

## Resumen de la clase 1, Nuestro Lugar en el Universo, Astronomía General, Facultad de Ciencias.

Estamos confinados dentro de una galaxia (la "Vía Láctea") que contiene cientos de miles de millones de estrellas y gran cantidad de gas y "polvo". El Sol no está ni en el centro ni en el borde. A su vez nuestra galaxia es una entre aproximadamente 2 millones de millones de galaxias que componen el Universo y que no se distribuyen uniformemente en el espacio sino que parecen agruparse a lo largo de "filamentos". Como la luz no es instantánea, cuanto más lejano es un objeto más antigua es la imagen que recibimos. Algunos objetos (proto-galaxias) se encuentran tan alejados que los vemos como eran al inicio del universo, cuya edad se puede deducir a partir de su velocidad de expansión y que sería de unos 13700 millones de años. En nuestro Sistema Solar los cuerpos que lo componen son rocosos en las proximidades del Sol y gaseosos y helados en las regiones más alejadas. Hay 2 claros cinturones de cuerpos menores: los asteroides y los transneptunianos. Los transneptunianos más alejados presentan órbitas muy excéntricas por lo que se especula con la existencia de un planeta que los perturba y que todavía no se ha descubierto: el Planeta 9. Mucho más allá tenemos la nube de Oort formada por cuerpos helados. La historia del Sistema Solar no empieza con el origen del universo sino que comienza en el último tercio de la edad del universo, hace unos 4700 millones de años. La vida apareció "rápidamente" una vez formada y estabilizada la Tierra pero su evolución fue muy lenta, siendo unicelular durante 2500 millones de años. Si comprimimos la edad del universo en un calendario de 365 días y ponemos al Big-Bang el 1 de enero, entonces la extinción de los dinosaurios ocurre el 30 de diciembre y los primeros humanos modernos aparecen a las 23:58 del 31 de diciembre. La historia del universo la podemos reconstruir analizando los "portadores de información", es decir los medios que nos traen información como por ejemplo la luz o las ondas electromagnéticas en general, las partículas como núcleos atómicos que impactan en nuestra atmósfera (rayos cósmicos), las ondas gravitacionales y las muestras físicas (rocas, polvo) que podemos obtener en forma natural como los meteoritos o mediante misiones espaciales.

## Resumen de la clase 2, Descubriendo el Universo, Astronomía General, Facultad de Ciencias.

El ciclo día/noche fue la unidad elemental de medida del tiempo para los antiguos pero mientras el ciclo de las fases lunares sirvió a los pueblos nómadas como unidad larga para contabilizar el tiempo, para los agricultores que se desarrollarían después lo fue el ciclo de las estaciones que rápidamente se asoció al movimiento anual del Sol. A lo largo del año el Sol sale por diferentes puntos del horizonte y ese ciclo llamó la atención de los pueblos asentados en un lugar fijo como una regularidad en la que se podía confiar. Los caldeos descubrieron una regularidad notable en los eclipses (Saros) que impactó en los pensadores griegos pues sugiere un mecanismo matemático regular por detrás del movimiento de los astros que merece ser estudiado. Entre los filósofos griegos había algunos interesados en la filosofía de la naturaleza (filósofos naturales, especialmente Aristóteles). Estos filósofos con razonamientos simples hallaron tamaños y distancias del sistema Tierra-Luna e idearon el modelo geocéntrico donde los planetas están sostenidos por esferas materiales que giran con centro en la Tierra (que no era considerada planeta). Hubo quienes propusieron el modelo heliocéntrico colocando a la Tierra como un planeta más pero este modelo presenta el serio problema de la existencia de la paralaje estelar que no se observaba. El geocéntrico presenta la complicación de que debe explicar los bucles que describen los planetas en el cielo. La inexistencia de buenos catálogos estelares implicaba que el movimiento de los planetas estaba mal registrado y en consecuencia mal estudiado y sus leyes mal determinadas. Estaba claro que los planetas eran astros con poderes diferentes a las estrellas pues éstas están fijas en una esfera exterior mientras los planetas se mueven en sus propias esferas. La astrología nació pretendiendo interpretar el mensaje de los planetas, que estaban asociados a dioses. En la edad media choques culturales entre paganos, cristianos e islámicos tuvo nefastas consecuencias en la conservación de los trabajos

de los antiguos griegos (conservados en rollos de papiro) hasta que los árabes empezaron a reconocer el valor del trabajo de los griegos y rescataron del olvido muchas obras traduciendo del griego al árabe que en Europa luego se tradujeron del árabe al latín. La ciencia árabe-islámica se basaba en el Corán y en los manuscritos griegos análogamente a lo que la iglesia católica haría más adelante: basarse en la Biblia y Aristóteles. Entre las obras traducidas está el Almagesto de Ptolomeo donde se consagra el modelo geocéntrico y que la iglesia católica adopta como modelo del mundo. Gracias al rescate de la cultura griega por parte de los árabes Europa siglos después comienza a despertar culturalmente y surgen universidades. Oxford fue la primera universidad que se planteó estudiar la naturaleza, fueron sus filósofos que propusieron por primera vez observar la naturaleza, experimentar y aplicar la incipiente matemática. Copérnico, un astrónomo y sacerdote católico, desde Polonia y luego de muchos años de trabajo vuelve a plantear el sistema heliocéntrico como un sistema notablemente más simple que el geocéntrico y que explica muy bien el movimiento observado de los planetas en el cielo. La intelectualidad europea recibe muy bien el trabajo de Copérnico y adopta este sistema aunque se evita su enseñanza en forma abierta pues va contra lo aceptado por la Iglesia (el modelo geocéntrico) y defendido por la Inquisición, que está muy ocupada quemando herejes como Giordano Bruno. El modelo de Copérnico constituido por órbitas perfectamente circulares no es capaz de decir nada sobre las distancias de los planetas al Sol, ese asunto no se ha resuelto. Tycho desde Dinamarca descubre que de la nada ha surgido una estrella nueva en el cielo lo que pone en duda la inmutabilidad de la esfera de las estrellas. Después de todo ¿qué son las estrellas, no eran eternas? Tycho es el primer astrónomo que estudia con precisión el movimiento de los planetas más de mil años después de los registros de los griegos. El trabajo de Tycho y Kepler desde Dinamarca sobre el movimiento de los planetas conduce a 3 leyes del movimiento planetario que además de heliocéntrico ya no es circular sino elíptico y resuelve el problema de las distancias relativas al Sol, es decir se sabe que Júpiter dista del Sol 5 veces la distancia Tierra-Sol, pero no hay forma de encontrar aun el valor de la distancia Tierra-Sol en kms por ejemplo. Ya no hay dudas que las esferas materiales que sostenían a los planetas y las estrellas no existen por lo que debe haber alguna entidad que mantiene a los planetas en sus órbitas. Kepler piensa que del Sol emana un "vigor" que decae con la distancia y por eso los períodos orbitales son más largos más lejos del Sol. Paralelamente Galileo en su laboratorio descubre algunas leyes básicas de la física, estudia la aceleración en la superficie terrestre y construye telescopios que le permiten descubrir una enorme cantidad de cosas en el cielo. En particular las fases de Venus son una prueba notable del sistema heliocéntrico. Su entusiasmo por lo que descubre mediante el telescopio lo lleva a popularizar el sistema heliocéntrico y a ser condenado por la Iglesia (que pediría perdón por la injusta condena recién en 1992). Persiste la interrogante de qué es lo que mueve los planetas en torno al Sol puesto que no parece haber contacto entre este y los planetas, hay una especie de "acción a distancia". Desde Holanda Descartes propone que entre los planetas existe un fluido que los arrastra provocando su movimiento, le resulta difícil aceptar una acción a distancia a pesar que el magnetismo ya se conocía y parece ser justamente eso. Descartes publica el Discurso de Método que establece los principios elementales para conocer la naturaleza, es decir, el método científico. En el siglo XVII se crean las sociedades científicas en Inglaterra y Francia y el estudio de la naturaleza se multiplica, sistematiza y profundiza. En estos países los científicos son convocados por los gobiernos para resolver problemas fundamentales de las naciones. Newton, recogiendo los trabajos de Galileo y Kepler provee la ley de gravitación universal que afecta a todos los cuerpos masivos y que explica en forma muy precisa los movimientos observados de los planetas, cometas y la Luna. Para deducir su ley Newton notó primero que el movimiento de la Luna es de la misma naturaleza que el movimiento de una bala de cañón y segundo que la aceleración que siente la Luna debido a la Tierra es menor que la aceleración que tenemos en la superficie terrestre y que esa aceleración decae con la distancia al centro de la Tierra al cuadrado. Esto es típico de algo que emana de la Tierra y se propaga isotrópicamente en el espacio distribuyéndose en una superficie cada vez mayor y que es justamente proporcional a la distancia al cuadrado. Poco después Newton publica su famosa obra en donde se proveen los principios matemáticos que rigen la naturaleza, ésta puede ser entendida y modelada mediante expresiones

matemáticas. El universo conocido es una especie de reloj, un mecanismo que podemos entender y no una sucesión de episodios mágicos. Newton especula con que el Sol tal vez sea una estrella, lo que implicaría que el Universo debe ser muy grande. En el siglo XVIII se descubre que las estrellas no están fijas, se mueven entre sí, estamos en medio de un enjambre de estrellas y el Sol sería una de ellas. Recién en el siglo XIX se pudo observar por primera vez el pequeñísimo desplazamiento de la paralaje estelar que permitió encontrar las distancias a las estrellas resultando ser impensablemente enormes. La acción a distancia sólo sería entendida en el siglo XX a partir de la teoría de la relatividad general de Einstein: no hay tal acción a distancia, los cuerpos se mueven por las deformaciones que generan en el espacio los cuerpos masivos.

Resumen de la clase 3, Fenómenos de Sol y Luna, Astronomía General, Facultad de Ciencias.

La rotación terrestre genera el movimiento de giro de la esfera celeste, que los antiguos imaginaban como esfera material. Pero además, la variable posición de la Tierra en su órbita genera una proyección del Sol en el fondo estrellado que cambiara lentamente a lo largo del año. Esto hace que el Sol salga y se oculte por diferentes puntos del horizonte y su trayectoria diurna cambie generando una variable insolación del suelo y produciendo las estaciones. La excentricidad orbital de los planetas también tiene un efecto en la insolación pero es muy pequeño en el caso de la Tierra aunque notorio en el caso de Marte. El ciclo de las fases lunares queda definido por el movimiento de la Luna respecto al sistema Sol-Tierra. No siempre quedan los tres cuerpos alineados pues se mueven en planos diferentes, cuando eso ocurre tenemos eclipses. La aceleración gravitacional de la Luna sobre cada partícula de la Tierra depende de su distancia a la Luna por lo que el hemisferio terrestre que tiene a la Luna sobre el horizonte está más acelerado que el que no la tiene y esto genera las mareas lunares sobre la Tierra que producen un abultamiento en la dirección, cambiante, de la Luna. El Sol también genera mareas sobre la Tierra por el mismo mecanismo. La Tierra además sufre otra deformación, en este caso permanente, debido a su rotación que genera un achatamiento polar y abultamiento ecuatorial. Este achatamiento de la forma esférica hace que la atracción lunar genere un "momento", o sea un par de fuerzas, que tiende a cambiar el eje de rotación terrestre generando un notorio movimiento en su eje llamado precesión. Este movimiento es análogo a la precesión observada en un trompo y es tan notorio que los griegos ya lo habían descubierto. En primera aproximación el sistema Tierra-Luna puede considerarse aislado en el espacio y por lo tanto debe conservar su momento angular total (rotacional + orbital). Pero la deformación terrestre debido a las mareas de la Luna genera una transferencia sistemática de momento rotacional terrestre a orbital lunar generando un frenado de la rotación terrestre y un alejamiento de la Luna. La Tierra ya logró frenar a la Luna por este mecanismo de mareas y por eso siempre nos muestra un mismo hemisferio. En el sistema Plutón-Charón ya ambos cuerpos quedaron enfrentados también por este mecanismo de mareas mutuas. Y por este mecanismo de mareas todos los principales satélites de los planetas gigantes son sincrónicos, es decir su rotación y su órbita en torno al planeta están sincronizados mostrando siempre la misma cara hacia el planeta.

Resumen de la clase 4, El Sol, Astronomía General, Facultad de Ciencias.

La distancia al Sol pudo determinarse en forma indirecta determinando la distancia desde la Tierra a un planeta próximo como Venus o Marte midiendo el ángulo de paralaje desde dos puntos de la superficie terrestre. Teniendo la distancia y su tamaño angular deducimos su diámetro. Su masa se deduce del movimiento orbital de los planetas. Se deduce que su densidad es compatible con la de un gas. Su composición se deduce de su espectro: es básicamente H y He. Es una esfera de gas que se mantiene por autogravedad. De acuerdo a la energía solar que recibimos aquí en la Tierra

podemos deducir que emite una enorme cantidad de energía por segundo y fue difícil imaginar cómo se genera tanta energía. La única fuente razonable parecía ser el mecanismo propuesto por Einstein en su teoría de la relatividad de conversión de masa en energía, en este caso mediante reacciones nucleares. La reacción más frecuente en el núcleo del Sol es el proceso protón-protón mediante el cual 4 H se transforman en 1 núcleo de He y como éste tiene menos masa, la masa perdida se transforma en energía. Esta energía se emite desde el núcleo solar mediante rayos gamma que se propagan a través del Sol absorbiéndose y reemitiéndose un número inimaginable de veces hasta llegar a la superficie del Sol cientos de miles de años después de haberse originado. Lo que sale del Sol es un espectro continuo de radiación electromagnética. La forma teórica del espectro es la curva de Planck, quien demostró por qué los cuerpos calientes emiten de acuerdo a ese espectro. El Sol está en estado de plasma, un gas de núcleos atómicos y electrones libres lo que lo hace generar intensas corrientes eléctricas y campos magnéticos. La energía se genera en el núcleo del Sol, luego se transmite por radiación (la llevan los fotones) y luego por convección (la energía la transporta el plasma) hasta salir por la superficie que se conoce como fotosfera. La fotosfera, la cromósfera y la corona constituyen la “atmósfera” solar. Conociendo los parámetros fundamentales del Sol y aplicando las leyes de la física se puede elaborar un “modelo” del interior del Sol, esto es una descripción de cómo varían sus parámetros con la distancia al centro. Los intensos, irregulares y cambiantes campos magnéticos se ponen de manifiesto especialmente en la superficie y atmósfera solar. Estos campos son responsables de la eyección de grandes masas de plasma hacia el espacio que cuando llegan a las proximidades de los planetas generan tormentas magnéticas en sus campos magnéticos. El flujo continuo de núcleos y electrones provenientes del Sol se conoce como viento solar y provee de partículas a los cinturones de radiación confinados por el campo magnético terrestre y genera las auroras polares. La actividad solar presenta un ciclo de 11 años y si bien no se entiende aun por qué ocurre este ciclo está claro que tiene que ver con movimientos internos en el Sol. Ese ciclo de actividad ha sido interrumpido varias veces según registros históricos, no se entiende por qué. El viento solar pierde presión a medida que nos alejamos y se pierde en el medio interestelar, ese límite define la Heliósfera. El Sol lentamente aumenta su emisión de energía y se esperan catastróficos cambios de aquí a unos 7000 millones de años.

Resumen de la clase 5, Planetas rocosos, Astronomía General, Facultad de Ciencias.

Las apariencias engañan. Venus parecía un mundo tropical y Marte un mundo avanzado con canales de irrigación. En la medida que los instrumentos y técnicas se desarrollaron fuimos conociendo cuan diferentes son estos mundo con respecto a la Tierra. Los planetas rocosos son los 4 mas próximos al Sol y podemos incluir también a algunos satélites en esta clase de cuerpos rocosos. Los 4 planetas siguientes son los gigantes gaseosos ricos en H y He que tienen muchos satélites helados, ricos en hielos (no solo de agua). Los cuerpos rocosos que son suficientemente masivos tendrán suficiente autogravedad como para vencer su resistencia interna y adoptar la forma esférica. En cambio si son pequeños tendrán las formas irregulares típicas de los asteroides o cometas. Venus y la Tierra son de dimensiones parecidas mientras Mercurio y Marte son claramente mas pequeños. Sus órbitas no están fijas sino que evolucionan debido a las perturbaciones gravitacionales mutuas. Mediante la exploración sísmica podemos determinar el estado del interior de los planetas, pero si no podemos acceder a esta información el interior será deducido a partir de datos básicos como masa, tamaño, existencia de campos magnéticos, etc. Corteza, manto y núcleo son las 3 regiones fundamentales de los interiores definidas por composiciones mineralógicas diferentes. La litosfera se refiere a la parte mas externa que se comporta como rígida y que incluye a la corteza y parte del manto. Una litosfera gruesa implica que la actividad superficial como tectónica y vulcanismo sea escasa o no exista en el presente como en Marte, a menos de su erosión. La luz que recibimos es en parte reflejada del Sol (en el visible) y en parte emitida en infrarrojo debido al calor que emana del planeta radiando energía siguiendo una curva de Planck. La luz reflejada nos provee información

sobre la composición de la región que refleja la luz, ya sea atmósfera o suelo. La sincronía spin-orbita de la Luna es causada por las mareas de la Tierra sobre la Luna. Algo análogo ocurre con las mareas del Sol sobre Mercurio que han causado que el día en Mercurio sea exactamente 2 años mercurianos (si, leyó bien). Los cráteres son generados por impactos de asteroides y cometas a altísima velocidad, fenómeno que es igual al de una explosión. La densidad de cráteres nos permite determinar la edad de la superficie, es decir el tiempo transcurrido desde que el terreno se solidificó y empezó a acumular cráteres. Las superficies con pocos cráteres no los tienen no porque los proyectiles hayan evitado los impactos sino porque posteriormente fueron borrados por alguna actividad superficial, rejuveneciendo la superficie. Pero el primer indicador propuesto históricamente para determinar la edad de una superficie es el estudio de capas sedimentarias. Y el método más exacto de determinación de la edad de solidificación de una roca es el estudio de decaimiento radioactivo, que ha permitido definir la edad de las rocas más antiguas del Sistema Solar: 4570 millones de años y no están en la Tierra sino en los meteoritos. Datando las rocas lunares provenientes de diferentes terrenos se ha concluido que en el pasado el flujo de proyectiles fue enorme comparado con que tenemos actualmente. Mercurio y la Luna son muy similares, sin atmósfera y cubiertos de cráteres. La superficie de Venus es invisible debido a su espesa atmósfera de CO<sub>2</sub>, se ha podido reconstruir por radar y está cubierta por miles de volcanes. Marte tiene una débil atmósfera pero suficiente para sostener una importante erosión que genera rocas sedimentarias y mantiene casquetes de hielo de CO<sub>2</sub>. En el pasado su atmósfera debió ser suficiente como para permitir la existencia de agua líquida cuyas huellas hoy vemos en todo el planeta. Lo que hoy vemos en las superficies es el resultado de procesos geológicos (vulcanismo, tectónica, erosión e impactos) que ocurrieron en las superficies, que están constituidas por rocas, que a su vez son combinaciones de minerales. En los planetas con actividad volcánica las rocas se reciclan permitiendo el reciclaje de los minerales. Los planetas alcanzaron su constitución actual a partir de un material de composición más o menos homogénea que se diferenció en minerales pesados hacia el centro y livianos en la superficie. La superficie se enfría y comienza sufrir los efectos del magma interno que intenta salir, esto genera vulcanismo y tectónica que es diferente según cada planeta. Este proceso de cambio superficial se mantiene hasta que el planeta ha desarrollado una litosfera gruesa debido al enfriamiento. Las atmósferas generan erosión superficial, arenas y sedimentos. Las superficies de planetas sin atmósfera son erosionadas por el bombardeo constante de micrometeoritos que generan una capa de roca pulverizada de varios metros de espesor: regolito. Las atmósferas de Venus y Marte son muy diferentes en masa y presión pero son casi idénticas en composición abundando el CO<sub>2</sub>. La de la Tierra es completamente diferente con un exceso brutal de Nitrógeno y Oxígeno debido a la actividad biológica. El Oxígeno en la Tierra fue generado por la actividad biológica primero en los océanos para luego pasar a la atmósfera en donde al aparecer el Ozono y la protección a la radiación UV del Sol se habilita a los seres vivos la conquista de la superficie sólida, los continentes. El CO<sub>2</sub> es un poderoso absorbente de calor generando el efecto invernadero que es descomunal en el caso de Venus y fuertemente afectado por la actividad humana en la Tierra. Las atmósferas son continuamente modificadas con procesos que la incrementan, la erosionan y le alteran su composición. La evolución del agua en los planetas rocosos es altamente dependiente del tamaño del planeta y de su distancia al Sol. Sólo la Tierra y los planetas gigantes tienen campos magnéticos importantes los cuales protegen las atmósferas de la erosión del viento solar.

Tabare Gallardo