situar los astros en el cielo, su altura, distancia respecto al sur o la separación entre ellos...?

Teniendo en cuenta el número de tramos con que hemos completado el horizonte ¿Cuántos grados tiene el tramo de cada uno?

Eso se conseguía con 18 manos, y de ello deducían que cada mano abarcaba unos 20° ($360^\circ/18$).

Después comprobaban que en ese ángulo que abarcaba la mano cabían dos puños; con lo que ya tenían otra referencia para los 10 grados. Y que la anchura del dedo pulgar, también con el brazo totalmente extendido, era aproximadamente de 2 grados porque podían poner unas 5 veces ese dedo en lo que abarcaba un puño. Y el grosor del dedo meñique, la mitad: un grado.



Figura 5. Calibrando el ángulo del puño a partir de la mano abierta.

Todo ello evidentemente era un cálculo aproximado porque la proporción entre la longitud del brazo y el tamaño de la mano, aunque es parecido, no es exactamente igual en todas las personas. En ocasiones el horizonte podría completarse con 17 o con 19 manos, pero entonces al hacer la división sale 21.1° o 18.9° y les pedía que, no siendo una medida exacta, mejor que redondeasen dejándolo en 20° por comodidad de uso, y así

obteníamos siempre el resultado adecuado que es muy útil a la hora de señalar aproximadamente la posición de un astro en el cielo a partir de otro o de un punto del horizonte.

De esta manera obtenían este recurso para medir ángulos que habitualmente se suele dar de entrada (figura 6) pero para ellos tenía más valor porque lo habían descubierto sin que nadie se lo hubiera dado, y además en caso de que no recordaran su valor “¿Cuántos grados medía la mano?” Lo podían volver a obtener en un momento.

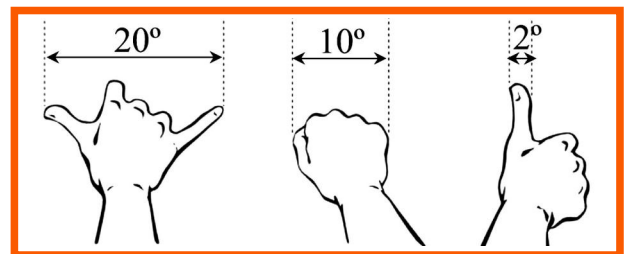


Figura 6. Ángulos que podemos abarcar con el brazo totalmente extendido

El hecho de que cada uno tuviese “su tramo” hacía que se fijase no solo en él, sino que lo comparase con otros cada vez que surgía alguna referencia durante el curso, viese en los tramos de qué compañeros salía o se ponía el Sol o la Luna, o sobre qué tramo se situaban los astros que observásemos en diferentes momentos o cómo cambiaba pasadas unas semanas...

Incluso se podría producir una especie de competición que hiciera que se fijasen y estuviesen mucho más metidos en la tarea que si solo tuvieran que observar y anotar el lugar del orto solar o el azimut de un astro.

Pero al principio en vez de hablar de azimut que de entrada el término asusta (y tiempo habrá más adelante) manejamos los tramos de cada componente del grupo.

Por otra parte, se trataba de que interiorizasen **el concepto de distancia angular** en el cielo y adquiriesen unos recursos necesarios para su medida.

Pero como ahora **el protagonista es el horizonte**, una vez que cada alumno tenía dibujado en el cuaderno un croquis de su tramo, se realizaba un mural con el horizonte completo.

Para ello se retomaba el trabajo tomando medidas precisas de los puntos destacados del horizonte completo, y eso se hacía con unas ballestillas que construían ellos mismos.



Figura 7. Midiendo ángulos en el horizonte con las ballestillas

Aunque las medidas de ese instrumento podrían deducirse por métodos trigonométricos, en esos momentos de curso no los conocían y se hacía a partir de lo realizado antes. Una vez marcado en centímetros uno de los listones, para saber la longitud del otro listón de manera que cada centímetro abarcase un grado, desde el fondo del aula se marcaban dos líneas en la pizarra cuya separación fuera la de la mano abierta y se iba alejando el listón con la escala hasta que coincidiera la marca de los 20° y se tomaba la distancia hasta el ojo. Por supuesto es un método algo burdo, pero se hacía la media de

todos los resultados y el dato final siempre era suficientemente bueno.



Figura 8. Elementos de una ballestilla y su montaje

Se elaboraba un gran panel que recogía todo el horizonte, o la zona más interesante (Este-Sur-Oeste que en nuestro caso era todo montañoso y lejano) que quedaba pegado en la parte superior de una pared del aula y sobre el que a lo largo del curso se iban reflejando posiciones de los astros obtenidas mediante observaciones reales.



Figura 9. Alumnas realizando anotaciones sobre el panel del horizonte, y un detalle del mismo.

Con la realización de esta actividad se perseguían varios objetivos muy diversos:

Además de obtener unos recursos que se utilizarían durante todo el curso, se trataba de motivar al alumnado el primer día de clase con una actividad novedosa, fuera del aula. Eso de descubrir un nuevo espacio del instituto subiendo a la azotea, o dar una clase en el patio, era algo que ya de primeras les resultaba muy atractivo.

El utilizar diferentes espacios y ver que sus trabajos quedaban plasmados en las paredes, el techo o el suelo de la clase donde

muchas veces apartábamos los pupitres y se ponían a trabajar, les daba una motivación extra que, a estas edades, puede ser clave en su posterior aprendizaje.

Se intentaba utilizar una metodología activa y hasta donde era posible se procuraba no darles ningún dato ni explicarles nada que ellos pudieran descubrir por sus propios medios, y solamente guiarles para que lo encontraran.

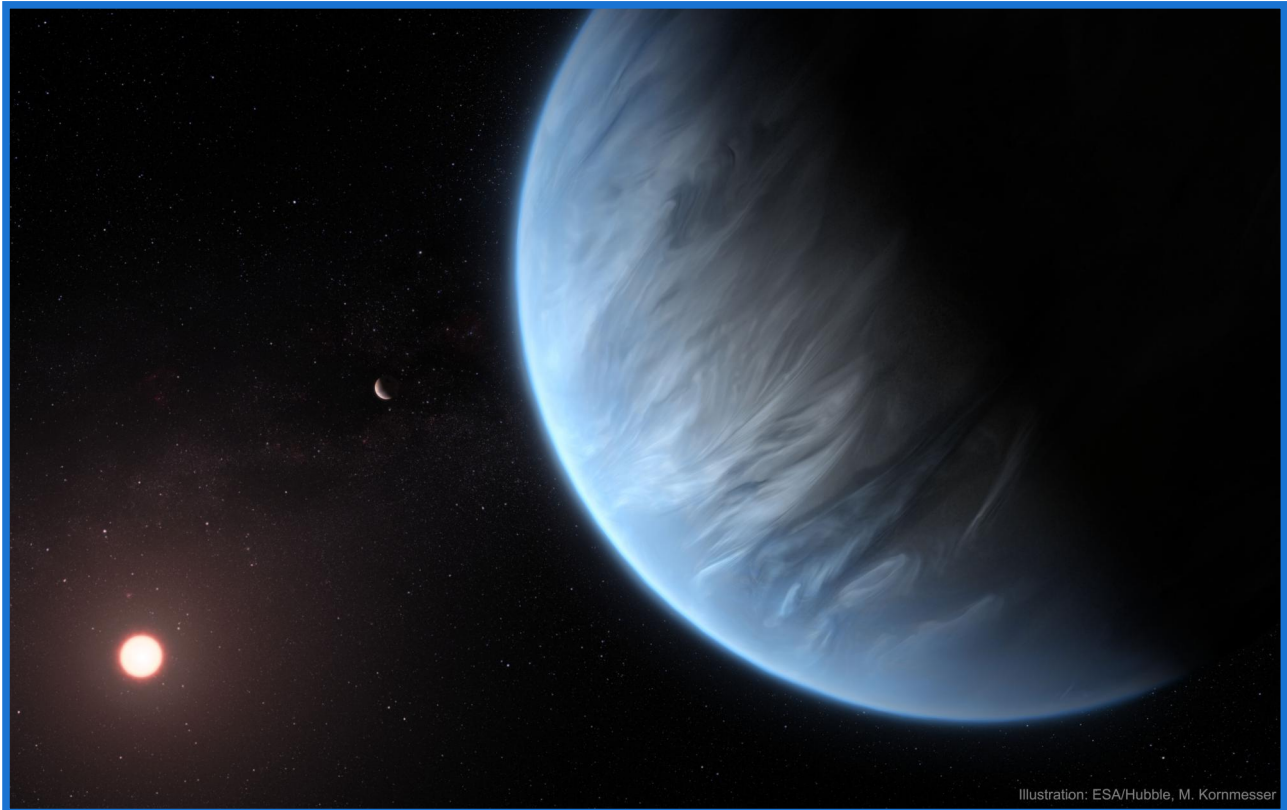
En definitiva, se trataba de transformar esas experiencias o sensaciones iniciales y utilizarlas como herramienta didáctica.



Figura 10: Tras la toma de datos, un grupo de alumnas elabora un panel.

MINERÍA CON DATOS REALES DE EXOPLANETAS, DE APLICACION EN EL AULA (2ª PARTE)

Joaquín Álvaro Contreras



En esta segunda parte sobre el trabajo con datos reales a partir del fichero “[Planetary Systems Composite Data](#)”^[1] entraremos en un mayor nivel de detalle con ejercicios que pretenden acercarnos a un mejor conocimiento de lo que una base de datos de estas características, estadísticamente ya muy significativa, puede ofrecernos.

El objetivo esta vez es analizar algunas correlaciones de interés entre los parámetros que integran el fichero. Puede resultar útil empezar por tener

una visión general de las distribuciones relacionadas, en principio siempre por pares. Véase la figura de la página siguiente.

[1] "This research has made use of the NASA Exoplanet Archive, which is operated by the California Institute of Technology, under contract with the National Aeronautics and Space Administration under the Exoplanet Exploration Program."

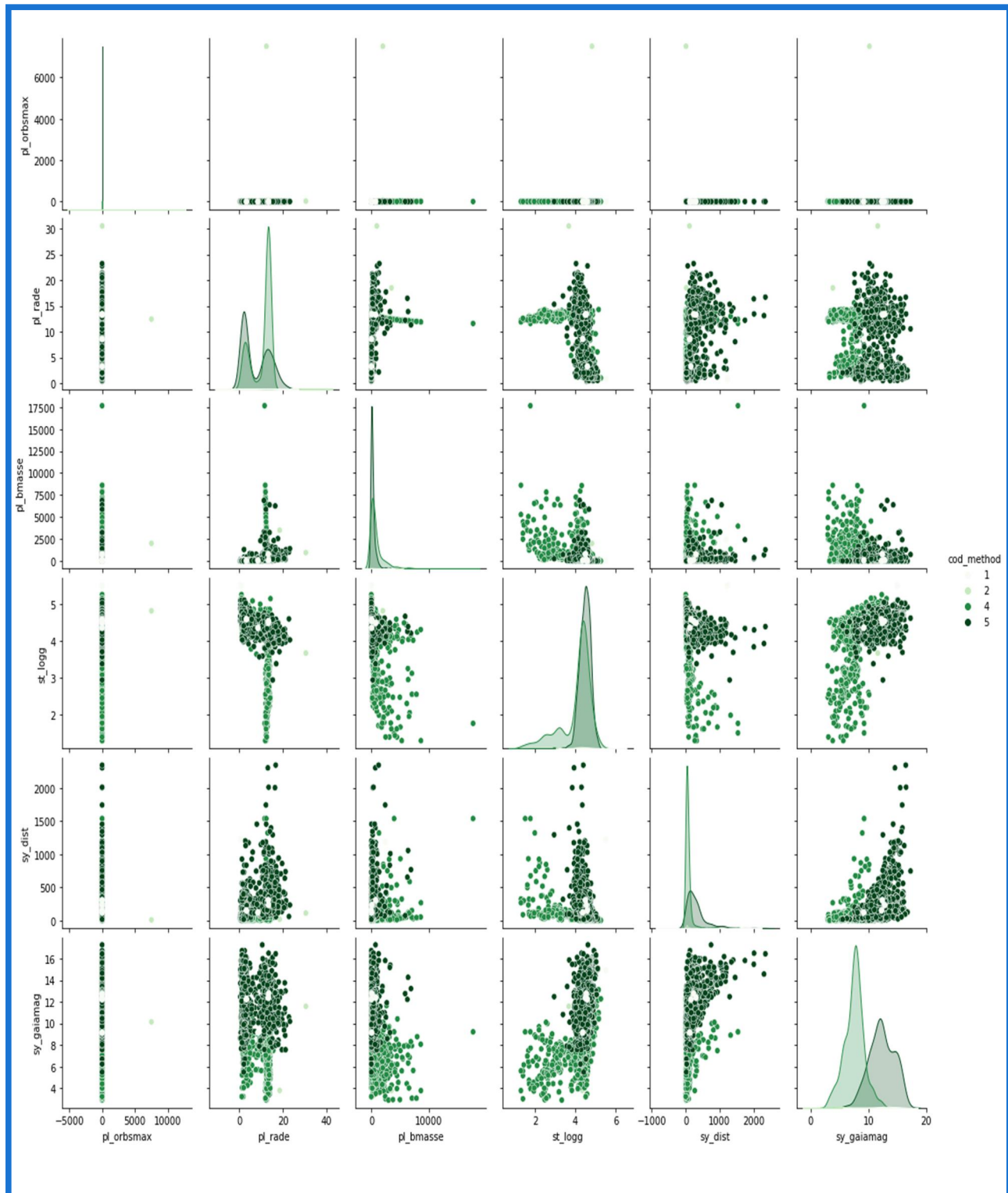


Fig. 2.1 – Múltiples correlaciones por pares de variables

No vamos a entrar en mucho detalle, por ahora, sobre lo que nos muestra este gráfico desarrollado con un poco de código Python, (ver anexo para más explicaciones). Lo que se pretende aquí es centrarse en los parámetros

a priori más significativos, tanto de los planetas como de las estrellas anfitrionas, y relacionarlos entre si (de dos en dos) con objeto de ver si en un primer análisis se aprecian dependencias significativas a simple

vista. De ser así, éstas serían las candidatas a considerar con mayor atención en un análisis más detallado, que ya volveremos a hacer con Excel en los ejercicios que siguen.

En primer lugar se ha simplificado la clasificación de valores del fichero en el método de detección *'discoverymethod'*, asignando los valores de {2=*'imaging'*, 3=*'microlensing'*, 4=*'radial velocity'*, 5=*'transit'* y 1=*'resto'*} en un campo nuevo *'cod_method'* con objeto de hacer más sencillo este posible análisis, (algo que ya se hizo en el artículo anterior "Exoplanetas-1: fig. 7 y 8"), y lo primero que se observa es que, en la fig. 2.1, no aparece representado el color correspondiente a *'3=microlensing'*, lo que está indicando algún tipo de problema con los datos relativos a este método de detección que habrá que estudiar.

Por lo demás, y sin entrar en mucho detalle como ya se ha dicho, llaman la atención algunas distribuciones que pueden significar dependencias directas entre las variables relacionadas y que será el objeto de todo este trabajo por hacer. Por ejemplo, son llamativos los histogramas (diagonal en fig. 2.1) que ponen de manifiesto alguna dispersión, (con diferencias incluso según el método de detección), como los relativos a *'sy_gaiamag'* (magnitud fotométrica aparente de la estrella en la banda espectral de Gaia), que debería estar muy directamente relacionada con *'sy_dist'* (distancia), y que muestra dos poblaciones diferentes para 4=*velocidad radial* y 5=*tránsito*, como se puede apreciar en los gráficos (*sy_gaiamag*, *sy_dist*), algo que todavía es más notorio en (*sy_gaiamag*, *st_logg* ^[2]), o en (*st_logg*, *sy_dist*). Y también el histograma de *'pl_rade'*^[3] es destacable. Pero esto lo iremos viendo en detalle.

Sistemas planetarios más allá del Sistema Solar.

Llegados aquí ya sabemos que no hay direcciones privilegiadas en el cielo donde aparezcan los exoplanetas, sino que en general los podremos encontrar en la mayoría de las estrellas observadas. Si el análisis preliminar hecho en el artículo anterior mostraba sesgos en este sentido, debió quedar claro que las razones al respecto estaban tanto en la corta historia de las técnicas empleadas como en las limitaciones propias de las mismas, así como en el tiempo, o paciencia, dedicado a mantener la constancia de las observaciones.

Ahora nos podemos plantear si los sistemas planetarios extrasolares conocidos, a pesar de ser todavía una cantidad ínfima (meramente testimonial respecto a los miles de millones que debe haber), se parecen a nuestro Sistema Solar.

En el fichero que estamos trabajando hay dos parámetros que podemos rastrear sin mucho esfuerzo y sin necesidad de mayor análisis. Son *'sy_snum'* y *'sy_pnum'*. El primero de ellos indica el número de estrellas que hay en el sistema estelar contemplado y, como se puede comprobar, en algunos casos se trata de estrellas dobles e incluso un conjunto de 3 o hasta 4. En cuanto a *'sy_pnum'*, éste indica el número de exoplanetas conocidos en estos sistemas planetarios. Como también se puede comprobar, en algunos se conocen hasta 6 o incluso 8, pero en general sólo son 1 o 2 los conocidos.

Vamos a comparar los sistemas planetarios con el nuestro, estudiando dos aspectos:

[2] *st_logg* = Stellar Surface Gravity [$\log_{10}(\text{cm/s}^2)$]. Ver el repositorio de los datos.

[3] *pl_rade* = radio del planeta en unidades del radio terrestre. El otro radio contemplado en el fichero, *pl_radj*, es el mismo radio expresado en unidades del radio de Júpiter. Lo mismo ocurre con las masas.

a) ¿Cómo de lejos se encuentran estos exoplanetas de sus respectivas estrellas?

Para indagar esta cuestión empezaremos por copiar a una nueva pestaña algunas de las columnas del fichero, con objeto de hacer menos pesados los diferentes procesos de ordenación y manipulación necesarios. Vamos a utilizar los siguientes parámetros^[4]:

pl_name

discoverymethod

pl_orbper (periodo orbital – en días)

pl_orbsmax (semieje eje mayor de la órbita – en UA, unidades astronómicas)

pl_rade (radio del planeta en unidades terrestres)

pl_bmasse (masa del planeta en unidades terrestres)

st_spectype (tipo espectral de la estrella)

st_teff (temperatura superficial efectiva – en grados Kelvin)

st_lum (logaritmo de la luminosidad – en unidades solares: Sol = 1)

st_logg (gravedad superficial de la estrella – $\log_{10}(\text{cm/s}^2)$)

st_age (edad de la estrella – en Gyr: 10^9 años)

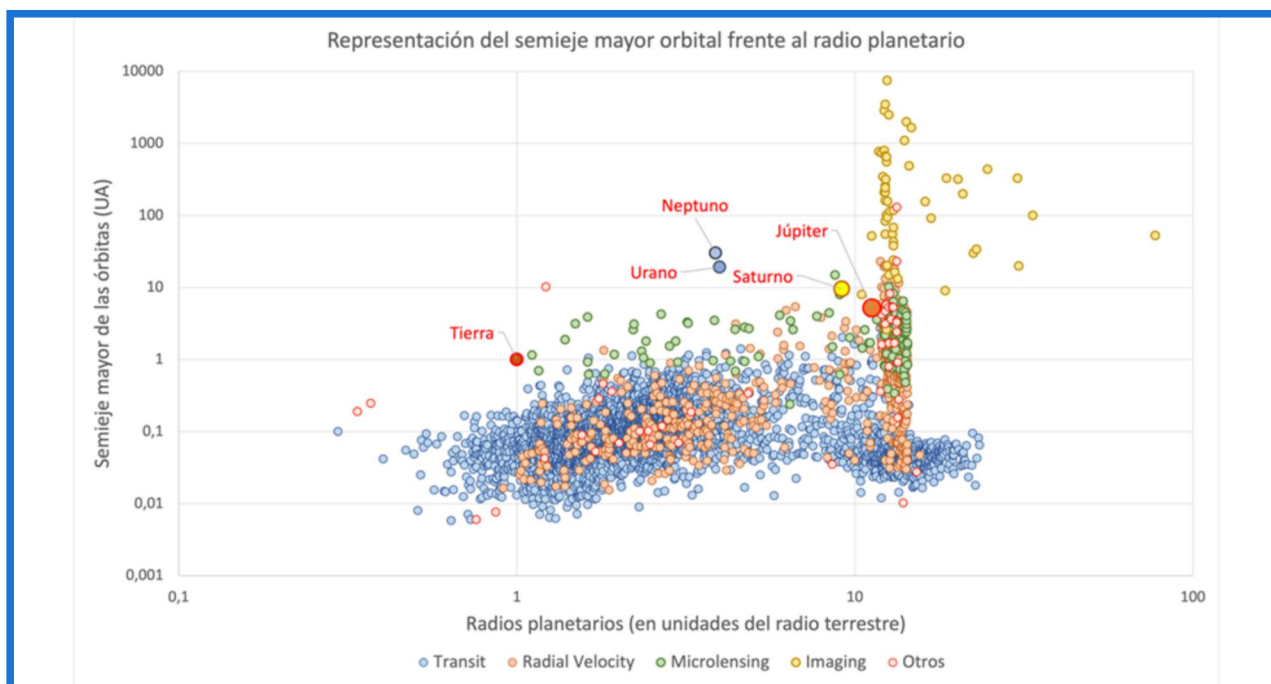
sy_gaiamag (magnitud fotométrica según Gaia)

- Para simplificar los gráficos añadiremos la columna '*cod_method*', (antes ya contemplada), en la que se agrupan algunos de los métodos de detección menos significativos. Su contenido se reduce a:

cod_method={'Imaging','microlensing','Radial Velocity','Transit','Otros'}

- Ordenaremos esta tabla por *cod_method* y *pl_rade*, esto es, por el método de detección y el radio del planeta, con objeto de representar la distribución de distancias

Fig. 2.2 – Representación del semieje mayor orbital en función del radio planetario diferenciando series por el método de detección. Los ejes están representados en escala logarítmica. Se han añadido las posiciones en el gráfico de la Tierra, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, como referencias comparativas propias del Sistema Solar.



[4] Si alguno de estos parámetros no se tiene porque no se descargó inicialmente del fichero, puede ignorarse, pero se recomienda en cualquier caso repetir el proceso de descarga incluyendo las columnas que se echen en falta.

[5] Debe hacerse notar que estamos asumiendo el semieje mayor orbital como la distancia planeta-estrella. Sería más riguroso plantearse una distancia media calculada a partir de los parámetros semieje mayor y excentricidad de la órbita, pero aquí esta aproximación es aceptable.

planeta-estrella^[5] frente al radio del planeta con diferentes series según el método de detección. El resultado se muestra en la fig. 2.2.

Lo primero a destacar en la fig. 2.2 es que la mayoría de los exoplanetas conocidos quedan por debajo de la línea de trazos que marca 1 UA, es decir, si estos estuvieran en el Sistema Solar, serían todos planetas interiores a la Tierra, como Venus y Mercurio. Esta mayoría es concretamente de un 86.6%, (como puede calcularse fácilmente a partir de los datos que venimos manejando ^[6]).

¿Significa esto que ésta es una característica propia de los sistemas planetarios extrasolares? Evidentemente no. Lo que se pone de relieve aquí es que las técnicas actuales tienen más fácil la detección de planetas próximos a sus respectivas estrellas. Esto es especialmente manifiesto en el caso de la detección por el método del tránsito, incluso para planetas grandes, (radios $>10 R_T$), ya que se requieren al menos tres tránsitos para confirmar la existencia identificada de un exoplaneta. Si la distancia del planeta a su

estrella es grande, también lo será su periodo orbital, y no ha habido tiempo suficiente aún para que el número de exoplanetas conocidos alejados sea mayor por esta razón.

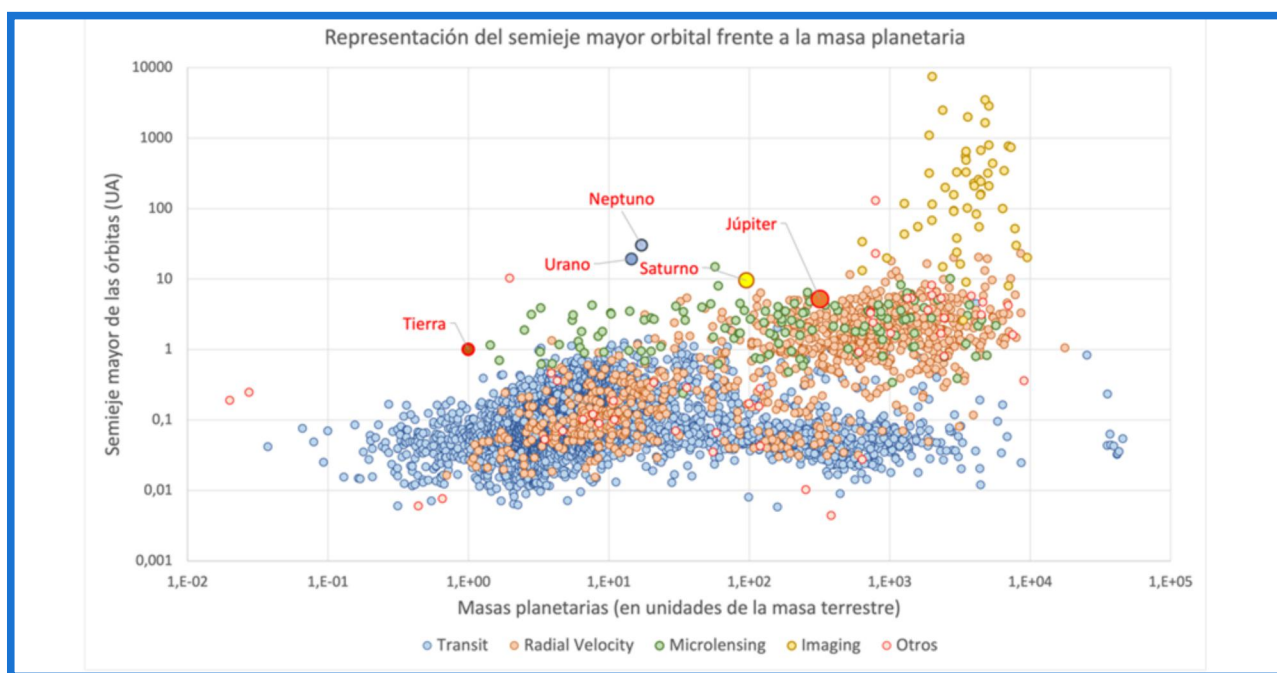
En el caso de la detección por el método directo de Imagen por el contrario, resulta favorable la condición de que sí haya una mayor lejanía del planeta a su estrella, donde además también debe ayudar el que se trate de planetas de gran radio. Esto se ve claramente en la fig. 2.2.

Si planteamos una representación similar a la anterior pero sustituyendo el radio del planeta por su masa, lo que tenemos es lo que nos muestra la fig. 2.3.

También aquí las escalas de los ejes son logarítmicas para dar más detalle al gráfico. (Véase en la fig. 2.1 que los bloques de la parrilla que afectan al semieje mayor orbital -fila 1 y columna 1- no son representativos por la poca dispersión de los datos frente a algunos valores muy extremos que incluso pueden ser erróneos).

El gráfico 2.3 matiza un poco las

Fig. 2.3 – Representación del semieje mayor orbital en función de las masas.



[6] Debe tenerse en cuenta que hay 265 exoplanetas de los que no se tiene información sobre su semieje mayor orbital y que han sido excluidos del cálculo del porcentaje

conclusiones anteriores al poner de manifiesto igualmente que el método de velocidad radial es más sensible a planetas masivos, como era de esperar. Véase el amplio conjunto por este método con masas $> 100 M_{\text{T}}$. También resulta evidente la amplia mayoría por debajo de 1 UA.

Por último, haremos un simple ejercicio sobre la tercera Ley de Kepler:

$$\frac{T^2}{a^3} = Cte$$

donde, T es el periodo orbital y a el semieje mayor de la órbita.

Para ello representaremos el periodo orbital frente al semieje mayor. Véase la fig. 2.4, donde se puede observar una muy buena correlación entre estas dos variables ajustada a la ley de potencia esperada:

$$[1] \quad T = Cte. a^{3/2}$$

El exponente, en el ajuste calculado por Excel a partir de los datos con los que estamos trabajando, es 1.4664 que resulta compatible con la tercera ley de Kepler, según

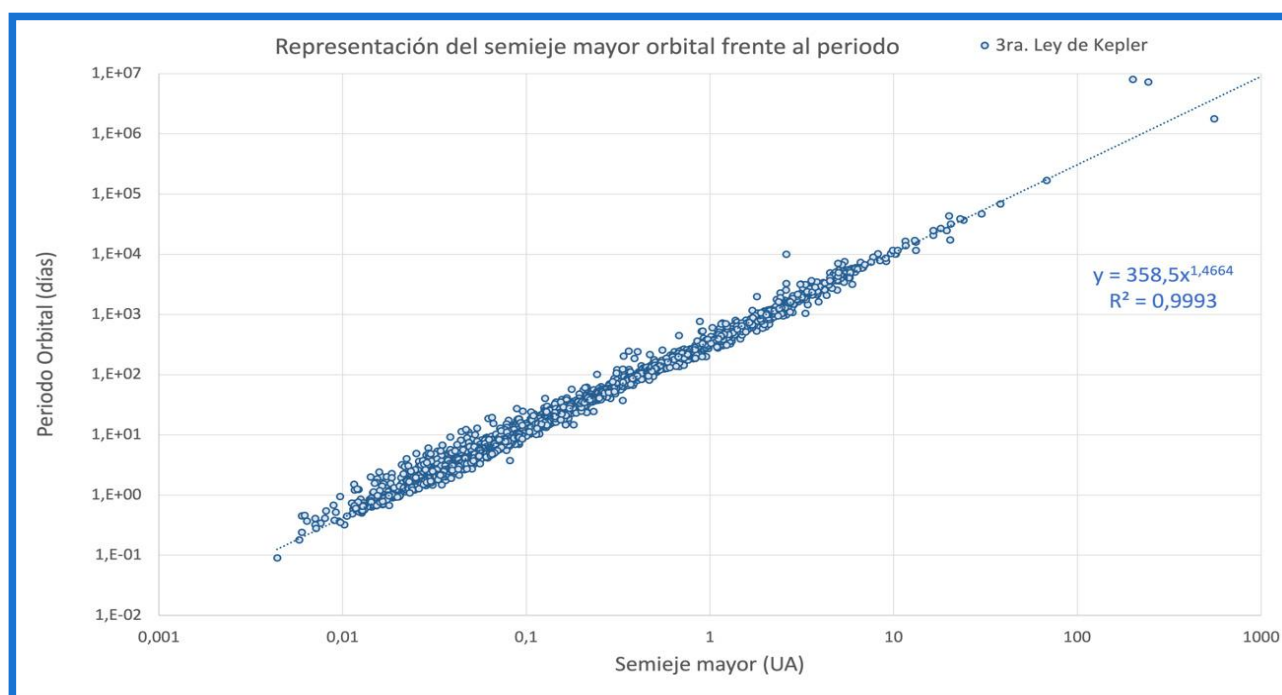
la cual este exponente debería ser 1.5 ($=3/2$), según [1], dada la incertidumbre en los datos reflejada en los valores de error (+/-) asociados a estos parámetros. Véase el anexo.

b) La zona de habitabilidad.

El segundo estudio será: ¿cuántos, (y cuáles), de los exoplanetas conocidos son potencialmente habitables? Ésta es una cuestión que puede resultar interesante y motivadora para trabajarla en el aula. Aunque ya sabemos que los planetas descubiertos hasta el momento están en su gran mayoría muy próximos a sus estrellas, (debido a la capacidad de las técnicas de detección disponibles), el que un planeta se encuentre dentro de la zona de habitabilidad depende no sólo de la distancia a la estrella, sino también de las características de ésta última.

Para este ejercicio utilizaremos el criterio de habitabilidad definido por el *PHL (Planetary Habitability Laboratory)* –[David R. Underwood (2003) & Franck Selsis (2007)]– que define dos radios, o distancias desde la estrella, entre los cuales se asumen condiciones de habitabilidad. Estos dos radios r_i y r_o son respectivamente los radios interior y exterior. Por debajo

Fig. 2.4 – Periodo orbital frente a semieje mayor de la órbita. Tercera ley de Kepler



del primero las altas condiciones de insolación del planeta lo hacen incapaz de albergar vida y por fuera del radio exterior, llamado 'línea de hielo', ocurre por el contrario que el frío es causante de las condiciones de no habitabilidad.

Estos radios dependen básicamente de la temperatura superficial efectiva de la estrella y de su luminosidad, y se definen así:

$$[2] \quad r_o = [r_{os} - a_o(T_{eff} - T_{\odot}) - b_o(T_{eff} - T_{\odot})^2] \sqrt{L}$$

$$r_i = [r_{is} - a_i(T_{eff} - T_{\odot}) - b_i(T_{eff} - T_{\odot})^2] \sqrt{L}$$

Siendo T_{eff} y L la temperatura efectiva y la luminosidad respectivamente de la estrella, y $T_{\odot}$ la temperatura superficial efectiva del Sol (≈ 5.700 K), mientras que el resto de parámetros toman los siguientes valores:

$$a_o = 1.3786 \cdot 10^{-4}, b_o = 1.4286 \cdot 10^{-9},$$

$$a_i = 2.7619 \cdot 10^{-5}, b_i = 3.8095 \cdot 10^{-9},$$

$$r_{os} = 1.77, r_{is} = 0.72$$

Los radios $\{r_o, r_i\}$ así calculados están expresados en unidades astronómicas.

La luminosidad se expresa en unidades solares, $L_*/L_{\odot}$

Como se puede ver, hasta ahora sólo se han definido dos radios $\{r_o, r_i\}$ que dependen exclusivamente de cada estrella. Es preciso determinar si cada planeta en cuestión está o no dentro del margen determinado por esos radios. Para ello se define igualmente un parámetro normalizado, llamado HZD, de la siguiente manera:

$$HZD = \frac{2r - r_o - r_i}{r_o - r_i}$$

donde r es el radio de la órbita planetaria, es decir, su distancia a la estrella. Utilizaremos

aquí el valor del semieje mayor orbital (a) de nuestro fichero para cada uno de los planetas, $r=a$.

La zona de habitabilidad se define en cada caso para $HZD_p=(-1,+1)$, y, más estrictamente, hablaremos de 'zona de confort' si el valor está entre $HZD_p=(-0.5,+0.5)$.

Vista esta introducción teórica, ahora debemos preparar adecuadamente los datos necesarios para resolver el problema planteado con los planetas de nuestro fichero. Vamos a necesitar:

Temperatura efectiva de la estrella – st_teff [K]

Luminosidad de la estrella – st_lum [$\log(\text{Solar})$]

Semieje mayor de la órbita del planeta – $pl_orbsmax$ [UA]

Tanto st_teff como $pl_orbsmax$ están en las unidades correctas y no necesitan ninguna manipulación. En cuanto a la luminosidad estelar, como se ve, en el fichero la tenemos expresada como el log en base 10 del cociente $L_*/L_{\odot}$ por tanto sólo debemos hacer una transformación simple aquí para el parámetro L , ($L=10^{(st_lum)}$), y lo tendremos en unidades solares, que son las contempladas en [2]. Después añadiremos las columnas necesarias para el resto de parámetros: r_i , r_o y HZD.

Una vez calculado el parámetro HZD_p para cada planeta^[7] ya podremos representar la distribución de exoplanetas según su característica de habitabilidad (Fig 2.5).

Como era de esperar, la mayoría de los exoplanetas están dentro de la zona estimada de no habitabilidad ($a < r_i$). Esto no significa que ésta sea la tónica dominante, al menos en esta proporción, sino que como ya sabemos las técnicas de detección actuales (en especial la más utilizada del tránsito) tiene más dificultades para la detección de planetas alejados de su estrella anfitriona.

[7] Hay que tener en cuenta que puede haber exoplanetas que no tengan información en alguna de las columnas contempladas: $pl_orbsmax$, st_teff , st_lum . Conviene, por tanto, emplear la función $=SI(\text{condición};\text{valor SI};\text{valor NO})$ de Excel para dejar con valor nulo la columna HZD en cualquiera de estos casos y evitar el error correspondiente en los cálculos.

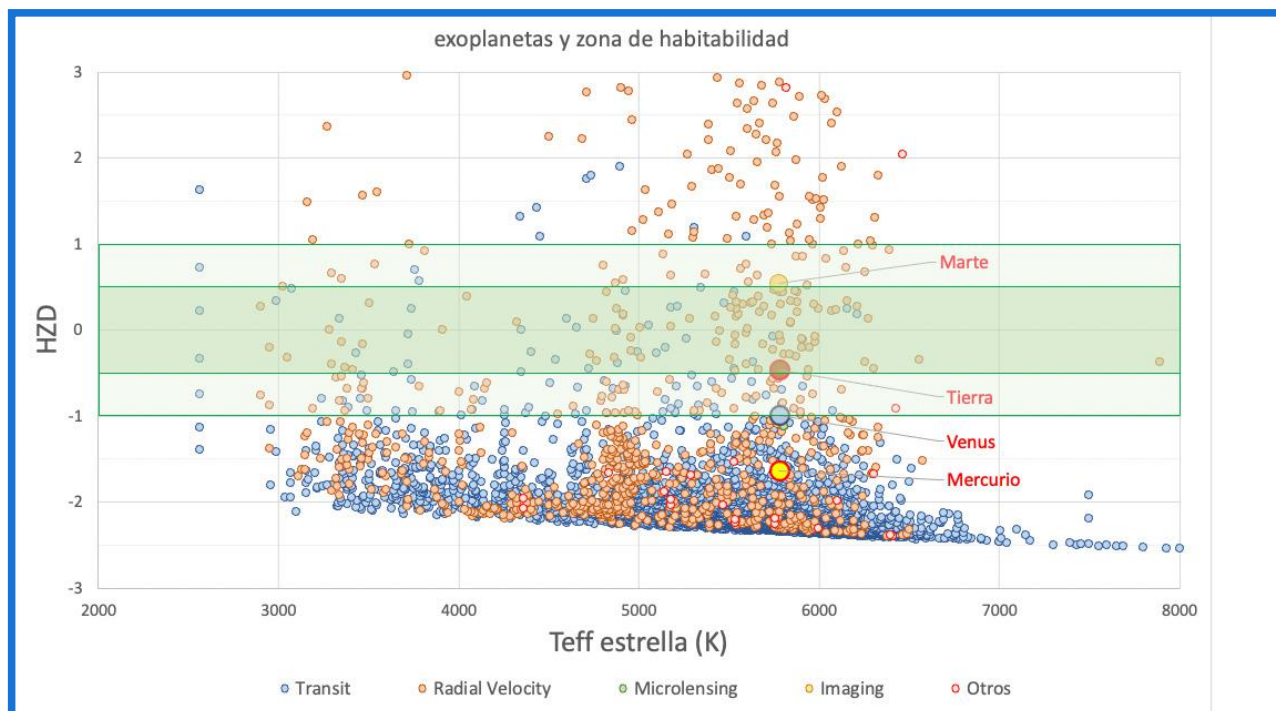


Fig. 2.5 – distribución de exoplanetas confirmados en función de su parámetro HZD.

En la fig. 2.5 se han remarcado las zonas de habitabilidad $HZD = (-1, +1)$ y de *confort* $(-0.5, +0.5)$. Se han añadido también, como referencias, las posiciones de los planetas Mercurio, Venus, la Tierra y Marte.

Quedan fuera del gráfico los planetas detectados por el método directo de '*imaging*' que, como también sabemos ya, son más fáciles de detectar si se encuentran a una mayor distancia de su estrella, todos ellos tienen un valor $HZD > 3$, y sólo uno de los detectados por el método '*microlensing*' tiene informados los datos de luminosidad y temperatura efectiva correspondientes a su estrella, lo que explica que este grupo no aparezca en la fig. 2.1.

c) Tipo de estrella

Para terminar esta segunda entrega haremos una exploración sencilla acerca de los tipos de estrellas representados en este catálogo. ¿Todos los tipos de estrellas tienen sistemas planetarios, o hay algún tipo que por sus características propias no lo haga posible?

Para ello revisaremos los tipos espectrales y también construiremos el diagrama H-R de

las estrellas presentes en este fichero. Es un buen momento para repasar en el aula qué es un diagrama Hertzsprung-Russell y las etapas evolutivas en la vida de las estrellas.

Para construir el diagrama H-R con el conjunto de estrellas que tenemos en este fichero basta representar su distribución en función de la temperatura efectiva y la luminosidad. Emplearemos los parámetros de las columnas st_teff y st_lum (en unidades solares, $L = 10^{(st_lum)}$, como en el ejercicio anterior). El resultado está en la fig. 2.6.

Como puede comprobarse, prácticamente todos los tipos estelares están bien representados, desde las enanas marrones a las gigantes rojas y también las azules, siendo especialmente numeroso el grupo de estrellas en la secuencia principal, (como era de esperar ya que las estrellas pasan la mayor parte de sus *vidas* en esta fase). Sin embargo, la rama de las estrellas masivas y muy calientes (gigantes azules) está menos poblado. Es cierto que estas estrellas tienen una vida más corta, pero sería interesante estudiar con más atención esta circunstancia para determinar si esta menor representación

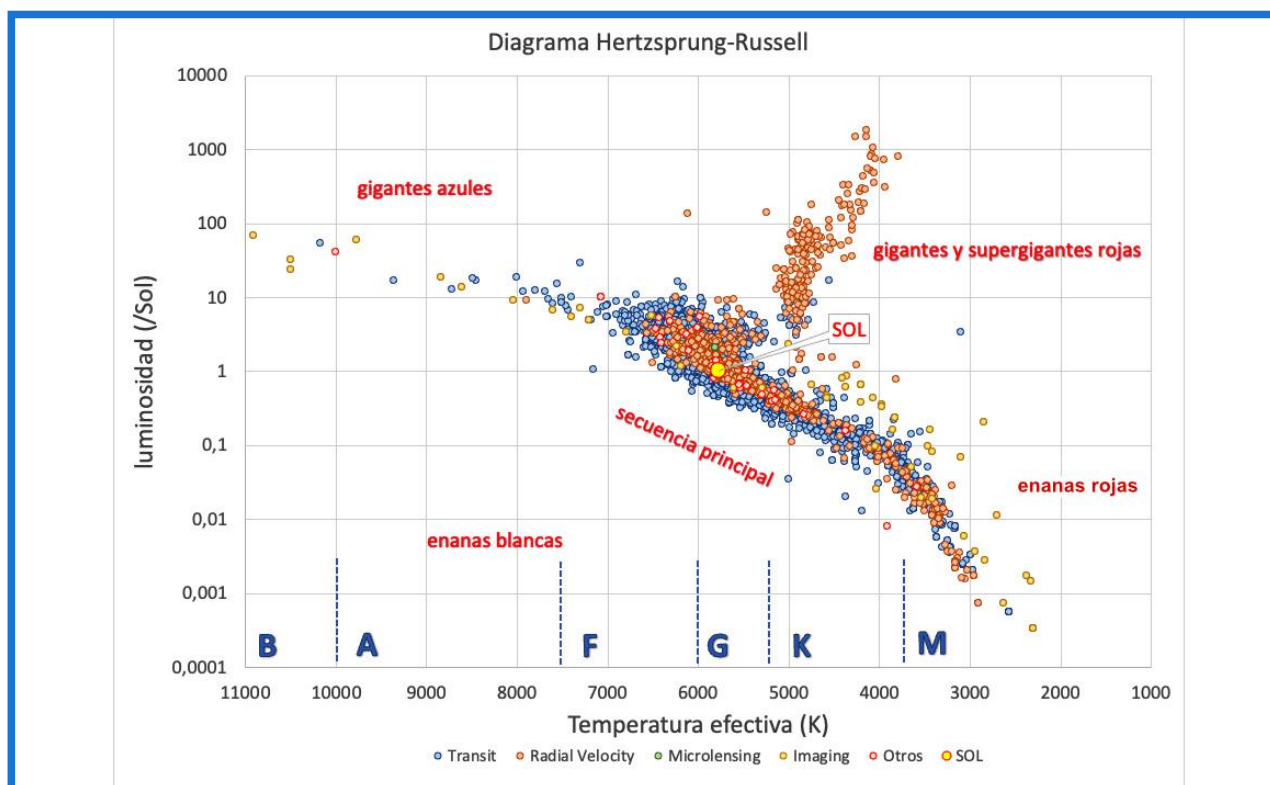


Fig. 2.6 – diagrama Hertzsprung-Russell de las estrellas anfitrionas de los exoplanetas confirmados. El eje de ordenadas se representa en escala logarítmica.

se debe a deficiencias de las propias técnicas de detección o si está indicando realmente una cierta escasez de sistemas planetarios en este tipo de estrellas.

Igualmente es significativa la ausencia de exoplanetas en estrellas del tipo *enanas blancas*, que no aparecen en el diagrama. También aquí habría que determinar si se trata de dificultades en la detección con las técnicas actuales, o bien está poniéndose de manifiesto que los sistemas planetarios no *sobreviven* a la fase explosiva de las gigantes rojas que deja como resto este tipo de estrellas.

En la fig. 2.6 están diferenciados, por colores, las series que venimos representando en función del método de detección, (se pueden extraer conclusiones al respecto igualmente), así como también están marcados los límites aproximados de los tipos espectrales, (M, K, G, F, A, B, O).

Hay más ejercicios que se pueden desarrollar aprovechando la información

contenida en el fichero '*Planetary System Composite Data*' que pueden resultar de gran interés didáctico. Por ejemplo, puede hablarse de magnitudes aparentes y magnitudes absolutas de las estrellas, y a partir de ello calcular la Magnitud Absoluta de estas estrellas utilizando los valores contenidos en las columnas *sy_gaiamag* y *sy_dist* según:

$$M = m + 5 - 5 \log (d)$$

haciendo $m = sy_gaiamag$ y $d = sy_dist$, que ya nos viene dado en parsecs.

También pueden ensayarse otras distribuciones que involucren otros parámetros de los disponibles en busca de posibles correlaciones significativas. En el anexo se ofrece otro ejemplo que contempla la edad estelar.

En el próximo artículo entraremos en un tema mucho más interesante: las relaciones masa/radio de los exoplanetas. Ahí intentaremos discriminar entre planetas rocosos, tipo Tierra, y gaseosos como los gigantes tipo Júpiter y mayores.

ANEXO

1- Python para distribuciones de parámetros, relacionados dos a dos, en una parrilla de ejes múltiples.

a) Primero es necesario exportar un fichero .csv desde Excel con el contenido que se quiere representar. En este caso, la mayoría de los campos del fichero, (sin los correspondientes parámetros de errores, etc., para simplificar).

b) Otro gráfico con algunos parámetros diferentes a los de la fig. 2.1:

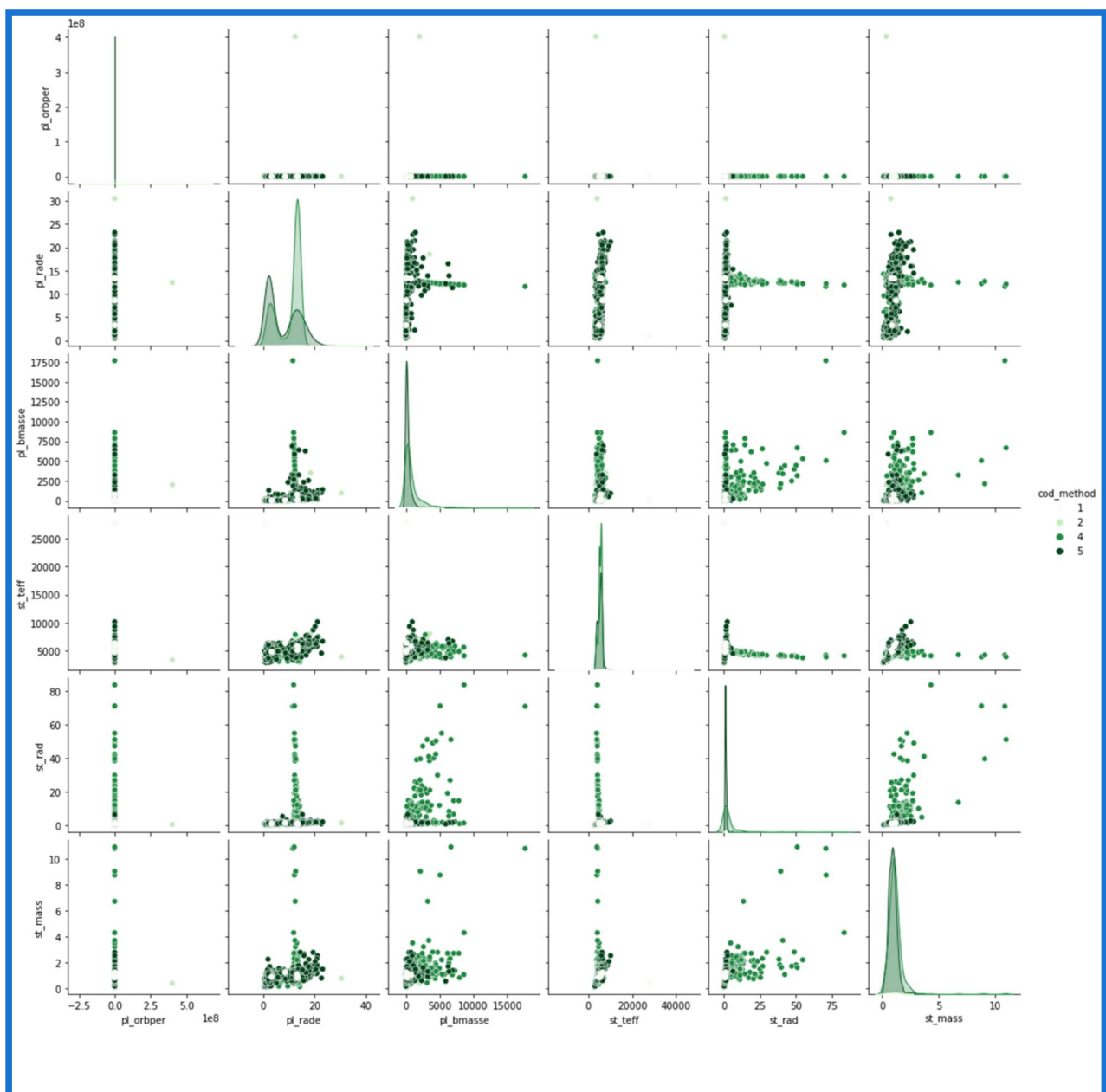


Fig. 2.1b – Correlaciones múltiples por pares de variables

c) Código Python:

librerías

```
import numpy as np
import pandas as pd
import seaborn as sns
```

lectura del fichero .csv exportado (exoplanets-2-correlaciones.csv) y expresión de variables

```
df = pd.read_csv('exoplanets-2-correlaciones.csv', sep=';',
names=['pl_name', 'hostname', 'discoverymethod', 'cod_method', 'pl_orbper',
'pl_orbsmax', 'pl_rade', 'pl_radj', 'pl_bmasse', 'pl_bmassj',
st_spectype', 'st_teff', 'st_rad', 'st_mass', 'st_met', 'st_metratio',
'st_logg', 'sy_dist', 'sy_gaiamag'],
skiprows=1) # salta el 1er. registro (cabecera)
df.dropna(inplace=True) # elimina registros con valores nulos
```

gráfico

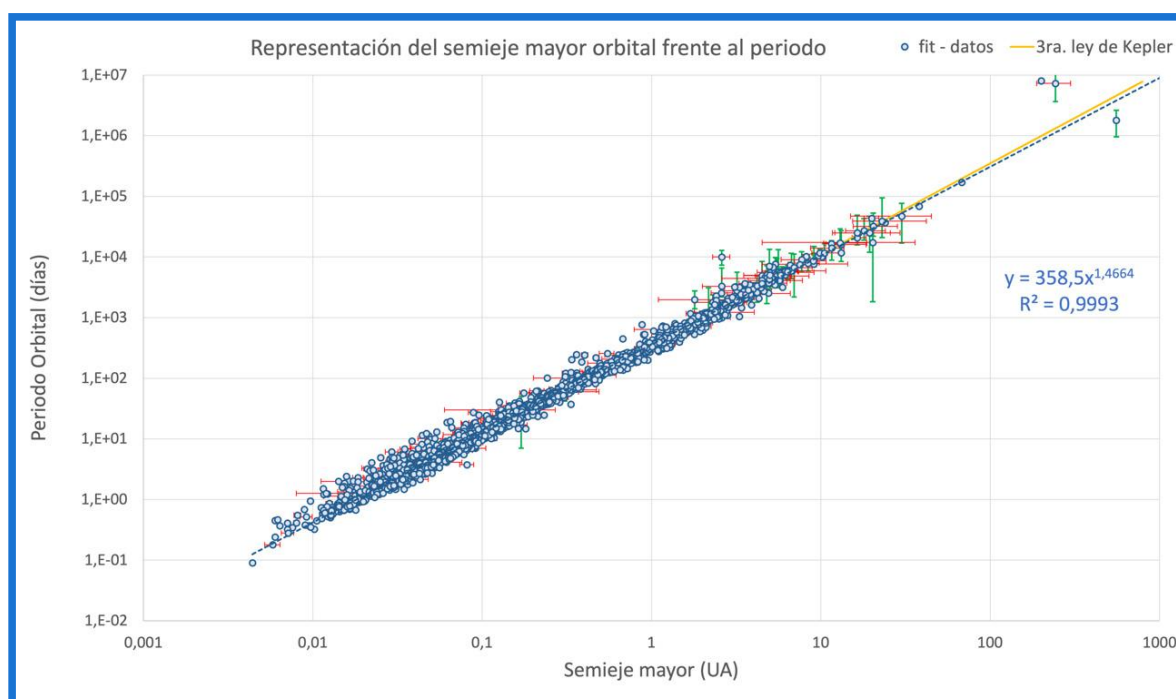
```
sns.pairplot(df, vars=['pl_orbsmax', 'pl_rade', 'pl_bmasse', 'st_logg', 'sy_dist', 'sy_gaiamag'],
hue='cod_method', palette='Greens') # para fig. 2.1 en el artículo
sns.pairplot(df, vars=['pl_orbper', 'pl_rade', 'pl_bmasse', 'st_teff', 'st_rad', 'st_mass'],
hue='cod_method', palette='Greens') # para fig. 2.1b en el anexo
```

2- La tercera ley de Kepler

Si se utilizan las columnas que contienen los errores estimados en las medidas de *pl_orbper* y *pl_orbsmax* y se introducen en la gráfica de la fig. 2.4, se tendrá una imagen más significativa de la calidad de estos datos:

La línea en amarillo superpuesta representa la función $y = C \cdot x^{1.5}$ esto es, la tercera ley de Kepler, (con $C \approx 350$), totalmente compatible con los datos tratados en el margen de confianza de sus incertidumbres empíricas.

Fig. 2.4b – La misma representación que la de la fig. 2.4 pero incorporando la información relativa a los errores recogidos en las columnas correspondientes del fichero de exoplanetas.



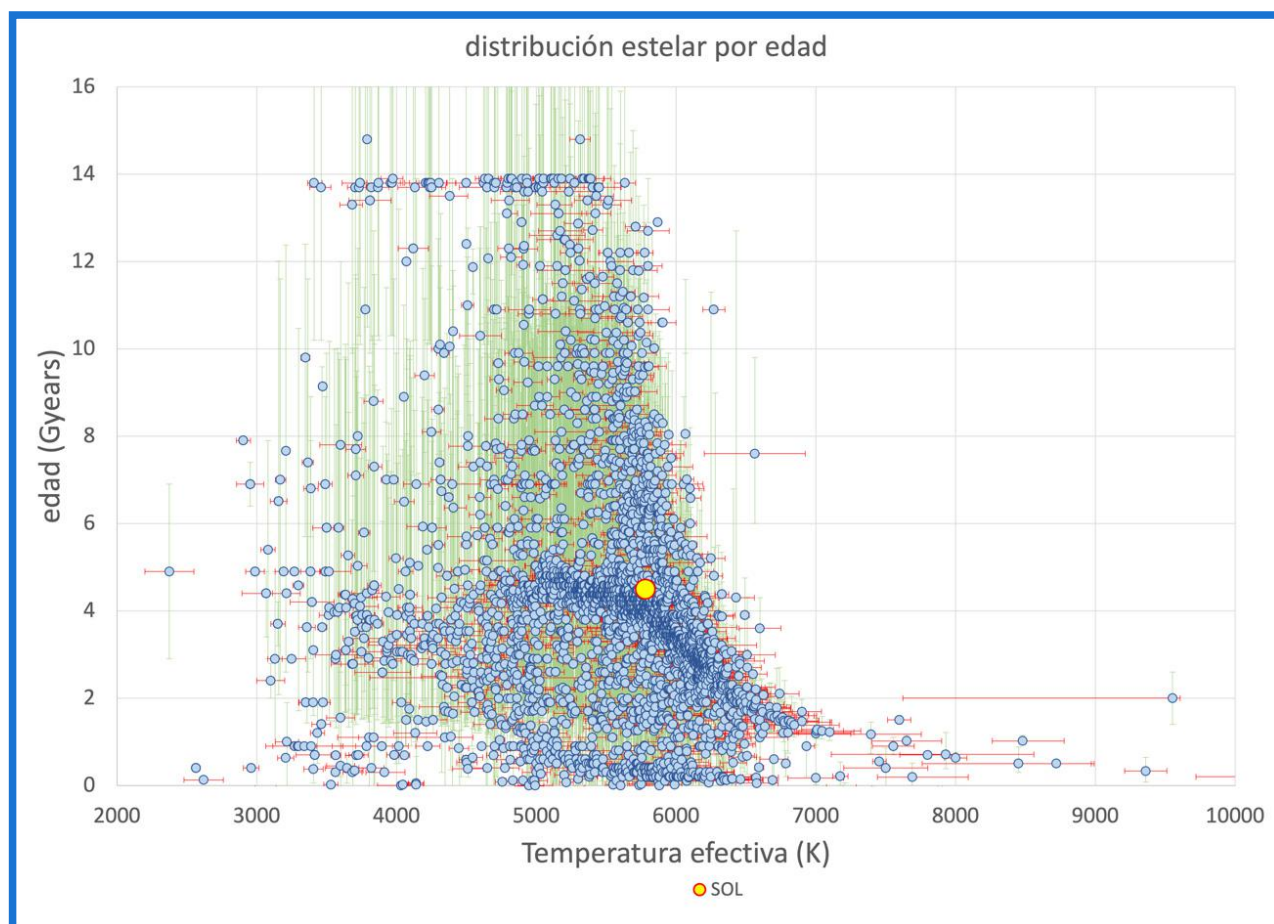
3. Una posible relación entre la edad estelar y la temperatura efectiva de las estrellas.

El objetivo de este ejercicio es llamar la atención sobre la precaución necesaria a la hora de tratar datos de manera masiva y no discriminada. Como se puede apreciar con el parámetro 'st_age' hay un número alto de estrellas con edades elevadas, (próximas a 14 Gyears, e incluso por encima). Este dato es sospechoso en tanto que significaría una edad similar a la del Universo o superior.

Si en este caso echamos mano de los márgenes de error reportados para estas estimaciones, vemos que la alta incertidumbre que las acompañan explica de alguna manera las anomalías detectadas. Es conveniente, si se quiere hacer algún tipo de estudio con datos de esta naturaleza, restringir los registros útiles a aquellos que presenten unos valores de error por debajo del 15 o 20% del valor absoluto del parámetro tratado.

En el ejemplo aquí presentado parece intuirse un comportamiento con algún significado para edades inferiores a los 6 Gyears, pero es preciso hacer antes una selección con el criterio indicado.

Fig. 2.7 – Representación de la edad estelar en función de la temperatura efectiva.





ApEA, la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía, nació en 1995 para acoger a todas las personas que se dedican a la enseñanza de la Astronomía en centros educativos, planetarios, museos de la ciencia, agrupaciones de aficionados y clubes de estudiantes.

ApEA engloba a todos los interesados en la enseñanza de todos los niveles educativos reglados -desde la enseñanza primaria hasta la universitaria- así como los no reglados.

También organiza reuniones de formación para sus socios y publica materiales de interés didáctico, como la presente revista.

Más información en www.a pea.es

