

Complejidad en la Gran Historia

Olga García Moreno

Facultad de Geología, Universidad de Oviedo

Introducción

Al afrontar la redacción de este trabajo me doy cuenta de la manera tan ligera con la que trato el concepto de complejidad cuando presento a cualquier público, bien sean estudiantes de secundaria y bachillerato, especialistas de distintas disciplinas en diferentes foros universitarios o público en general, el campo de trabajo al que llevo dedicándome en los últimos nueve años, la Gran historia. Para todos, explico que la complejidad es uno de los conceptos clave con los que entendemos este campo, pero nunca ahondamos en el significado real de este término. Por esta razón, siempre doy por hecho que mi audiencia tiene una idea general de lo que significa complejidad, al menos, si proponemos ejemplos de cosas simples y cosas no tan simples, que podemos considerar complejas, y las comparamos. Pero me temo que en este artículo no voy a poder quedarme en esta aproximación tan superficial. De esta manera me planteo cómo introducir un tema que, sin resultarme ajeno, no es mi especialidad, pero con el que parece que, aunque sea por mi empeño en seguir difundiendo lo que es la Gran historia (de la que hablaremos más adelante), tengo un trato muy familiar. Así que pienso en ejemplos, algo muy complejo: la mente humana, nuestra consciencia... y algo más complejo aún, puede ser que todavía no haya emergido, pero está a punto, una consciencia no humana, una consciencia creada por nuestra propia consciencia, estamos cerca, de momento lo más complejo en lo que puedo pensar es la inteligencia artificial. No es casualidad ya que en las últimas semanas llevo leyendo bastante sobre la novedad en este tema, el ChatGPT (Aydin et al. 2023) y qué mejor manera de probar cómo funciona: le pido ayuda para que me de ideas sobre cómo tratar el tema de la complejidad en este trabajo. El resultado ha sido, para mí, increíble, casi fantástico. Le pregunté sobre la definición de complejidad, sobre el grado de complejidad más simple y más complejo en el universo, sobre la Gran historia, sobre el concepto de complejidad en la Gran historia y sobre qué fuentes consultar para poder tener una mejor idea a la hora de escribir este artículo. Y me ofreció ayuda, aunque no me ha escrito el trabajo, estén tranquilos. Casi todo el rato tuve la sensación de estar chateando con alguien que de verdad pudiese echarme una mano con esta tarea. Pero no fue todo tan idílico. Aunque pudimos llegar al acuerdo de que no hay una definición consensuada para el término complejidad, su respuesta (Fig. 1) me llevó directa al tema de este trabajo y la importancia de la visión interdisciplinar de la Gran historia para intentar llegar a ese consenso.

110



La definición de complejidad que me has dado antes entonces ¿no está consensuada?



La definición que te proporcioné anteriormente es una definición generalmente aceptada de complejidad, pero es cierto que no existe un consenso universal sobre su significado exacto. La complejidad es un concepto subjetivo que puede ser interpretado de diferentes maneras dependiendo de la perspectiva y del contexto en el que se utilice.

Además, la complejidad es un concepto interdisciplinario que se utiliza en diferentes campos, como la matemática, la física, la biología, la ingeniería, la sociología, la psicología, la antropología, etc. Cada uno de estos campos puede tener su propia interpretación de la complejidad y su propia forma de medirla y analizarla.

En resumen, la complejidad es un concepto que está en constante evolución y cuya definición es objeto de debate en la comunidad científica y en otros ámbitos.

Fig. 1. Conversación con ChatGPT, febrero de 2023.

En definitiva, algo que ya sabía, el concepto de la complejidad es algo *complejo*. Aunque parece ser que, desde la filosofía, la complejidad no es tan problemática como el resultado de la misma: la emergencia. No nos vamos a embrollar más la labor en esta introducción ni en este trabajo ni involucrarnos en campos en los que no soy más que una aficionada. Aunque si será inevitable hablar de propiedades emergentes y de la evolución del universo gracias a esta emergencia, creo que quizá otros artículos de este número de la revista, traten con este tema para el que yo, como humilde geóloga, no me siento preparada para ahondar más.

ChatGPT me dio una definición de complejidad que podemos encontrar en muchos manuales de distintas disciplinas y que se basa en la propiedad de sistemas o procesos en los que hay muchas partes interrelacionadas y cuyas relaciones son difíciles de entender y predecir. Es, por tanto, la cantidad y la interconexión de los componentes lo que crea complejidad, y esta puede manifestarse en sistemas de muchos tipos, como biológicos, sociales, tecnológicos y económicos. La Gran historia abraza el concepto de complejidad en el sistema más amplio que podemos considerar, al menos de momento, nuestro universo y que incluye todos los sistemas mencionados anteriormente.

Gran historia

Aunque el campo de la Gran historia, como tal, denominado en inglés Big history, surgió a finales de los años 80 del pasado siglo, aún su nombre, al menos en los países de habla hispana, es desconocido para la mayoría de las personas. Bajo este término, entendemos un campo de estudio en el que se abarca toda la historia y la evolución del universo, incluyendo en ella la historia de la biosfera y la de los seres humanos. Sería la narrativa que nos lleva desde el hidrógeno a la humanidad, o de los quarks a la consciencia, como Voros (2019) suele resumir en sus cursos de Big history.

La Gran historia nos permite «entresacar de todas las ciencias los elementos para construir y transmitir un relato coherente del cosmos» (Menéndez-Viso, 2022). Para autores pioneros como Christian (2005), quien acuñó el término en inglés, esta manera de entender nuestro pasado sería como construir un mapa del conocimiento donde poder ubicar nuestra propia historia como humanos.

En este mismo sentido de ubicar nuestra historia, el mayor teórico de este campo a quien haremos referencia en diversas ocasiones en este trabajo por sus importantes aportaciones, Fred Spier, define la Gran historia como «la aproximación a la historia que coloca la historia humana en el contexto de la historia del cosmos, desde el origen del universo hasta las actuales formas de vida en la Tierra. [...] El enfoque de la Gran historia nos ayuda a crear un nuevo marco teórico, dentro del cual cabe, en principio, todo el conocimiento científico» (Spier, 2015).

La Gran historia nos invita a ajustar el foco de nuestra mirada en el más amplio rango que podemos considerar, tanto en el tiempo como en el espacio. De esta manera podemos intuir, desde el primer momento en que adquirimos esta mirada, la importancia del concepto de complejidad para poder entender toda la evolución del mundo material y físico, de la vida y de la humanidad.

En resumen, la Gran historia de nuestro mundo es la historia de la evolución de las formas más sencillas, simples átomos de hidrógeno, tras el *Big bang*, a las sociedades humanas interconectadas de la actualidad, si seguimos el hilo de nuestra propia historia. Para algunos autores seguir este hilo en la historia, que nos lleva hasta este apartado rincón de una galaxia común, donde surgió el Sistema Solar y la Tierra, con las excelentes condiciones para el surgimiento y desarrollo de la vida y su evolución, hasta la aparición de una especie, consciente de sí misma y de su historia, puede parecer antropocéntrica, pero ¿no somos nosotros mismos esa especie que tiene esa consciencia y quien ha desarrollado esta capacidad de contar esta historia?

Veamos a continuación la importancia del concepto de complejidad para la Gran historia, cómo distintos autores se han enfrentado a su definición y aplicación en este campo de estudio, así como la utilidad para la construcción de un marco teórico que ayude a construir su propio *corpus* con el que poder desarrollarse en el mundo académico en el que parece no haber lugar para los campos de estudio que no se basen en la especialización y en el que, sin embargo, cada vez es más demandada la interdisciplinariedad que es, precisamente, la base de este campo.

Complejidad en la Gran historia

Siguiendo con mi experiencia interactuando con lo que podemos considerar una de las mayores complejidades de nuestra historia, el ChatGPT, me gustaría destacar que me decepcionó un poco las respuestas que obtuve cuando indagué sobre lo que me podía contar en relación a este epígrafe, las propuestas previas de otros autores sobre el concepto de la complejidad en la Gran historia. Tuve una respuesta muy interesante y extensa, donde la máquina me sugirió los trabajos de Ervin László, con su teoría de la evolución hacia la complejidad y una nutrida lista de científicos y filósofos de distintas disciplinas, pero en esa lista no había ni un solo nombre de autores reconocidos como autoridades en Gran historia. Cuando le pregunté sorprendida por la ausencia de nombres como el de Fred Spier, la máquina aprovechó su error y mi aportación, para aumentar su conocimiento, buscar los trabajos de Spier y modificar su respuesta tras una amable disculpa. Me pareció enternecedor y me sentí bien por haber sido de alguna manera útil con esta interacción. Lo que era solo un juego para sacar alguna anécdota para este artículo se convirtió en una mejora del algoritmo. Puro aprendizaje colectivo (capacidad esencial de los seres humanos, para Christian (2017), quien considera que nos da el control creciente de los flujos de energía y los recursos del ambiente, y también la capacidad de aumentar

«Bajo el término *Gran Historia*, entendemos un campo de estudio en el que se abarca toda la historia y la evolución del universo, incluyendo en ella la historia de la biosfera y la de los seres humanos.»

nuestro conocimiento y reconocimiento del mundo y del universo que habitamos). Así que vamos a revisar aquí, comenzando por el propio Spier, lo que algunos autores, aunque formados en distintas disciplinas y expertos en diversos campos, han aportado al estudio de la complejidad desde la perspectiva de la Gran historia como tal.

En Gran historia consideramos que la evolución del universo parece haber sido consecuencia de un aumento progresivo de la complejidad. Desde un universo extremadamente sencillo tras el *Big bang*, han ido apareciendo nuevas formas de complejidad: por ejemplo, los distintos tipos de elementos en la tabla periódica a partir de H y He, o, dando un gran salto temporal y espacial, el cerebro humano y, recientemente distintas formas de inteligencia artificial como ChatGPT. Sin embargo, las leyes de la física nos indican que el universo tiende, en general, al desorden. Esto se refleja en la segunda ley de la termodinámica, la tendencia al aumento de la entropía, que, simplificándolo mucho si no estamos familiarizados con este asunto, sería algo así como la tendencia al desorden, al caos, como se muestra en la película *Tenet* de Christopher Nolan. Sin embargo, en la evolución del universo, podemos observar que se puede ir en contra de esa entropía, como en la película, con dificultad, pero pueden formarse cosas complejas a partir de otras más simples, aunque, para ello, necesitamos las condiciones idóneas y suficiente energía. Más adelante ahondaremos en esa energía necesaria, detengámonos ahora en el concepto de condiciones idóneas. A estas condiciones tan especiales Spier (1996) las llamó condiciones «*Goldilocks*» o de «Ricitos de Oro», recuerden el cuento, ni muy frío, ni muy caliente, ni muy blando, ni muy duro... Las cosas más complejas son cada vez más frágiles y vulnerables, más sofisticadas y las *goldilocks* para crear nuevas formas de complejidad se vuelven cada vez más exigentes.

Spier (2011) publica un artículo titulado precisamente «La complejidad en la Gran historia». De hecho, el término complejidad aparece en la misma definición que él propone para esta aproximación al conocimiento. Spier explica la Gran historia como una visión general del auge y la desaparición de la complejidad en todas sus formas desde el comienzo del universo. Destaquemos aquí que se considera, por tanto, no solo una evolución del todo basada en la aparición de formas complejas, sino también el desvanecimiento de las mismas en ciertas ocasiones. Este autor propone en ese artículo, de manera resumida, lo que expone en su libro «El lugar del hombre en el Cosmos: La Gran historia y el futuro de la Humanidad» (Spier, 2011 y 2015): un marco teórico basado en el esquema de flujos de energía a través de la materia que serían necesarios para la emergencia de complejidad y, en ocasiones, para mantenerla dentro de unos límites favorables, las denominadas condiciones *goldilocks*. Al estudiar esos flujos de energía Spier reflexiona sobre la complejidad creada por los seres humanos y las cantidades de energía que se requieren para mantener esa complejidad. Destaca que hay dos principales categorías de complejidad construida por los humanos: la primera son cosas que no necesitan en sí ningún flujo de energía para su funcionamiento una vez fabricadas, como la ropa, etc... y la segunda serían formas complejas fabricadas que sí requieren un flujo de energía para que cumplan su función, como un coche. Spier resalta que este modo de complejidad no se conoce en ninguna otra parte del universo y a mí me hace reflexionar sobre la cantidad de energía que se habrá consumido con mi juego con el ChatGPT que describía al principio.

Spier (2011) define la complejidad en términos de constituyentes esenciales, conexiones y secuencias y, de esta manera, se podría determinar hasta qué punto el todo es más que la suma de sus partes. Con referencia a esta famosa sentencia me gustaría utilizar la imagen, que se muestra en la figura 2, que suele funcionar para entender la visión integradora de la Gran historia en las mencionadas charlas que ofrezco para dar a conocer esta iniciativa, y fruto de las cuales es este propio artículo tras hacer una presentación en la Universidad de Málaga recientemente, donde, por cierto, se ofrece un curso de Gran historia en el Aula para Mayores, dirigido por el gran historiador mi colega catedrático de Bioquímica y Biología Molecular de dicha universidad, Miguel Ángel Medina Torres. En la imagen podemos ver, en primer lugar (Fig. 2a), toda la información necesaria para reconstruir un retrato. Pero la información, que vemos que tiene distinta calidad en cuanto a resolución, brillo y contraste, saturación y color, está colocada de tal manera que, al no estar en la disposición correcta en cuanto a la relación de unas partes con otras, nos es difícil obtener una idea global de ese 'todo'. Esto es lo que ocurre cuando, aunque tengamos información del pasado desde el conocimiento de distintas disciplinas: física, química, astronomía, geología, biología, antropología, historia, etc.; al no estar esa información correctamente dispuesta y conectada, lo que obtendríamos en el montaje de la Fig. 2b para nuestro retrato, no podemos tener una idea más cercana la realidad (Fig. 2c). Vemos cómo ubicando cada trozo de información en un lugar preciso en relación con los otros fragmentos, como en Fig. 2b, la misma información nos da una idea más cercana de la realidad. Es un ejemplo muy sencillo y quizá simplista de cómo se pueden crear los mapas de conocimiento a los que se refiere David Christian como veremos más adelante.

Sugiero al lector la consulta del artículo mencionado (Spier, 2011), para una excelente lectura resumida y, a la vez, precisa y basada en evidencias científicas y consensos entre distintas disciplinas, de la narrativa de la Gran historia, que yo misma, en el último epígrafe de este artículo intentaré dar, aunque es seguro que no mejorará la que allí se ofrece.

115

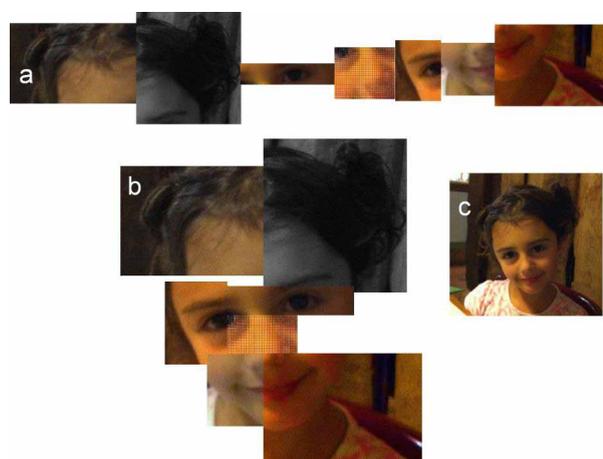


Figura 2. Retrato: a) sin la visión de la Gran historia, toda la información colocada de manera ordenada como en una línea temporal o cronología de sucesos no es suficiente para identificar a la persona retratada, b) con la visión de la Gran historia, cada parte está ubicada en la posición correcta con respecto al resto de la información de la imagen para reconstruir el retrato con mayor parecido a la realidad (en c).

**«Las cosas más complejas
son cada vez más
frágiles y vulnerables,
más sofisticadas y las
goldilocks para crear
nuevas formas de
complejidad se vuelven
cada vez más exigentes.»**

Siguiendo con los trabajos de Spier, quisiera destacar la aportación que este gran historiador ha hecho en su reciente libro sobre el funcionamiento de la biosfera (Spier, 2022a). En relación a la complejidad, el autor se detiene en la explicación de lo que él llama la puesta en marcha de los procesos de bucles complejos de interacción retroalimentados continuamente por la vida (*complex continuously interacting feedback loops influenced by life*), que sería una manera de expresar con mayor corrección el concepto general de ciclos biogeoquímicos, de los que hablaremos más adelante, y que constituyen, sin duda, una de las principales causas de la complejidad existente en la Tierra en comparación con otros planetas del Sistema Solar. De hecho, en ese trabajo se explica cómo las interacciones entre los elementos de los bucles no son las únicas y cómo al influenciar unos bucles con otros, su emergencia, sus cambios en el tiempo y el aumento de su número, hacen que la biosfera se vuelva tan extraordinariamente compleja con el paso del tiempo (Spier, 2022a, p.108). A esta idea le da el nombre de *complex cif loops*, o bucles complejos cif (del inglés *continuously interacting feedback*). Aunque otros planetas sin biosfera poseen este tipo de bucles, alimentados por la energía libre procedente de procesos externos e internos derivados de la dinámica del propio planeta, la influencia de la vida en los bucles terrestres ha sido extraordinaria. La propia actividad biológica ha permitido a estos bucles adaptarse a las circunstancias a través del proceso de selección natural, con la consecuente emergencia de efectos que han ido cambiando a la propia biosfera con el tiempo. De hecho, y como ya había sido señalado por los trabajos de Vernadsky, la biosfera, tal y como él la define de manera pionera, contiene energía libre acumulada por la vida. Esta característica es la base de parte de la astrobiología y de los estudios que buscan vida fuera de la Tierra. Esta idea fue propuesta por el reciente fallecido James Lovelock (1919-2022) quien en los años 60 del pasado siglo propuso, como científico de la NASA, que, para encontrar señales de vida en otros planetas, no era necesario ir allí, si no que se puede detectar vida compleja estudiando la atmósfera del planeta: si se encuentra fuera del equilibrio termodinámico, debe haber vida que lo provoque. Sobre los trabajos de estos dos pioneros en la forma de entender la complejidad del Sistema Tierra, considerando las interacciones de la biosfera con la geosfera, atmósfera e hidrosfera, sugiero la lectura del primer capítulo del último libro de Spier (2022a) donde se incluyen también las aportaciones de otros importantes científicos sobre el tema. En ese libro Spier (op.cit) nos propone la existencia de una cuarta ley de la termodinámica que sería aplicable a los planetas con biosfera y en la que se expone la tendencia de la vida a maximizar, de forma conjunta, toda la energía libre disponible procedente del sol o de los procesos internos terrestres. Propone esta hipótesis basada en la observación de los comportamientos de los seres vivos en relación a la pirámide de captura de los alimentos y llega también a incluir a los seres humanos en ella, proponiendo su compleja relación con el Sistema Tierra en lo que denomina la quinta ley de la termodinámica.

117

En esta revisión sobre el concepto de complejidad y Gran historia para otros autores expertos en este campo me gustaría destacar como, a diferencia de Spier, David Christian (quien ocupa un papel destacado entre los gran historiadores, al liderar el proyecto financiado por la Fundación Gates denominado *Big History Project* y que ha llevado esta iniciativa a cientos de institutos de enseñanza en varios países de habla inglesa) no trata de una manera tan explícita la complejidad. En un artículo donde propone su definición de Gran historia (Christian, 2017), la identifica con el término ‘consiliencia’ (la evidencia de fuentes independientes y no relacionadas puede «convergir» en conclusiones

sólidas), haciendo más énfasis en la convergencia de conocimiento, la unión las dos culturas de C. P. Snow y el fin de la fragmentación del conocimiento para la creación de ese mapa de conocimiento del pasado que mencionamos con anterioridad. Sin embargo, en su libro más referente (Christian, 2005), trató el tema de la complejidad en el anexo titulado «Caos y orden» donde explica, en primer lugar, cómo los seres humanos tenemos una predisposición genética para la detección de patrones, lo que nos ha servido, evolutivamente, para nuestra supervivencia. También expone la idea de la aparición de estructuras ordenadas en el universo por causa de la termodinámica, en las circunstancias adecuadas (las *goldilocks* de Spier): la interacción entre patrones más simples puede minimizar la energía libre, formando nuevos patrones más complejos, aunque esto vaya localmente en contra de la disminución de la entropía. Estas nuevas formas complejas manejan una mayor cantidad de energía y, en suma, disipan grandes cantidades de energía libre (estructuras disipativas) por lo que la entropía total al final crece, cumpliéndose así la segunda ley de la termodinámica (como fue explicado en trabajos previos de Chaisson, como veremos más adelante). Debido a la emergencia de estructuras cada vez más complejas, surgen, según este autor, las llamadas propiedades emergentes: características que no están presentes en los componentes de los que están construidas, sino que sólo aparecen cuando esos componentes se ensamblan de formas específicas. Estas propiedades emergentes son en las que se apoyan los gran historiadores que usan el concepto de «umbrales de complejidad creciente» para estructurar la narrativa de la gran historia.

Esta idea de definir unos umbrales de complejidad creciente para incluirlos en la narrativa de la Gran historia ha sido rebatida por Spier (2022b) quien, junto a otros autores, no consideran necesario utilizar este artificio. Para ello expone los fallos que no se han tenido en cuenta al definir ciertos umbrales en la narrativa, de la manera en la que Christian ha introducido y que han sido incorporados, sin más reflexión o discusión académica sobre el tema, en el mencionado programa educativo del *Big History Project*. La principal idea para rechazar el uso de los mismos es la falta de precisión en lo que realmente define a un umbral, la carencia de criterios académicos para su implantación, su uso erróneo como concepto estructural en toda la Gran historia y el estar centrados en la idea del aumento de la complejidad ignorando la posibilidad de su desvanecimiento. Aun cuando yo misma he utilizado los umbrales al explicar la Gran historia en distintos foros (García-Moreno *et al.* 2014), considero las críticas de Spier muy razonables y poco a poco voy abandonando la tentativa sugerencia de presentación de la Gran historia en umbrales. En este sentido, estoy de acuerdo con Voros (2019) quien compara el concepto de régimen, utilizado por Spier y otros autores, y el de umbrales con una analogía muy sencilla: un edificio con distintas plantas, donde las plantas serían los regímenes (en equilibrio metaestable) y los umbrales serían las escaleras que unen las distintas plantas, en las que escalón a escalón, va cambiando la complejidad hasta alcanzar nuevas propiedades emergentes en cada planta. De todas maneras, aunque la analogía es interesante y sencilla, la complicación señalada en la crítica de Spier sigue siendo la misma, definir el número de plantas en el edificio de la complejidad no es nada sobre lo que haya un consenso.

Lo que sí es evidente, en esta mirada a la evolución de todo el universo y que fue claramente propuesto por Eric Chaisson y adaptado por Spier (Chaisson, 2001, Spier 2011, 2015) es que un universo en evolución, es un sistema fuera del equilibrio. Este astrofísico norteamericano, que durante años dictó un curso

sobre evolución cósmica en Harvard, refleja en su obra este concepto de surgimiento de la complejidad en términos de la termodinámica del no equilibrio. En su trabajo hace referencia a los flujos de energía que deben darse a través de la materia para el surgimiento de mayor complejidad en sistemas a partir de elementos más simples, y en lo que se incluye, como describimos anteriormente, la necesidad de disipar el mayor grado de desorden, o caos, es decir, la entropía en el resto del universo en forma de radiación de baja energía. La medida que se establece como objetiva para estimar el incremento de la complejidad sería la densidad de tasa de energía (*energy rate density*) lo que sí sería un valor observable y cambiante en lo que serían considerados los distintos regímenes: el del mundo material, la vida y la humanidad, con valores de esa densidad muy distintos entre sí (Chaisson, 2014).

Una vez revisados los trabajos de los que considero pueden ser los mayores exponentes de los estudios teóricos de la Gran historia podemos pasar a revisar lo que ha sido recientemente publicado en la revista *Journal of Big History* (JBH) sobre el tema de la complejidad.

Algunos gran historiadores de la escuela rusa, estudian el tema de la complejidad tratando de identificar patrones en la evolución del universo adoptando la perspectiva más amplia posible que nos ofrece la Gran historia. Por ejemplo, los trabajos de Grinin y Korotayev y Markov (en Grinin *et al.*, 2014) investigan sobre patrones matemáticos que pueden encontrarse en la historia de la evolución de la complejidad. En mi opinión, sus trabajos son, más que complejos, complicados para no expertos y no me creo en disposición para hacer una revisión coherente sobre ellos. De todos modos, aunque hay más gran historiadores implicados en esta tarea de buscar patrones, no creo que sea el principal objetivo de nuestra iniciativa y ni siquiera creo que pueda ayudarnos a tener, en general, una mejor idea de lo que significa nuestro papel en el universo. Las propuestas de Baskin (en Grinin *et al.*, 2014) y Bondarenko y Baskin (2017) relacionan los ciclos de vida de los denominados *atractores* (conjunto de puntos hacia los cuales tiende un sistema dinámico tras un número elevado de interacciones) con los umbrales de aumento de la complejidad de la Gran historia. Sugieren aplicar la teoría de la complejidad a la Gran historia porque dicen que esta teoría examina la dinámica de los patrones matemáticamente, como se hace ya en física y química, biología y ciencias sociales. De esta manera se puede ofrecer una nueva herramienta a los investigadores en Gran historia para poder tener nuevas perspectivas para estudiar el pasado. Dan varios ejemplos aplicados a las ciencias sociales y desarrollan en concreto el de la evolución cultural, en la propuesta de una «historia humana como un equilibrio puntual». Después de la publicación en el JBH Baskin (2022) también ha escrito sobre la gran historia y el principio de emergencia, concepto que hemos visto que va unido al de complejidad.

Crevecouer (2018) propone ciertas ecuaciones para descifrar patrones encontrados en diferentes niveles de complejidad en la Gran historia, adaptando las distintas escalas espaciales, temporales y de otros parámetros de observación para explicar lo que resume como una cuestión de producción de energía que servirían en Gran historia tanto para lo particular como para lo global. Esto lo hace basándose en observaciones de distintos sistemas adaptativos complejos (CAS, del inglés *complex adaptive systems*). La conclusión a la que llega es que el comportamiento que observa en sistemas de diferentes niveles de complejidad a nivel macroscópico parece ser debido a la existencia de patrones de auto

organización con interacciones con enormes cantidades de bucles de retroalimentación que ocurren en todo momento a diferentes niveles submacroscópicos y microscópicos. En mi opinión, desconociendo otra manera de considerar las múltiples variables de los sistemas complejos que estudia en este trabajo de una forma sencilla, considero de nuevo que este tipo de análisis, que pueden resultar reduccionistas, no están en la esencia de lo que puede ser interesante para entender la Gran historia y nuestro papel en la misma.

Una propuesta interesante sobre este tema es también la ofrecida por Solis (2018) en la revista JBH. En este ensayo se trata el tema de la información y su papel como parte de la complejidad actual del Universo. También trata la comparación de los flujos de información con los flujos de energía de los que ya hemos hablado anteriormente y que sabemos que son indispensables para mantener esa complejidad desde el punto de vista termodinámico. La propuesta incluye el análisis del papel de la información también en los niveles físicos más básicos. La importancia del concepto de información puede ser muy evidente para la complejidad creada por los seres humanos, incluso en todos los seres vivos en general, a través del ADN, pero no parece un concepto tan obvio o importante en el mundo inanimado. En ese artículo también se describen las distintas definiciones de complejidad que han sido propuestas desde distintos ámbitos en un intento de asimilar la mejor definición aplicable a la Gran historia, como hiciera Spier (2015), refiriéndose a las principales características de la complejidad para intentar definirla. Solis (2018) destaca que, en todas las definiciones aportadas, la palabra *información* o está explícita, o implícita mediante el uso de la palabra *interacciones*, considerando que estas interacciones son transferencia de información de una entidad a otra a cualquier nivel.

Otro artículo de la JBH que trata sobre el tema es el de Voros (2019). En él se trata la complejidad del mundo material y la de nuestra propia consciencia, ofreciendo la perspectiva de la Gran historia como herramienta integradora de ambas complejidades. Ese artículo intenta ofrecer un marco conceptual para la discusión creciente en los últimos años en las reuniones de la Asociación Internacional de Big history, donde se ha tratado de llegar a un consenso sobre el tema de la inclusión o no del «sentido», en inglés *meaning*, de la Gran historia en sí misma. En ese artículo, al intentar unir en un continuo marco integrado la complejidad del mundo material (y biológico) con la complejidad y la emergencia de la consciencia humana, surge que ese «sentido» requiere y subsiste en nuestra propia interioridad consciente. Este autor concluye que cualquier sentido que tenga la Gran historia está precisamente en nuestra propia existencia consciente, a través de la dimensión humana subjetiva de la Gran historia, y no objetivamente más allá de ella. Conclusión con la cual tendríamos que valorar si esa acalorada discusión en la asociación internacional llega o no a darse por resuelta.

120

Complejidad en la historia de la Tierra y la vida

Desde mi formación como geóloga siempre he tenido un sesgo importante a la hora de desarrollar la narrativa de la Gran historia. Quizá porque fue hace relativamente poco tiempo que he entendido realmente el funcionamiento del planeta en su conjunto. Durante mi época de estudiante, la alta especialización que ha logrado grandes avances en esta ciencia natural en los últimos 50 años, tenía un protagonismo desmedido y cualquier intento de ver la imagen global, tengo la sensación, de que era desacreditado y ninguno de mis profesores,

«Aplicar la teoría de la complejidad a la Gran Historia supone examinar la dinámica de los patrones matemáticamente, como se hace ya en física y química, biología y ciencias sociales. De esta manera se puede ofrecer una nueva herramienta a los investigadores en Gran Historia para poder tener nuevas perspectivas para estudiar el pasado.»

quizá con alguna excepción, se dedicaba a explicar procesos realmente globales. Aunque la hipótesis de *Gaia* de Lovelock contaba con un amplio respaldo científico, yo nunca tuve la sensación de que se tomase muy en serio, al menos, en mi entorno de geólogos cuya máxima escala de trabajo era la de las cordilleras. Fue al descubrir las interacciones de la biosfera con el resto de la Tierra en la actualidad, al tener que preparar mis clases de Ciencias Ambientales para el Grado de Maestro de Educación Primaria y entender bien los ciclos biogeoquímicos, y trabajar con mis colegas ecólogos en esa asignatura, lo que me abrió los ojos a entender que esas interacciones han existido desde hace casi 4000 millones de años, aunque yo no lo hubiese estudiado en la carrera. Comencé a trabajar en Gran historia, de la mano del profesor de la Universidad de California en Berkeley, el geólogo Walter Álvarez, conocido por ser autor, junto a su padre Luis Álvarez, de la hipótesis para el fin del Cretácico por el impacto de un enorme meteorito. Este evento es de máxima importancia en la narrativa de la Gran historia ya que en él se juntan procesos que tienen que ver con el régimen del cosmos y de la Tierra (el propio impacto) para intervenir en el de la vida (evento de extinción masiva) y, gracias a la aparición de nuevos nichos ecológicos para los pequeños mamíferos, al desaparecer los dinosaurios, la posibilidad de emergencia del régimen de la humanidad. Desde entonces, mi interés en la geología se encuentra en esos procesos que muestran la complejidad del Sistema Tierra, en el que cobran suprema importancia las interacciones entre biosfera y las otras partes del sistema.

Sobre estas interacciones ya he escrito en el libro que hemos publicado recientemente el equipo de Gran historia de la Universidad de Oviedo, titulado «La Gran historia del agua» (García-Moreno y Mendéndez Viso, 2022). El hilo conductor para este libro es lógicamente la importancia del agua en la narrativa de la Gran historia y se trata, en los diversos capítulos, del papel de esta singular molécula en relación a diferentes disciplinas o saberes dentro de la Gran historia. En ese libro desarrollo la importancia del agua en un capítulo dedicado al agua en la Tierra (Cap. 3 García-Moreno, 2022). De ese trabajo resumo a continuación la importancia de las interacciones que crean la complejidad en el Sistema Tierra relacionadas con el agua y la vida, más allá de los conocidos ciclos biogeoquímicos.

Una de las interacciones más interesantes tiene que ver con la necesidad de la presencia de agua para que un planeta tenga una dinámica interna y externa, para que sea un planeta «vivo», independientemente de si tiene o no biosfera, pero como, a su vez, se crean las condiciones necesarias para el desarrollo de una biosfera. Esto es debido a la retroalimentación que se produce por la presencia de agua en el proceso de la tectónica de placas. Recordemos que la dinámica interna del planeta está regida por este proceso en el que tienen influencia no solo el calor interno del planeta generado durante su formación y por la desintegración de los elementos radiactivos de mayor vida media (en el interior, la Tierra se está enfriando a través de este proceso debido a las corrientes de convección que se generan en el manto) si no también el propio efecto de la gravedad que hace que fragmentos antiguos, fríos y densos de la litosfera (capa más externa y rígida de la geosfera) se hundan en la astenosfera hacia zonas profundas del manto, en lo que conocemos como proceso de subducción. Durante este proceso de subducción, de manera lenta y durante miles de millones de años, el agua de la hidrosfera, que ha conseguido entrar en parte de las rocas de los fondos oceánicos que subducen en los minerales hidratados por los procesos de meteorización, logra entrar en el manto. Esta entrada de

agua en el manto es esencial para explicar por qué nuestro planeta continúa teniendo tectónica de placas y por lo tanto una dinámica interna. Si nos fijamos en esos procesos de meteorización podemos conocer cómo los organismos vivos tienen un papel fundamental catalizando muchas de las reacciones que tienen lugar para producir esa hidratación por lo que la biosfera también está involucrada en el mantenimiento de la tectónica de placas. Pero las interacciones y las retroalimentaciones no terminan aquí. También sabemos que, sin tectónica de placas, probablemente no haya posibilidad de vida en un planeta. Es la actividad interna de esas células de convección mantélicas y el proceso de subducción y su contraparte, la formación de nueva litosfera en las dorsales de los fondos oceánicos, lo que hace que, en la Tierra al menos, exista el efecto dinamo, gracias al mantenimiento de la rotación del núcleo externo en estado líquido y la generación de un campo magnético terrestre que, a su vez, protege a la propia biosfera de los vientos solares y permite su desarrollo (Fig. 3).

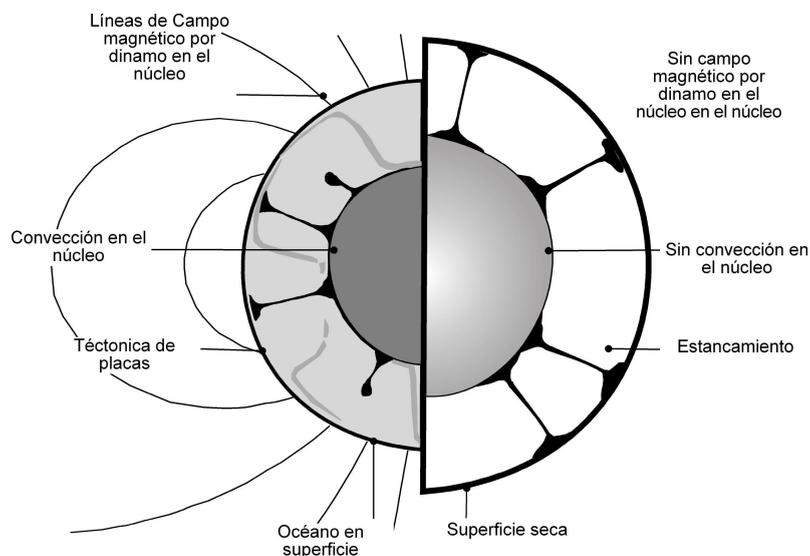


Fig. 3. A la derecha planeta no habitable, a la izquierda, planeta habitable y con hidrosfera. La tectónica de placas produce la convección en el manto que a su vez genera el efecto dinamo en el núcleo externo, produciendo el campo magnético que protege al planeta de los vientos solares. De la autora. Modificada de Shahar A, Driscoll P, Weinberger A, Cody G (2019) What makes a planet habitable? Science 364(6439): 434.

Existen muchas más interacciones que nos muestran ejemplos de la complejidad del Sistema Tierra cuando se tienen en cuenta los procesos de la biosfera en relación con las otras partes del planeta, muchas de ellas están relacionadas con el agua, como se explica en el mencionado capítulo del libro, y que no tienen que ver solo con los procesos de la tectónica de placas, también con procesos externos u otros relacionados con la generación de magmas graníticos, pero quizá sean demasiado especializados para desgranarlos aquí, por lo que se remite al lector a ese libro para más información. En resumen, entender las complejas interacciones no sólo nos ha servido para tener una mayor comprensión de cómo funciona el Sistema Tierra si no que es fundamental para también extrapolar esos conocimientos y aplicarlos a la búsqueda de geomarcadores y biomarcadores que puedan evidenciar la existencia de biosfera en otros planetas.

Sistemas complejos y ecología, la necesidad de la Gran historia para entender el momento actual

Ya he mencionado antes cómo mi aproximación hacia la Gran historia surgió, en gran medida, por la necesidad de entender la Tierra como un sistema complejo como lo entendían mis colegas ecólogos para la asignatura de Ciencias Ambientales. Pero la Gran historia a la vez me ha devuelto la mirada a la importancia de entender este sistema complejo para explicar el momento actual y el lugar de los seres humanos en este momento y lugar del cosmos. Situación en la que, nuestras propias actividades para un llamado desarrollo o progreso, están causando a su vez la modificación de esas condiciones *goldilocks* que son necesarias para nuestra propia supervivencia como especie y la entrada en el antropoceno (Zalasiewicz *et al.*, 2008).

Si se tiene en cuenta la complejidad de nuestra casa, la Tierra (no nuestro planeta, no es nuestro, es solo el lugar donde hemos podido evolucionar como especie, como una más de los millones que lo han conseguido en la historia de la biosfera), podremos entender que cada una de nuestras acciones forma parte de ese entramado de interacciones que hace que este equilibrio metaestable en el que hemos podido sobrevivir en un corto periodo de tiempo en la escala temporal del cosmos o de la Tierra tiene una gran importancia, y acabar así con los negacionismos, en plural, porque hay de muy diversos tipos, lamentablemente. Mi intención es que este breve resumen del cómo hemos llegado hasta aquí, sirva para reflexionar sobre lo que Walter Álvarez resumió de manera extraordinaria en el título de su último libro (Álvarez, 2016): El viaje más improbable.

Todo comenzaría con la formación misma del universo, tras el *big bang* (o gran explosión, que no fue tal) tenemos el comienzo del espacio y del tiempo. No conocemos las condiciones *goldilocks* para este momento singular, pero las nuevas formas de complejidad fueron surgiendo con el comienzo de la expansión del universo y esto está en relación con el descenso en la temperatura y la presión por la expansión. La energía se congela para formar la materia y las fuerzas nucleares crean los primeros átomos. Después de los primeros 380.000 años el universo se enfrió lo suficiente para que, a partir de ese plasma o masa informe muy caliente, se formaran los primeros átomos neutros gracias a las fuerzas electromagnéticas que unieron a los protones y los electrones. Los únicos elementos químicos eran H y He, y alguno un poco más pesado como el Li. La antimateria, y también la materia negra, debieron formarse en el mismo momento. Pequeñas variaciones en la densidad de la materia en el universo a una temperatura de alrededor de 10⁶ °C son las *goldilocks* para que se forme una nueva complejidad (unos 200Ma tras el *big bang*): puntos calientes donde hay suficiente energía y materia para crear nuevas condiciones idóneas para formar nuevas estructuras, las estrellas. Comenzó el proceso de fusión nuclear y el encendido de las estrellas. Y, a partir de estas estrellas, las galaxias, los agrupamientos de galaxias y los superagrupamientos de galaxias. Nuevos elementos químicos fueron formándose poco a poco en esas estrellas. Esto tiene lugar en su interior. Sin embargo, en el espacio interestelar, casi todo el universo está vacío. Los átomos de H y He no se combinan en el vacío. Por el proceso de nucleosíntesis estelar, se forman elementos más pesados que el H y el He, hasta el Fe. Para formar elementos más pesados que el Fe se requiere más energía aún. La energía necesaria para fusionar elementos más pesados sólo se encuentra en estrellas envejecidas o moribundas. Cuando las estrellas muy grandes mueren la temperatura es tan alta y se libera tanta energía, que se pueden llegar

a formar elementos más pesados en la tabla periódica. Una estrella verdaderamente grande muere en lo que llamamos una supernova. Al explotar, liberando una gran cantidad de energía, se puede dar la interacción entre elementos pesados para formar nuevos elementos más pesados que el Fe, y esos elementos se esparcen por el espacio vacío. Con los nuevos elementos químicos y sus combinaciones se pueden formar estructuras más complejas que las estrellas. El 98% del universo es H y He, y el 2% restante constituyen el resto de la tabla periódica. A partir de aquí se forman distintos tipos de materiales gracias a la combinación de estos elementos, creando mayor complejidad: los minerales y con ellos, los planetas. Estrellas recién formadas (jóvenes) se rodean de material químicamente rico. Estas nubes giran alrededor de la estrella en órbitas distintas, generando las condiciones idóneas gracias a la gravedad, la acreción y las colisiones aleatorias y, ocasionalmente, se forman cuerpos con tamaños suficientes para formar planetas. Surge una nueva complejidad: cuerpos astronómicos más complejos que las estrellas. En un sistema planetario, como nuestro Sistema Solar, el 99.9% de la materia está en la estrella. El 0.1% se reparte en el resto del sistema: planetas, sus satélites y asteroides. Hace 4567 Ma se formó la Tierra. Los elementos pesados necesarios para formar la Tierra vienen de una estrella mucho mayor y más antigua que explotó en una supernova. Aunque seguimos la narrativa centrados en el planeta Tierra que es donde hemos podido seguir observando la evolución de una complejidad creciente, cabe señalar que, sin embargo, los primeros planetas rocosos alrededor de otras estrellas pudieron formarse en los primeros 1000 Ma tras el *big bang*. En los planetas rocosos encontramos nuevas formas de complejidad que antes no existían: poseen una estructura interna (corteza, manto y núcleo) y son complejos en diversidad química y en su dinámica. En el contexto del planeta Tierra y su complejidad química se pudieron formar las grandes moléculas precursoras de la vida, como los aminoácidos, y de ellas, las primeras formas de vida se forman hace 4000 o 3500 Ma, relativamente pronto después de la formación de la Tierra. Pueden existir otras formas de vida en otros planetas, pero no las conocemos, por lo que nos centramos en la vida en la Tierra para continuar con la narrativa. Los planetas rocosos están cercanos a las estrellas y es donde se pueden dar las *goldilocks* para la vida: cantidad justa de energía y agua líquida. Por qué es importante el agua líquida. En los gases las moléculas se mueven demasiado rápido para formar estructuras complejas, y en los sólidos, demasiado despacio. Y ¿por qué agua? Por su pH neutro, esencial para el intercambio de energía y materia con el medio (metabolismo). De las profundidades de la Tierra emana calor y una combinación exótica de compuestos químicos perfectos para crear moléculas enormes. Para su estabilización se forma el ADN que es la plantilla necesaria para que puedan autocopiarse y así estabilizarse. Este ADN «aprende» cuando la plantilla se copia mal y es así como brota la inmensa variabilidad de organismos vivos. A partir de las primeras formas de vida y de la aparición de seres multicelulares hace unos 600 Ma, surgieron una multitud de organismos vivos distintos, que sufrieron sus devenires, como las extinciones masivas debidas a distintos eventos en el planeta. Como hace 65 Ma, la desaparición de multitud de especies, y entre otros organismos, los dinosaurios, debido al impacto de un asteroide que produjo una catástrofe similar a una inmensa guerra nuclear. Los pequeños mamíferos tomaron el relevo en los nichos ecológicos que dejaron los grandes reptiles. La evolución de estos mamíferos fue haciendo que el ADN fuera acumulando cada vez más información, muy lentamente, durante millones de años. Algunos de estos mamíferos, que vivían en árboles, tenían manos, visión estereoscópica y cerebros grandes, vivían en grupos y evolucionaron en una especie singular. Hace 200.000 años

es cuando una especie con un cerebro muy perfeccionado es capaz de desarrollar lo que Christian llama un aprendizaje colectivo. De generación en generación, gracias a la utilización de un lenguaje simbólico muy rico, los seres humanos hemos sido capaces de pasar información extragenéticamente, gracias a la conexión e interacción de los individuos y las comunidades. Aquí la complejidad aumenta de manera exponencial y los flujos de energía también, creando una nueva categoría de complejidad, como señala Spier, que es capaz de consumir a su vez energía para su funcionamiento (ver epígrafe anterior). Para esta singular especie, una nueva forma de organización y de aprovechamiento de los recursos del medio marcan el aumento de complejidad. *Homo sapiens*, se fue adaptando a distintos medios y habitando distintas partes del planeta, pero no fue hasta el fin de la última glaciación hace unos 10.000 años cuando el ser humano fue capaz de crear una tecnología, y por lo tanto un nuevo modo de obtener recursos del medio, que le permitió crecer poblacionalmente de manera exponencial. Anteriormente, las densidades de las poblaciones humanas habían aumentado mucho y se había acumulado un gran conocimiento del medio, pero estas sociedades eran cazadoras-recolectoras y nómadas. Vivían en equilibrio dinámico con el medio de manera no muy distinta a cualquier otra especie en el planeta. El aumento en la competición por los recursos de esa creciente población, aun cuando empezaba una época de bonanza, hizo necesaria la domesticación de otras especies. Con el surgimiento de la agricultura y la ganadería comenzaron las primeras sociedades y civilizaciones agrarias y con ellas el sedentarismo. Hacia el 1500 de nuestra era empezamos a conectarnos globalmente alrededor de todo el mundo. Se crea una red de intercambio de ideas, tecnología, bienes y el aprendizaje colectivo se incrementa: aumenta la innovación. Hace 200 años comenzamos a usar nuevas fuentes de energía: empezamos a usar la energía del Sol acumulada por organismos durante cientos de miles de años, con la quema de los combustibles fósiles. Inventamos los motores, nuevas máquinas mucho más eficientes, etc., hasta aprendimos a usar la energía nuclear. Con estas condiciones e ingredientes se crea la sociedad más grande y compleja que nunca existió. Las modificaciones de nuestra especie en el medio, el clima y en el registro geológico podrían ser suficientes para marcar un nuevo tiempo geológico, el antropoceno. En la actualidad, todos podemos comunicarnos instantáneamente con cualquier parte del planeta. Tenemos nuevos materiales, nuevas tecnologías. Aumenta la calidad y la esperanza de vida para muchas personas. Sin embargo, hay una consecuencia de esta nueva complejidad. La energía y la comida que consumimos necesita abastecer a casi 8000 millones de personas y el aumento en el uso de los recursos está yendo en contra de esa complejidad que nos sustenta. —

Referencias

- Alvarez, W. (2016). *A Most Improbable Journey: A Big History of Our Planet and Ourselves*. W. W. Norton.
- Aydın, Ö. y Karaarslan, E., Is ChatGPT Leading Generative AI? *What is Beyond Expectations?* (January 29, 2023). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4341500> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4341500>
- Baskin, K. (2022). Big History and the Principle of Emergence. *Journal of Big History*, 5(1).
- Bondarenko, D., & Baskin, K. (2017). Big History, Complexity Theory, and Life in a Non-Linear World. From Big Bang to Galactic Civilizations: A Big History Anthology, 3, 183-196.
- Chaisson, E.J. (2001). *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*. Cambridge, MA, Harvard University Press
- Chaisson, E. J. (2014). The natural science underlying big history. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Christian, D. (2005). *Mapas del Tiempo: Introducción a la «Gran Historia»*. Barcelona: Crítica.
- Christian, D. (2017). What is big history?. *Journal of Big History*, 1(1), 4-19.
- Crevecoeur, G. U. (2018). Aging and Evolution. *Journal of Big History*, 2(2), 79-102.
- García-Moreno, O., Álvarez, W., Saekow, R., & Shimabukuro, D. (2014). Introducción a la Gran Historia: la historia del Cosmos, la Tierra, la Vida y la Humanidad Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 22(2), 140-146.
- García-Moreno, O. y Mendéndez Viso, A. (2022). *La Gran historia del agua*. Ediuno.
- García-Moreno, O. (2022). El agua en la Tierra. En: *La Gran historia del agua*. Oviedo: Ediuno.
- Grinin, L., Baker, D., Quaedackers, E., & Korotayev, A. (Eds.). (2014). *Teaching & researching big history: exploring a new scholarly field*. ООО» Издательство» Учитель».
- Menéndez Viso, A. (2022). El significado del agua en la Gran historia. En: *La Gran historia del agua*. Oviedo: Ediuno.
- Solis, K. (2018). The unfolding of «information» in Big History. *Journal of Big History*, 43-62.
- Spier, F. (1996). *The Structure of Big History: From the Big Bang until Today*: Amsterdam University Press.
- Spier, F. (2011). El lugar del hombre en el Cosmos. *La Gran Historia y el futuro de la Humanidad* (T. F. Aúz & B. Eguibar, Trans.). Barcelona: Crítica.
- Spier, F. (2015). *Big History and the Future of Humanity*: Wiley-Blackwell.
- Spier, F. (2022a). *How the Biosphere Works: Fresh Views Discovered While Growing Peppers*. CRC Press.
- Spier, F. (2022). Thresholds of Increasing Complexity in Big History: A Critical Review. *Journal of Big History*, 5(1).
- Voros, J. (2019). Big History in its Cosmic Context. *Journal of Big History*, 3(3), 57-80.
- Zalasiewicz J. S., A; Hounslow, M; Williams, M; Gale, A; Powell, J; Waters, C; Barry, TL; Bown, PR; Brenchley, P; Cantrill, D; Gibbard, P; Gregory, FJ; Knox, R; Marshall, J; Oates, M; Rawson, P; Stone, P. y Trewin, N; (2008) Are we now living in the Anthropocene? *GSA Today* 18, 4-8