

La edad molecular: reimaginando la vejez desde laboratorios de experimentación en telómeros

The Molecular Age: Reimagining “Ageing” in Laboratories of Experimentation with Telomeres

REBUT: 07.07.2022 // ACCEPTAT: 03.11.2022

Sara Lasunción Mejía

Aníbal G. Arregui

Universitat de Barcelona

Resumen

El proceso conocido como “envejecimiento celular” se manifiesta en el acortamiento de los telómeros, que son los extremos de los cromosomas. En las últimas décadas, la posibilidad de la manipulación genética para preservar la longitud de los telómeros ha suscitado formas de pensar el envejecimiento como un proceso maleable y aplazable. Mediante una etnografía de los laboratorios de telómeros y su entorno de divulgación científica, aquí trazamos la emergencia de una “biopolítica molecular” (Rose, 2007) que desestabiliza la idea de una edad lineal y “cronológica”. En su lugar, se plantea una edad “biológica” que, siendo relativa a la longitud y velocidad de acortamiento de los telómeros, puede ser medida y manipulada a nivel micrométrico. Aquí describimos cómo la manipulación molecular de la edad se despliega junto a una intrínseca *patologización* de la vejez. Como consecuencia, la episteme y práctica biomédica transitan del objetivo de “curar” enfermedades hacia el de la *optimización* de la fisiología celular para frenar el envejecimiento. La huella del tiempo en el cuerpo deja de ser entendida como un proceso “natural”, y pasa re-imaginarse como un “fallo técnico”, accidental y corregible.

Palabras clave: telómeros; vejez; manipulación genética; biomedicina; biopolítica molecular

Abstract

The process known as “cellular ageing” manifests itself in the shortening of the ends of chromosomes, known as telomeres. In recent decades, the possibility of genetic manipulation to preserve telomere length has enabled a new perception of ageing as a malleable and postponable process. Through an ethnography of telomere laboratories and their popularised scientific environment, we trace the emergence of a “molecular biopolitics” (Rose, 2007) that destabilises the idea of a linear, “chronological” age. In its place, a “biological” age emerges, which, being relative to the length and rate of telomere shortening, can be measured and manipulated at the micrometric level. Here we describe how the molecular manipulation of age is deployed alongside an intrinsic *pathologisation* of old age. As a consequence, biomedical episteme and practice transitions from the goal of “curing” a disease to that of *optimising* cellular physiology to slow ageing. The imprint of time on the body is no longer understood as a “natural” process, but is re-imagined as a “technical failure”, accidental and correctable.

Keywords: telomeres; ageing; genetic manipulation; biomedicine; molecular biopolitics

Introducción: la emergencia del telómero

La prolongación de la esperanza de vida ha sido durante mucho tiempo una preocupación central de la biomedicina (Kampf y Botelho, 2009). A medida que los nuevos tratamientos y tecnologías biomédicas mejoran las tasas de supervivencia para muchas enfermedades, también transforman en enfermedades crónicas afecciones que antes eran causa de muerte (Manderson y Smith-Morris, 2010). La prolongación de la esperanza de vida genera una necesidad cada vez mayor de asistencia sanitaria a personas mayores. Como consecuencia de las crecientes cargas del cuidado, se ha originado el discurso de una “demografía apocalíptica” (Robertson, 1990), que augura efectos devastadores en la estructura familiar, la política y la economía de una sociedad incapaz de sostener a una proporción cada vez mayor de población envejecida.

Una de las principales estrategias sanitarias para gestionar esta tendencia demográfica es la del “envejecimiento activo”, una política neoliberal de la promoción de los hábitos de vida individuales que busca no solo mejorar la salud de los ancianos, sino también, y sobre todo, reducir la cantidad de recursos gastados en su cuidado por parte del sistema sanitario público (Estes y Mahakian, 2001; Lamb, 2017). En las últimas décadas, una parte de la gerontología pretende romper con esta dinámica¹. En el presente, ya no solo se contempla alargar el tiempo de vida, sino el *tiempo de juventud*. La finalidad es retrasar, aplazar o frenar la vejez (De Grey y Rae, 2007; Blasco y Salomone, 2016; Sethe et al., 2004).

La clave de este cambio de paradigma gerontológico se encuentra en unas entidades micrométricas presentes en nuestro ADN: los telómeros, que son los extremos de los cromosomas. Esos extremos se acortan con el paso del tiempo en un proceso conocido como envejecimiento celular, que da lugar a una mayor vulnerabilidad frente a la aparición de enfermedades como diabetes o cáncer (Blackburn y Epel, 2017; López-Otín et al., 2013). El descubrimiento reciente de la terapia con telomerasa —una enzima capaz de regenerar los telómeros tras cada división celular— ha abierto la posibilidad de preservar la longitud de los telómeros, y así prolongar la esperanza de vida del ser humano, al menos en los modelos científicos, hasta los 140 años (Blasco y Salomone, 2016).

Mediante una etnografía de los laboratorios de telómeros y su entorno de divulgación científica, en este artículo mostramos que la manipulación molecular de “la edad” se despliega junto a una intrínseca *patologización* de la vejez. Como consecuencia, la episteme y práctica biomédica transitan del objetivo de “curar” enfermedades hacia el de la *optimización* de la fisiología celular para frenar el envejecimiento. En una entrevista realizada como parte del trabajo de campo, la Doctora María Blasco, directora del CNIO y experta en telómeros y envejecimiento, explicó a la autora que la visión “molecular” del envejecimiento puede ser muy distinta de la que tenemos desde fuera de la biomedicina. En efecto, hay importantes diferencias entre el envejecimiento “molecular”, o celular, y el envejecimiento que observamos en los cuerpos de las personas. Desde la antropología, observamos que la emergencia biomédica del telómero nos posiciona a todas en un nuevo ámbito de “riesgo genético”, haciéndonos elegibles para tratamiento contra el envejecimiento celular, y con el potencial efecto de convertirnos a todas en “pacientes en espera”

¹ A diferencia de la geriatría, que trata los síntomas de la vejez, la gerontología es una disciplina que estudia cómo envejece el ser humano y por qué.

(Lock y Nguyen 2018, p. 70). Junto a esa patologización de la vejez, identificamos también la emergencia de una lógica de optimización fisiológica que reencuadra la vejez como un “fallo técnico” de la replicación cromosómica. El envejecimiento deja de ser concebido como parte de un proceso “natural”, inevitable y ordenado según un cierto orden cronológico, y pasa a ser reimaginado como accidente que afecta a un mecanismo de replicación casi perfecto, y que puede corregirse aplicando las biotecnologías adecuadas.

La investigación en telómeros hace que la visión “molecular” y manipulable de la edad o la vejez entre en tensión con la idea del envejecimiento como proceso “natural” e inevitable. Para dar cuenta de esa fricción entre diferentes versiones de la edad y la vejez, en este artículo acompañamos etnográficamente el entorno científico de la investigación en telómeros en el Centro Nacional de Investigación Oncológica (CNIO) y otros centros de investigación biomédica del envejecimiento, como el *Institut de Recerca* de Barcelona (IRB). Además de ese contexto de experimentación científica, nuestra etnografía se orienta también hacia el ámbito de la creciente divulgación científica de estas nuevas tecnologías biomédicas en la sociedad y su potencial aplicación.

El telómero es, para nosotras, no tanto un hecho científico como un heurístico etnográfico para reflexionar sobre los posibles efectos sociales del desarrollo de dichas tecnologías biomédicas. ¿Qué cambios culturales puede conllevar la reimaginación de la vejez como fallo técnico y reversible? ¿Qué implicaciones sociales puede tener que un sistema sanitario transite del objetivo de “curar” enfermedades hacia el de la “optimización” de la fisiología celular para frenar el envejecimiento y evitar sus enfermedades asociadas? Dado que la investigación en telómeros es aún un ámbito experimental, trazamos conexiones entre los “hechos” del laboratorio y los ámbitos de opinión y especulación que éstos inauguran. Con ello queremos abrir el análisis más allá de la biomedicina, para reimaginar la edad y los posibles efectos sociales de esa reimaginación desde una mirada antropológica hacia el futuro (Bryant y Knight, 2019).

Para el análisis de esa emergencia biomédica del telómero nos basamos en observaciones en laboratorios y eventos científicos (seminarios, conferencias), entrevistas, así como en el seguimiento de literatura científica. La primera autora, de formación biomédica y antropológica, realizó trabajo de campo etnográfico en laboratorios y eventos de divulgación científica desde julio de 2019 hasta marzo de 2020. El segundo autor, antropólogo, ha supervisado el trabajo de campo y colaborado en el análisis de los datos, encuadre teórico, y en la redacción del ensayo. La autora principal visitó en diversas ocasiones el Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO), en Madrid, y el *Institut de Recerca Biomédica* de Barcelona (IRB), donde pudo entrevistar y observar en su actividad de investigación a científicos de dichas instituciones. Desde principios de 2019 y hasta final de 2021, hemos realizado una búsqueda y análisis sistemático de la información sobre telómeros contenida en internet, tanto en el ámbito científico como en foros de divulgación, teniendo en cuenta las corrientes de opinión que esta línea de investigación suscita tanto entre expertos como en la opinión pública.

La estructura del resto del ensayo es la siguiente: primero, introducimos brevemente la noción de “biopolítica molecular” (Rose, 2007) y su utilidad para encuadrar nuestro caso. En las tres secciones que siguen, trazamos etnográficamente la emergencia biomédica y social del telómero a través de tres dimensiones clave: el laboratorio, la esfera “pública” de la investigación biomédica, y la esfera individual. En el laboratorio, observamos como el telómero facilita el tránsito de la idea de la

edad cronológica hacia la noción de una *edad biológica*. En la esfera pública o divulgativa de la investigación, mostramos cómo la biotecnología molecular lleva intrínseco un discurso sobre la *patologización* de la vejez. En la esfera del individuo, la edad molecular se prefigura como una nueva “tecnología del yo” (Foucault, 1988) que hace bascular la biomedicina del objetivo de “curar” enfermedades al de “optimizar” nuestros cuerpos como una responsabilidad *personal* y de acceso altamente desigual desde distintos sectores de la sociedad.

Biopolítica molecular: el telómero como emergente tecnología del yo

La descripción del envejecimiento celular a través de los mecanismos del acortamiento progresivo de los telómeros, los extremos de los cromosomas, ha sido un gran avance de la ciencia biomédica (Lopez-Otín et al., 2013; Blasco, 2007). Una de las transformaciones que el telómero introduce o refuerza es la del imaginario molecular del cuerpo, una escala de pensamiento e intervención biomédica que Nikolas Rose denominó “biopolítica molecular”:

La mayor parte de las personas aún imaginan sus cuerpos a un nivel ‘molar’, a la escala de extremidades, órganos, tejidos, flujos sanguíneos, hormonas, etc. Sobre este cuerpo molar actuamos por medio de la dieta, ejercicio, tatuajes, o cirugía estética. Este cuerpo era el foco de la medicina clínica del siglo XIX (...). Hoy, sin embargo, la biomedicina visualiza la vida de manera diferente. [Actualmente] la vida se entiende y se gestiona a nivel molecular, en términos de las propiedades de las secuencias y variaciones de codificación de nucleótidos, los mecanismos moleculares que regulan la expresión y transcripción genética, las conexiones entre las propiedades funcionales de las proteínas y su topografía molecular, el rol de los elementos intracelulares – canales de ión, actividades enzimáticas, genes transportadores, potenciales de las membranas (...) (Rose, 2007, p. 5, nuestra traducción)

La “biopolítica” es un concepto acuñado por el filósofo e historiador de la ciencia Michel Foucault (2008) para señalar el modo en que el conocimiento científico moderno vino a legitimar y naturalizar el poder político que se ejerce sobre poblaciones, individuos, cuerpos y subjetividades, convirtiéndose en un “biopoder” capaz de introducirse en todas las esferas de la vida humana. Como nota Nikolas Rose (2007), la biopolítica adquiere nuevos instrumentos para el ejercicio del biopoder sobre el individuo, al adentrarse en la escala molecular de la vida. En un paradigma de intervención micrométrica como es el de las terapias génicas, la biomedicina moderna propicia una nueva división analítica y recombinación de los elementos que componen el cuerpo (Lemke, 2011). A nivel molecular, la vida se presenta como “una barrera que debe ser al mismo tiempo respetada y superada, una barrera aparentemente natural y dada pero también artificial y transformable” (Lemke, 2011, p. 5). Dado que la longitud de los telómeros determina la edad a escala molecular, su manipulación permite al ser humano ejercer un poder que dilata la juventud y aplaza la vejez al intervenir directamente en la fisiología celular.

Estos desarrollos biotecnológicos afectan profundamente a las concepciones del cuerpo, y con ello, inauguran nuevas posibilidades de intervención biomédica. En una conversación mantenida con Gemma Marfany, profesora de genética en la Universidad de Barcelona, afirmó que estos avances muestran que en biología “los límites son lábiles, no fijos”. La biopolítica molecular es una clara expresión de esta labilidad, ya que, como sugiere Rose, conlleva el paso de la tecnología médica,

orientada a curar enfermedades, a una tecnología que incide en administrar las bases de la vida misma. En ese sentido, la molecularización de la biomedicina permite intervenir para “optimizar” (*enhance*) “casi cualquier capacidad del cuerpo o el alma humana – fuerza, resistencia, atención, inteligencia, e incluso la propia esperanza de vida” (Rose, 2007, p. 10). De manera crucial, la biopolítica molecular no solo es posibilitada por los avances en biotecnología, sino que emerge en conjunción con factores sociales y productivos “como la capitalización, la estandarización y la regulación” que permiten “reconsiderar la adecuación ética de la intervención sobre las propiedades moleculares de la vida” (Rose, 2007, p. 7).

Inspiradas por esa necesidad de contextualizar socialmente los avances biotecnológicos, nuestro análisis sugiere que la visión microscópica o molecular del telómero es solo el inicio de una emergente biopolítica molecular que reduce la escala a la que operan las nuevas “políticas de la vida” (Flower y Heath, 1993; Rabinow y Rose, 2006). En concreto, mostramos cómo el descubrimiento del telómero va acompañado de una patologización del envejecimiento, y este a su vez inaugura una nueva episteme y práctica biomédica orientada a la optimización del cuerpo como medida de prevención de enfermedades.

En este cambio de orientación biomédica, el conocimiento sobre los telómeros y las nuevas terapias que alteran su fisiología emergen como una nueva “tecnología del yo”, es decir, como parte de un conjunto de prácticas saludables que permiten al individuo operar sobre su cuerpo y transformarse con tal de lograr “la felicidad, pureza, sabiduría, perfección o inmortalidad” (Foucault, 1988, p. 18). Las tecnologías del yo fueron pensadas por Foucault en el cuadro de la emergencia de prácticas de “cuidado de uno mismo” en la filosofía greco-romana de la antigüedad tardía. Una de las características del cuidado de uno mismo es que no sólo surgió como una actitud ascética o espiritual, sino que fue el germen de un cuidado médico, práctico, auto-referido, y permanente (Foucault, 1988, pp. 22-31). Aquí encuadramos la atención al acortamiento de los telómeros como una forma actual, sofisticada y biotecnológica de esas “tecnologías del yo” que fomentaron un giro hacia la responsabilización del individuo en el cuidado de su propia salud.

Por supuesto, tanto el conocimiento como el acceso a las terapias génicas se despliegan en el presente de manera articulada con la configuración social del momento. Rose argumenta que una de las características del giro molecular es que esas nuevas tecnologías no solo buscan una optimización del cuerpo, sino también una capitalización de las intervenciones biomédicas (Rose, 2007, p. 10). Como resultado, la tecnología que atiende y modifica la biología de los telómeros se distribuye de manera muy desigual en la sociedad. Esa dinámica concuerda con el hecho más general de que hoy en día el autocuidado para prevenir la vejez emerge, sobre todo, como un privilegio de la clase alta y las élites (Lamb, 2017, p. 266).

A pesar de nuestro interés inicial en el laboratorio (Latour y Woolgar, 1986), no buscamos determinar *qué son* los telómeros sino averiguar *en qué pueden convertirse* estas entidades cromosómicas al ser introducidos en los imaginarios sociales que van más allá de la investigación biomédica. ¿Cómo puede transformar el telómero la percepción y experiencia de “la edad” o “la vejez” más allá del laboratorio? ¿Y cómo condicionará la propia sociedad la emergencia de este actor molecular en tanto que instrumento biomédico?

El telómero en el laboratorio: de la edad cronológica a la biológica

El doctor Kurt Whittemore, investigador del CNIO, estudia el envejecimiento en distintas especies de animales. Cuando Sara (autora principal) llegó al CNIO, lo encontró en su mesa de trabajo. En agosto de 2019, el Doctor Whittemore acababa de publicar junto a sus colegas un artículo, cuyos resultados mostraba en la pantalla del ordenador (Whittemore et al., 2019). Whittemore explicó que ese artículo era relevante para entender el llamado “proceso molecular del envejecimiento” en varias especies de animales: cada vez que una célula se duplica, relataba Whittemore, el ADN se dispone en forma de cromosomas para facilitar la división del material genético. Cuando un cromosoma se duplica, el cromosoma resultante sufre una pequeña disminución de la longitud de sus extremos, los telómeros, que se encargan de proteger y estabilizar el material genético. Tras un número limitado de duplicaciones, conocido como “límite de Hayflick”, los telómeros se acortan tanto que ya no protegen el ADN y las células envejecen y dejan de dividirse. Tal y como explicó Whittemore, lo importante para entender el envejecimiento no es tanto la longitud de los telómeros como “el ratio o velocidad de su acortamiento”.

En obras de divulgación científica se suele explicar este proceso mediante la analogía del proceso de desgaste de los herretes de los cordones: si los herretes se deterioran, los cordones se deshilachan hasta el punto de perder su forma y función (Blackburn y Epel, 2017, p.18). En otras palabras, el acortamiento de los telómeros hace nuestras células más vulnerables a las circunstancias ambientales, a la propia fisiología, y al paso del tiempo.

Este acortamiento se visualiza hoy en día con las nuevas tecnologías de *telomapping*, que emplean señales de fluorescencia microscópica para visualizar las longitudes de los extremos cromosómicos en los distintos momentos de medición de la muestra. Desde la perspectiva del mapeado de telómeros, la vejez deja de ser un asunto exclusivamente temporal, lo que entendemos como edad cronológica, para adquirir una dimensión espacial precisa, relativa a la longitud del telómero, y conocida como “edad biológica” (Bresnahan, 2018, p. 1; Basabara, 2018, p. 1). La edad biológica es la que se refleja en las imágenes y datos que muestran la velocidad de acortamiento de los telómeros. El *telomapping*, entonces, transforma el envejecimiento en un proceso visualizable y medible a escala molecular, ofreciendo unos parámetros más precisos que los de la edad cronológica, que es una mera convención temporal que nos dice poco acerca del estado de desarrollo o deterioro efectivo de nuestro organismo.

Los proponentes de la investigación en telómeros y de sus posibles aplicaciones presentan el acortamiento de los extremos cromosómicos como un “fallo técnico”, es decir, como “un problema de la física, no de la biología” (De Grey, 2017, p. 7-10). Cuando se habla de edad biológica, se piensa que el *diseño biológico* de la reproducción celular es casi perfecto, y que lo que falla es la técnica de replicación, algo ocurre frecuentemente pero que es concebido como *accidente*. Como modelo, se toman las células tumorales, que se reproducen sin que haya un acortamiento de los telómeros (Shay, 2016; Blasco, 2005). Ante el hecho de que ciertas células no “envejecen”, algunas investigadoras e investigadores en biomedicina afirman que ni la evolución, la biología molecular, la medicina ni la ética dicen que estamos obligados a envejecer. El envejecimiento no está previsto por la evolución ya que los genes están programados (biológicamente) para mantenernos jóvenes y sanos (Blasco y Salomone, 2016; Herrera, 2019).

David Sinclair, biomédico conocido a nivel internacional por sus estudios *antiaging*, proclama que “no hay prueba biológica que nos ponga límite a la vida (...) No es una cuestión biológica, es una cuestión técnica” (Gallart Cajo y Muñoz, 2019, p. 11-30). Aunque estos discursos mantienen una dicotomía clara entre “biología” y “técnica”, desde una perspectiva antropológica, la intervención en telómeros constituye un ejemplo más de lo que Sarah Franklin denomina “relativos biológicos”, esto es, procesos fisiológicos que son generados o profundamente alterados por la tecnología y en donde “lo biológico se vuelve una condición explícitamente relativa o contingente” (Franklin, 2013, p. 16).

En septiembre de 2019, Sara visitó la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona para entrevistar a la doctora Gemma Marfany, genetista experta en envejecimiento celular y terapia genética. La Dra. Marfany describió las posibilidades terapéuticas de la intervención en telómeros como parte de un debate sobre de la “programación” biológica del envejecimiento:

Hay dos visiones (biomédicas) sobre el envejecimiento. Una visión es: estás programado para envejecer y para morir. La otra es: no, no estás programado, lo que pasa es que el ambiente está actuando y tú vas acumulando lesiones. Por lo tanto, es más una cuestión de que acaban fallando múltiples órganos, pero no porque estén programados para fallar, sino porque el ambiente los lleva a fallar. En un paradigma estás programado, y en el otro no.

La idea de que no estamos programados para envejecer da lugar al planteamiento de que podemos sortear los fallos técnicos de la replicación cromosómica y, en gran medida, reparar los accidentes ambientales que lesionan nuestras células y órganos. En la actualidad, la técnica más prometedora para aplazar la vejez es la terapia genética con una enzima llamada “telomerasa”. En 1985, las científicas biomédicas Carol Greider y Elizabeth Blackburn, descubrieron que la telomerasa es la enzima encargada de regenerar los telómeros tras cada replicación celular. Su hipótesis mantiene que esta enzima está activa en nuestras células durante la fase embrionaria, pero se desactiva antes del nacimiento en la mayoría de los tejidos, momento desde el cual sólo queda presente en las células madre encargadas de regenerarlos (Greider y Blackburn, 1985). En la edad adulta, la enzima telomerasa se desactiva por completo, de ahí que a partir de cierta edad el cuerpo empiece a deteriorarse. En septiembre de 2019 asistimos en Barcelona a una conferencia divulgativa titulada “El envejecimiento en el siglo XXI” organizada por la Universidad de Barcelona, donde la Dra. Marfany explicó el proceso de desactivación de la telomerasa comparándola a un reloj de cuerda que “tiene mucha cuerda cuando somos un feto, y después empieza a descontar, hasta que para”. Sin embargo, tanto Blasco como quienes trabajan en el campo de los telómeros sostienen que ese “tope genético” es salvable por la biotecnología. En palabras de la Dra. Blasco (directora del CNIO) durante una entrevista realizada en la primera visita de la autora al CNIO:

La única manera de realmente mantener los telómeros bien es con [la activación genética de la encima de la] telomerasa (...). Realizando experimentos, hemos podido comprobar que si a un ratón le pones el gen de la telomerasa cuando es adulto, podemos hacer que viva bastante más tiempo.

Esta técnica consiste en activar el gen de la telomerasa en ratones transgénicos mediante terapia génica para que regenere los telómeros de los cromosomas y frene el envejecimiento de los tejidos. El ratón transgénico es, como diría Donna Haraway, un “instrumento construido para alojar mundos particulares” (1997, pp. 135-136). En este caso, el ratón constituye un mundo donde se ensaya la posibilidad de que “una persona de 80 años sea, a todos los efectos, como una persona de 40” (Gallart Cajo y Muñoz, 2019, p. 50). En términos de esperanza de vida, la terapia genética de la telomerasa nace con la promesa de alargar el ciclo vital humano hasta al menos los 140 años.

Debido a la regulación contra la manipulación genética, la investigación biomédica contra el envejecimiento en humanos está pausada en España.² No obstante, hay empresas de salud que han incorporado el telómero como una especie de “agente guardián” de la juventud, ofreciendo el mapeo telomérico (no la terapia) dentro de sus servicios. La idea subyacente es que conociendo el estado de los telómeros los individuos pueden tomar medidas de cuidado personal adecuadas. Por ejemplo, la empresa de tecnologías biomédicas *Life Length*, que está ubicada en Madrid, presenta al telómero en su página web de la siguiente manera a sus posibles clientes:

Los telómeros ayudan a identificar tu verdadera edad biológica y juegan un papel esencial en tu salud celular. Usando la tecnología de *Life Length*, usted y su doctor pueden desarrollar un plan personalizado para mejorar su calidad de vida y ralentizar su proceso de envejecimiento.³

La posibilidad de actuar sobre los telómeros, es decir, sobre la edad biológica o celular, introduce un giro en las aspiraciones a construir una sociedad eternamente joven. Así, algunos sostienen que a día de hoy envejecer “ya no es un efecto colateral de la vida” (National Geographic, 2019, p. 1), o que el envejecimiento “ya no es natural” (Herrera, 2019, p. 1). Esto nos lleva a corroborar la anticipación de Paul Rabinow (1992), quien sugería que la naturaleza acabará siendo reconocida y reconstruida con ayuda de la tecnología, hasta volverse eminentemente artificial. El paso de una “edad cronológica” a una “edad biológica” no es el de una versión “cultural” a una versión “natural” de la vejez, sino más bien el contrario: se trata de la apertura a la posibilidad de que la tecnología pueda revertir algo tan elemental como la relación entre el deterioro de los organismos y el paso del tiempo.

La vejez como enfermedad: ¿hacia un cambio de paradigma biomédico?

A pesar de las limitaciones bioéticas, algunas personas han decidido probar las terapias de telómeros en sus propios cuerpos. Liz Parrish, emprendedora y directora de una compañía biotecnológica estadounidense dedicada a la investigación para ralentizar el envejecimiento, afirma haberse inyectado la terapia de telomerasa (Mohammadi y Davis, 2016).⁴ Parrish afirma, con ánimo de levantar controversia pública, que a pesar de los miles de artículos científicos que prueban la eficacia y seguridad de la terapia génica, nadie la está usando, y a la vez estamos “dejando morir a la gente” (Parrish, 2019).

² Extracto de una entrevista en el CNIO (6 de agosto de 2019).

³ Véase: <https://lifelength.com/es/para-pacientes-2/>

⁴ Véase: <https://bioviva-science.com/pages/elizabeth-parrish>

Como ella, otras personas prueban terapias experimentales; muchas de ellas además explican en sus blogs cómo se sienten, qué medicamentos toman o qué rutina realizan con el objetivo de alargar su juventud (Gallart Cajo y Muñoz, 2019; Posner y Popp, 2018). La opinión pública respecto a la terapia génica en general también sigue una tendencia hacia la aceptación. En Europa, tres de cada cuatro personas aprueban el uso de la edición genética en adultos con fines terapéuticos, y una parte minoritaria, pero significativa (sobre todo en España), también aprueba esas técnicas para mejorar cualidades físicas o intelectuales (Gaskell et al., 2017).

Desde el punto de vista de la salud, es posible que nos encontremos ante la posibilidad de un cambio de paradigma de la episteme biomédica en el que el envejecimiento pase a ser entendido no como algo consustancial al cuerpo humano, sino como una enfermedad curable. Con el objetivo de fomentar un diálogo entre disciplinas, en noviembre de 2019 Maria Blasco organizó en el CNIO un evento entre científicos sociales y científicos biomédicos para debatir la posibilidad de intervención en telómeros.⁵ La Dra. Blasco presentó el evento con el siguiente comentario:

De la misma manera en que matamos un virus para prevenir una enfermedad, seremos capaces de prevenir el envejecimiento con tal de curar enfermedades (...). Tenemos todas estas enfermedades no infecciosas como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares (...) la única forma de prevenir estas enfermedades y curarlas es entender el origen y eliminar el origen. Y en este caso, el origen de estas enfermedades está claro: el origen de estas enfermedades es el envejecimiento.

La investigación en telómeros va más allá de determinar el origen del envejecimiento como el acortamiento telomérico. Uno de los principales objetivos de estas investigaciones es señalar al envejecimiento como el origen de las enfermedades crónicas no transmisibles, las cuales se alzan como uno de los principales retos de la biomedicina en la actualidad. Es decir, se replantea el envejecimiento celular como el origen del cáncer, la diabetes, el Alzheimer y las enfermedades cardiovasculares, entre otras. Investigadores/as como Blasco plantean que quizás es más efectivo *tratar la vejez* que tratar cada enfermedad crónica por separado. Desde esa perspectiva, asistimos a un posible cambio de paradigma sanitario en que “el envejecimiento pasa a la categoría de enfermedad, y curable” (Herrera, 2019, p. 71). En una entrevista en febrero de 2020 el Dr. Manuel Serrano, biomédico especialista en envejecimiento celular y director del *Institut de Recerca Biomédica* en Barcelona (IRB), nos explicó:

Uno de los cambios de mentalidad que ha habido es darse cuenta de que el envejecimiento no era algo irreversible, sino que es una manifestación de un proceso, y se puede acelerar, se puede retrasar e incluso se puede revertir [...] Y todo eso ha ido acompañado con el conocimiento sobre la genética, sobre los procesos que están detrás. Se han ido identificando los genes, las rutas bioquímicas, y eso ha llevado a encontrar fármacos o maneras de intervenir para retrasarlo o acelerarlo.

⁵ “*Workshop on Philosophy y Biomedical Sciences: Debates on Conceptual and Social Issues*”, CNIO Auditorium (Madrid), el día 19 de Noviembre 2019.

Las autoridades sanitarias españolas son de momento reticentes a que este cambio de paradigma biomédico sobre la vejez pueda repercutir en un cambio de lógicas y prácticas sanitarias. Ello resituaría la intervención sobre la vejez no en el ámbito de la geriatría, sino en el de la gerontología. La Dra. Blasco, durante una entrevista realizada con la autora, atribuyó el bloqueo a este cambio en el hecho de que:

El envejecimiento no se considera una enfermedad, [ya que] para que sea considerado una enfermedad, no nos tiene que afectar a todos. Pero cómo esto nos afecta a todos, no se percibe como una enfermedad (...). [Sin embargo] esto se está intentando cambiar. Hay lobbies de científicos que están intentando que se cambie esto en la regulación y están intentando que se permita hacer ensayos clínicos preventivos (...). En España, yo creo que no se podría hacer un ensayo clínico para frenar el envejecimiento, pero sí que se podría hacer un ensayo clínico para ver si esta terapia génica con telomerasa tiene un efecto positivo en una enfermedad. Y como ves, ahora en mi grupo estamos enfocados en enfermedades, concretamente, y ver si esto que hemos aprendido del envejecimiento nos ayuda a frenar muchas enfermedades.

La Dra. Blasco y otras ya han planteado públicamente que “el envejecimiento como obligación ha sido una barrera mental contra la investigación” (Blasco y Salomone, 2016, p. 8). El corolario de esta idea es el de la *patologización* de la vejez, ya que si no se declara el envejecimiento como una enfermedad, no se puede, por ahora, aprobar ensayos clínicos para tratarla. Existen otros casos en biomedicina donde la posibilidad tecnológica de intervenir sobre algún genotipo facilita la patologización de otros, como es el caso de las Técnicas de Reproducción Selectiva (Gammeltoft y Whalberg, 2014) o la técnica de edición genética CRISPR (Kirksey, 2016). Como se refleja a continuación, los propios científicos perciben que esa “barrera mental” no es solo un problema bioético, sino también, en parte, un bloqueo cultural.

Durante la primera visita al CNIO, la Dra. Blasco nos explicó una mala experiencia que tuvo al exponer su trabajo en el CCCB (Barcelona). Tras la exposición, los espectadores podían escribir reflexiones sobre notas de colores y pegarlas en la pared.⁶ Dado que muchos de los comentarios eran negativos, sensacionalistas y especulativos, la Dra. Blasco dijo que entonces entendió la importancia de una buena divulgación, de “cómo se cuenta el cuento”. En una conversación posterior, la Dra. Blasco se expresó en relación con la mezcla de escepticismo e incompreensión que rodea su ámbito de investigación:

Sara: [hablando sobre la terapia con telomerasa] Entonces ... el día que se vaya a hacer en humanos, ¡habrá una cola larguísima de voluntarios!

Dra. Blasco: [sorprendida] ¿Tú crees que la gente iría a hacer la cola?

Sara: Yo creo que sí.

Dra. Blasco: No sé, yo a la gente la veo muy reacia.... Yo creo que la sociedad no lo entiende. Y que la mayor parte de las veces, cuando se habla de longevidad y de vivir más años, la gente piensa “¡Uy, vamos a vivir hasta los 150 años! ¡Pero esto no es sostenible! Si ya hay problemas con los que somos ahora (...), ¡y vamos a ser muchos más!” (...). No se piensa que ya a principios del siglo XX, la esperanza de vida al nacimiento era mucho

⁶ Véase: <https://www.cccb.org/ca/activitats/fitxa/la-cultura-i-la-vida/217874>

más baja. Esto ya ha pasado y nadie lo ha visto como algo malo (...). La gente tiene que entender que si se entienden las causas del envejecimiento, podremos curar enfermedades que hoy por hoy son mortales: un Alzheimer, un infarto de miocardio... no es algo negativo, se trata simplemente de curar enfermedades.

Aunque oficialmente no se considera el envejecimiento como una enfermedad, las patologías crónicas siguen siendo una prioridad biomédica y sanitaria. Las investigaciones en telómeros han empezado a replantear su enfoque de intervención: ahora ya no se investiga una cura para el envejecimiento, sino para las enfermedades asociadas al envejecimiento.⁷ Dicho “juego de los nombres”, que es como se ha llamado a este tipo de re-proposiciones científicas, es parte de una estrategia habitual en biomedicina que busca superar las barreras éticas, regulaciones legales o la polémica social (Stolcke, 2010).

Por ejemplo, el CNIO parece estar teniendo éxito en la investigación de una cura para la fibrosis quística mediante la terapia de telomerasa (Povedano et al., 2018; Piñero-Hermida et al., 2021). Ambos estudios han sido llevados a cabo por el grupo de investigación “Telómeros y Telomerasa” y proponen la terapia de telomerasa como potencial tratamiento para la fibrosis quística, que asocian al acortamiento cromosómico. Aunque la intervención esté clasificada como un ensayo clínico contra la fibrosis, y no el envejecimiento, la terapia testada ataca, de facto, a los mecanismos moleculares del envejecimiento, aunque no sea ese el objetivo explícito del tratamiento. De la misma manera, si en el futuro se cura el Alzheimer mediante la regeneración de telómeros, el individuo vivirá “joven” más tiempo (en un sentido biológico, no cronológico), independientemente de si éste era o no el objetivo inicial de la terapia. En una entrevista realizada en febrero de 2020 al Dr. Manuel Serrano, director del IRB, comentó:

El objetivo mío fundamental, realista, no es alargar la longevidad de la humanidad. No es eso, no buscamos eso. Nuestro objetivo es más realista. Buscamos curar enfermedades asociadas al envejecimiento, que afectan a órganos concretos. Con eso me doy por satisfecho, ya es un objetivo bastante ambicioso.

La intervención biomédica sobre la velocidad de acortamiento de los telómeros ha empezado a suscitar debates que pueden pasar rápidamente de la esfera científica a la esfera pública. Las respuestas sociales a desarrollos científicos previos nos indican que, cuando esto suceda, habrá una reclamación de mayor participación ciudadana en los debates científicos (Marfany, 2019; Santaló, 2016). De momento, son los propios científicos quienes invierten tiempo y esfuerzo en la divulgación, conscientes de la importancia de “socializar” sus conocimientos y avances. Trazando este proceso de transferencia a la sociedad vemos, en palabras de la antropóloga

⁷ El “Convenio para la Protección de los Derechos Humanos y la Dignidad del Ser Humano con Respecto a las Aplicaciones de la Biología y la Medicina” sostiene que “únicamente podrá efectuarse una intervención que tenga por objeto modificar el genoma humano por razones preventivas, diagnósticas o terapéuticas y sólo cuando no tenga por finalidad la introducción de una modificación en el genoma de la descendencia” (BOE-A-1999-20638). Por esta ambigüedad respecto a qué se considera enfermedad y qué terapia, el grupo de “Telómeros y Telomerasa” de María Blasco se centra ahora en “experimentar con la terapia de telomerasa *en síndromes teloméricas y enfermedades asociadas a la edad*”. Véase: grupo-de-telomeros-y-telomerasa://www.cnio.es/investigacion-e-innovacion/programas-cientificos/programa-de-oncologia-molecular/

Sarah Franklin, que “los valores sociales, sistemas y aspiraciones son diseñados y contruidos [tanto por científicos como por la sociedad en general] de tal manera que pasan a ser también parte de lo que significa ser *biológico*” (2013, p. 70). En el caso de la investigación en telómeros, ese “ser biológico” aparece como necesitado de protección ante una “patología”, la vejez, que se reimagina como un accidente evitable.

Esa reimaginación de la vejez conlleva importantes efectos sociales. Como dice el sociólogo Thomas Lemke (2013), la medicina molecular conlleva un potencial intrínseco para generar nuevas formas de “discriminación genética”. La discriminación genética implica un recalibrado de la mirada científica a nivel molecular, una mirada que ha pasado a considerar las enfermedades no como hechos en cierta medida naturales o consustanciales a la vida, sino como “errores”, “defectos” o accidentes que pueden ser anticipados, prevenidos y corregidos, interviniendo en la estructura elemental del genoma. En palabras del Thomas Lemke:

El “punto de vista genético” permite extender el concepto de enfermedad como condiciones o variaciones de la norma que hasta recientemente no se consideraban patológicas. Cuando las modificaciones genéticas proporcionan la base para determinar enfermedades, las disposiciones genéticas y riesgos que aún no se han manifestado clínicamente devienen parte de la mirada médica. De este modo se delinea un modelo predictivo de la medicina (...). [Así,] se considera y trata a personas completamente libres de síntomas como si estuvieran “enfermas”, personas cuya “enfermedad” solo es determinable a un nivel molecular (Lemke, 2013, pp. 14-15, nuestra traducción)

Por su naturaleza experimental, novedosa y controvertida, las terapias con telomerasa conllevan un alto potencial de discriminación genética. Ello viene dado por el hecho de que la vejez pase a definirse como “enfermedad”, o, desde un punto de vista molecular, como un accidente genético, un “fallo” que nos afecta a todas, pero solo unas pocas podrían remediar. Uno de los grandes dilemas de discriminación genética que plantea la investigación en telómeros es, en efecto, el de las desigualdades de acceso a las terapias con telomerasa. Aunque la manipulación de los telómeros sea técnicamente posible, el surgimiento de estas terapias se está configurando, como mostramos a continuación, como una opción individual de cuidado personal que resulta difícil de desvincular de una posición de privilegio social y económico.

Cuidarás de tus telómeros (si puedes): sobre la optimización de los cuerpos

Mucho antes de que los telómeros empezaran a popularizarse en el ámbito científico como tratamiento, Paul Rabinow (1992) sugirió que la información genética sería ampliamente difundida y popularizada, y que las personas se acabarían describiendo a sí mismas en términos científicos, biológicos o incluso genéticos en su día a día. Poniendo el ejemplo de las personas que se identifican como hipertensas, alcohólicas, depresivas, con herencia genética predispuesta al cáncer, o con colesterol alto, Rabinow introdujo el concepto de “biosocialidad” para describir la formación de identidades, tanto grupales como individuales, basadas en estas nuevas nociones biológicas. Trasladando esas observaciones al campo de la investigación en telómeros, no resulta difícil imaginar un paradigma en el que las personas se familiaricen con los telómeros hasta el punto de integrarlos en el vocabulario cotidiano. Por ejemplo, en uno de sus libros divulgativos, la Dra. Elisabeth Blackburn

plantea una hipotética escena en la que las personas hablan de ellas mismas en términos de sus longitudes teloméricas:

Cuando Liz va de camino a la oficina, a veces la gente la para y le dice: “Mira, ahora voy al trabajo en bici: ¡estoy manteniendo largos mis telómeros!”, o: “He dejado de beber refrescos azucarados. Me preocupaba lo que les estaban haciendo a mis telómeros”. (Blackburn y Epel 2017, p. 35)

En la sociedad Occidental contemporánea, las posibilidades de control e intervención biopolítica sobre el cuerpo se refieren no sólo al comportamiento o apariencia de los sujetos, sino que también permiten atender y administrar el interior de un organismo modificable, corregible y optimizable (Lemke, 2011, p. 101). Así, la intervención sobre los propios telómeros se presenta como una “tecnología del yo”, definida por Foucault como el conjunto de prácticas saludables que permiten al individuo operar sobre su cuerpo y transformar su yo con tal de lograr “la felicidad, pureza, sabiduría, perfección o inmortalidad” (Foucault, 1988, p. 2).

En un contexto histórico en el que el estado del bienestar y los servicios de salud muestran grandes limitaciones, “la determinación de la calidad de la vida se convierte progresivamente en una cuestión personal de preferencias, utilidad y disponibilidad de recursos” (Lemke, 2011, p. 61). La búsqueda y responsabilidad sobre la salud individual está ligada a la idea de autogobierno, parte de una emergente “somatocracia” en la que la salud se vuelve condición del bienestar material, eficiencia laboral, éxito profesional y capacidad de consumo (Foucault, 1976). Por el momento, la tecnociencia del telómero se desarrolla con la premisa de la intervención sobre el individuo y a merced del capital privado. La orientación biomédica hacia la monitorización y cuidado de la “edad molecular” recae, entonces, en la responsabilidad de personas o pacientes particulares, continuando con un proyecto epistémico y sanitario que Roberts describió como “individualización somática” (2006).⁸

El conocimiento de las longitudes teloméricas por medio de tecnologías de *telomapping*, no es solo una fuente de auto-monitorización de la salud, sino también un incentivo para la búsqueda de la *optimización* fisiológica. Este parece ser el caso en la escena descrita previamente por Blackburn (Blackburn y Epel 2017, p. 35), donde una persona toma conciencia de la interacción diaria entre sus actos, el ambiente, y la longitud de sus telómeros. Esa interacción, sin embargo, no se queda en los hábitos de vida saludable. El paradigma que se nos abre con la terapia con telomerasa es el de la manipulación no solo de los hábitos, sino también de los genes, lo cual requiere de una tecnología accesible a muy pocos. Si, como ya apuntamos, en las incipientes aplicaciones de las biotecnologías de telómeros se anticipa un uso social o económicamente diferenciado, es previsible que este desarrollo tecnocientífico tenga que encarar, en el futuro, importantes tensiones bioéticas entre el derecho individual y colectivo. Como apunta Verena Stolcke, la aplicación de la investigación genética en humanos abre una brecha “entre la libertad individual para conformar al destino propio y la semejanza colectiva [que] se requiere para la igualdad sociopolítica compartida” (Stolcke, 2010, p. 10)

⁸ El proceso de individualización somática se observa por ejemplo en la pandemia de la Covid-19, cuando se han puesto de manifiesto las grandes limitaciones de la sanidad pública para afrontar necesidades colectivas. En ese contexto, observamos un giro hacia la responsabilización de los individuos que, desatendidos por el estado, necesitan re-aprender a coexistir con la incerteza y el peligro (ver Arregui, 2020).

La emergencia del telómero suscita, entonces, cuestiones que desbordan ampliamente los laboratorios: ¿Cómo se regularía el acceso a la terapia en telomerasa? ¿Quién y cómo se financiaría tanto la investigación como la terapia? ¿Qué retos demográficos y ecológicos se plantearían cuando una parte de la población pueda vivir hasta los 140 años? ¿Qué retos sanitarios plantearán los pacientes de edades tan avanzadas? ¿Qué transformaciones en las lógicas del cuidado o de relación inter-generacional sobrevendrían a una reimaginación radical de “la edad” de nuestros allegados? El Dr. Serrano se mostraba optimista cuando nos explicó que con la instauración de las nuevas biotecnologías genéticas:

Se crearán problemas, evidentemente, y nos adaptaremos. De la misma manera que en el siglo XX se ha duplicado la longevidad de los 40 a los 80 y no ha habido ninguna gran catástrofe (...). Yo creo que es algo progresivo. Podemos ver lo que ha pasado en el siglo XX, e imaginar algo parecido (...) la mujer ha accedido al trabajo, se tienen muchos menos hijos, se tienen mucho más tarde, y hay un periodo de post-jubilación muy largo.

No obstante, vivimos en un mundo mucho más globalizado e interconectado que el del siglo XX, y la utilización de una tecnología genética como la que aporta la investigación en telómeros requiere una consideración y adaptación amplia, e idealmente coordinada entre sectores sociales y territorios. Como algunos estudios ya han señalado, sin una regulación global, el “turismo genético” o los talleres clandestinos de modificación genética se vuelven una realidad plausible y cercana (Marfany, 2019). Dadas las posibilidades de transformar radicalmente la “edad” de las personas a título individual, el desarrollo científico en torno a los telómeros deberá emerger de manera articulada con los aspectos económicos, ecológicos y éticos que determinarán, más incluso que la propia biotecnología, la plausibilidad de optimizar la escala molecular de la vida.

Conclusión: patologizar, optimizar y reimaginar la vejez a nivel molecular

De todas las realidades, quizás la vejez es aquella de la que conservamos durante más tiempo de la vida una noción puramente abstracta.

(Marcel Proust, 2020, p. 217)

A pesar de su aguda sensibilidad, Marcel Proust no previó que la biomedicina desafiaría esta noción abstracta de la vejez. Como hemos mostrado en este artículo, la investigación en telómeros no sólo visibiliza a escala micrométrica la vejez, sino que la replantea como una enfermedad objetivable, medible y maleable. Mediante el *telomapping*, la visualización del envejecimiento no es ya una expresión del aspecto físico, sino una longitud relativa, una velocidad de acortamiento que se observa durante la replicación de los extremos de los cromosomas. En conjunción con las técnicas de mapeo cromosómico, surgen las terapias con la enzima telomerasa, que permiten manipular genéticamente el acortamiento de los telómeros, hasta frenarlo.

Ese campo de investigación biomédica desafía la relación que hasta ahora teníamos asumida entre el cuerpo y el paso del tiempo, introduciendo una variable biotecnológica con gran potencial de alteración de procesos que, como el envejecimiento, ya no son concebidos como hechos “naturales”, sino como “fallos técnicos” o accidentes de la replicación cromosómica. Desde el punto de vista etnográfico, es decir, conectando el laboratorio con el mundo social que lo ampara y lo orienta, el telómero nos lleva a reimaginar la edad más allá de una lógica cronológica. Al proponer una edad “biológica”, “molecular” y maleable, el telómero reaviva las ensoñaciones biopolíticas de control sobre todos los procesos de la vida (Foucault, 2008; Rose, 2007).

Las científicas y científicos que investigan en telómeros tratan de legitimar la posible aplicación sanitaria de sus resultados por medio de un discurso que redefine la vejez como una *patología*. Es decir, para que la intervención genética sobre el envejecimiento celular sea percibida como algo legítimo, es necesario, primero, que la propia vejez sea reimaginada como una enfermedad curable. En los discursos y objetivos de estos estudios científicos, el fin explícito es el de atajar los procesos de acortamiento telomérico que favorecen la aparición de otras enfermedades, como el cáncer o el Alzheimer. No obstante, la inevitable consecuencia de patologizar la vejez (por reducirla a sus enfermedades asociadas) es que las terapias que pueden “prevenirla” sirven también para *optimizar* nuestros cuerpos, es decir, para mantenernos indefinidamente sanos y jóvenes.

El tránsito de la curación a la optimización plantea diversas cuestiones de tipo biomédico, ético y social. Una de las principales dificultades es la regulación del acceso a estas terapias experimentales, ya que por el momento son demasiado costosas y controvertidas como para ser puestas al servicio de la sociedad. Como hemos mostrado, las terapias con telómeros emergen como una versión altamente sofisticada de lo que Foucault denominó “tecnologías del yo” (1988), es decir, como una opción individual de auto-perfeccionarse a la que pocos pueden tener acceso. Aunque el imaginario del telómero se mueve aún en la esfera científica, los actuales esfuerzos de divulgación y aprobación bioética reclaman una pronta reflexión colectiva acerca de las consecuencias sociales de que algunos cuerpos, no todos, tengan la posibilidad de frenar el paso del tiempo.

Bibliografía

Arregui, A. (2020). Viralscapes. The bodies of others after Covid-19. *AllegraLab*, Marzo 31, 2020. <https://allegralaboratory.net/viralscapes-the-bodies-of-others-after-covid-19/>

Basabara, S. (2018). Chronological vs. Biological Age. Verywell health. En <https://www.verywellhealth.com/what-is-chronological-age-2223384>. Accedido el 19 de marzo de 2022.

Blackburn, E. y Epel, E. (2017). *La solución de los telómeros*. Aguilar.

Blasco, M. A. (2005). Telomeres and human disease: ageing, cancer and beyond. *Nature Reviews. Genetics*, 6(8), 611–622. <https://doi.org/10.1038/nrg1656>

Blasco, M. A. (2007). Telomere length, stem cells and aging. *Nature Chemical Biology*, 3(10), 640–649. <https://doi.org/10.1038/nchembio.2007.38>

Blasco, M. A. y Salomone, M. G. (2016). *Morir joven, a los 140: El papel de los telómeros en el envejecimiento y la historia de cómo trabajan los científicos para conseguir que vivamos más y mejor*. Paidós.

Bresnahan, S. (2018). You have two ages, chronological and biological. Here's why it matters. *CNN Health*. En <https://edition.cnn.com/2018/11/30/health/live-longer-biological-age-intl/index.html> . Accedido el 19 de marzo de 2022.

Bryant, R. y Knight, D. (2019). *The anthropology of the future. New departures in anthropology*. Cambridge University Press.

De Grey, A. y Rae, M. (2007). *Ending Aging: The Rejuvenation Breakthroughs That Could Reverse Human Aging in Our Lifetime*. St. Martin's Publishing Group.

De Grey, A. (2017). How We Can Finally Win the Fight against Aging. *TEDxMünchen*. En: https://www.youtube.com/watch?v=AvWtSUdOWVIyab_channel=TEDxTalks. Accedido el 19 de marzo de 2022.

Estes, C. L. y Mahakian, J. L. (2001). The Political Economy of Productive Aging. En N. Morrow-Howell, J.E. Hinterlong, y M. Sherraden (Eds.) *Productive Aging: Concepts and Challenges* (pp. 197–213). Johns Hopkins University Press

Flower, M. J., y Heath, D. (1993). Micro-Anatomo Politics: Mapping the Human Genome Project. *Culture, Medicine and Psychiatry*, 17(1), 27–41. <https://doi.org/10.1007/BF01380597>

Foucault, M. (1976). *The History of Sexuality* (Vol.1). Allen Lane.

Foucault, M. (1988). *Technologies of the Self. Lectures at University of Vermont in October 1982*. Univ. of Massachusetts Press.

Foucault, M. (Ed.). (2008) *The Birth of Biopolitics. Lectures at the College of France*. Palgrave MacMillan.

Franklin, S. (2013). *Biological relatives. IVF, stem cells, and the future of kinship*. Duke University Press.

Gallart Cajo, I. y Muñoz, T. (2019). *A la carta, 30 minuts: Immortals?.* Producido por Carles Fernández. Emitido el 22 de diciembre de 2019. En <https://www.ccma.cat/tv3/alacarta/30-minuts/immortals-versio-ampliada/video/598766>

Gammeltoft, T. y Wahlberg, A. (2014). Selective Reproductive Technologies. *Annual Review of Anthropology*, 43, 201-216. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-102313-030424>

Gaskell, G., Bard, I., Allansdottir, A., Vieira Da Cunha, R., Eduard, P., Hampel, J., Hildt, E., et al. (2017). Public Views on Gene Editing and Its Uses. *Nature Biotechnology*. <https://doi.org/10.1038/nbt.3958>.

Greider, C. y Blackburn, E. (1985). Identification of a Specific Telomere Terminal Transferase Activity in Tetrahymena Extracts. *Cell*, 43(2 PART 1), 405–13. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(85\)90170-9](https://doi.org/10.1016/0092-8674(85)90170-9).

- Haraway, D. (1997). *Modest_Witness@Second_Millennium.FemaleMan©_Meets_Oncomouse™*. Routledge.
- Herrera, A. (2019). ¿Podemos dejar de envejecer? La nueva medicina antiedad. *National Geographic*, 66-79.
- Instrumento de Ratificación del Convenio para la protección de los derechos humanos y la dignidad del ser humano con respecto a las aplicaciones de la Biología y la Medicina (Convenio relativo a los derechos humanos y la biomedicina), hecho en Oviedo el 4 de abril de 1997. «BOE» núm. 251, de 20 de octubre de 1999, páginas 36825 a 36830. BOE-A-1999-20638. [https://www.boe.es/eli/es/ai/1997/04/04/\(1\)](https://www.boe.es/eli/es/ai/1997/04/04/(1))
- Kampf, A. y Botelho, L. (2009). Anti-Aging and Biomedicine: Critical Studies on the Pursuit of Maintaining, Revitalizing and Enhancing Aging Bodies. *Medicine Studies*, 1, 187-195.
- Kirksey, E. (2016). The CRISPR Hack: Better, Faster, Stronger. *Anthropology Now*, 8(1), 1-13, <http://doi.org/10.1080/19428200.2016.1152860>
- Lamb, S. (2017). *Successful Aging as a Contemporary Obsession*. Rutgers University Press.
- Latour, B. y Woolgar, S. (1986) [1979]. *Laboratory life: the construction of scientific facts*. Princeton University Press.
- Lemke, T. (2011). *Biopolitics: An Advanced Introduction*. New York University Press.
- Lemke, T. (2013). *Perspectives on Genetic Discrimination*. Routledge.
- Lock, M. y Nguyen, V. (2018). *An Anthropology of Biomedicine*. Wiley-Blackwell.
- López-Otín, C., Blasco, M. A., Partridge, L., Serrano, M., & Kroemer, G. (2013). The Hallmarks of Aging. *Cell*, 153(6), 1194–1217. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.05.039>
- Manderson, L. y Smith-Morris, C. (2010). *Chronic Conditions, Fluid States: Chronicity and the Anthropology of Illness*. Rutgers University Press.
- Marfany, G. (2019). Interrogantes y retos actuales de la edición genética. *Revista de Bioética y Derecho*, 0, 17–31. <https://doi.org/10.1344/rbd2019.0.28551>
- Mohammadi, D. y Davis, N. (2016). Can this woman cure ageing with genetic therapy? *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/science/2016/jul/24/elizabeth-parrish-gene-therapy-ageing>. Accedido el 19 de marzo de 2022.
- National Geographic (2019). ¿Se puede retrasar el envejecimiento? *National Geographic*, Febrero, 7-9.
- Parrish, E. (2019). Gene Therapy To Engineer Healthy Longevity. *TEDxOxford*. <https://www.youtube.com/watch?v=f8K7ModDUhg>. Accedido el 19 de marzo de 2022.
- Piñeiro-Hermida, S., Martínez, P. y Blasco, M.A. (2021). Short and dysfunctional telomeres protect from allergen-induced airway inflammation. *Aging Cell*, 20, e13352.

Posner, J. y Popp, C. (2018, 15 Agosto). Can we live forever? (Temporada 1, Episodio 15) [Capítulo de serie de televisión]. Por Masetti, S. (Productor Ejecutivo) Explained, VoxMedia.

Proust, M. (2020). *El Tiempo Recuperado*. Verbum

Povedano, J. M., Martínez, P., Serrano, R., Tejera, Á., Gómez-López, G., Bobadilla, M., Flores, J. M., Bosch, F., y Blasco, M. A. (2018). Therapeutic effects of telomerase in mice with pulmonary fibrosis induced by damage to the lungs and short telomeres. *eLife*, 7, e31299. <https://doi.org/10.7554/eLife.31299>

Rabinow, P. (1992). Artificiality and Enlightenment: From Sociobiology to Biosociality. En J. Crary y S. Kwinter (Eds.). *Incorporations* (pp. 234–252). Zone Books.

Rabinow, P. y Rose, N. (2006). Biopower Today. *BioSocieties*, 1(2), 195–217. <https://doi.org/10.1017/S1745855206040014>

Robertson A. (1990). The politics of Alzheimer's disease: a case study in apocalyptic demography. *International journal of health services: planning, administration, evaluation*, 20(3), 429–442. <https://doi.org/10.2190/C8AE-NYC1-2R98-MHP1>

Rose, N. (2007). Molecular Biopolitics, Somatic Ethics and the Spirit of Biocapital. *Soc Theory Health*, 5, 3–29. <https://doi.org/10.1057/palgrave.sth.8700084>

Santaló, J. (2016). *OBD Edición Genética*. Edicions de la Universitat de Barcelona.

Sethe, S., Rose, M. R., Mellon, B.F., More, M., Treder, M., Rabkin, E. S., Clynes, M., Vyff, S., Best, B., Geddes, M., Blackford, R., de Grey, A., de Magalhaes, J. P., West, M. D., Freitas R. A., Kurzweil, R., Bainbridge, W. S., Minsky, M. y Wowk, B. (2004). *The Scientific Conquest of Death*. Libros En Red.

Shay, J. W. (2016). Role of Telomeres and Telomerase in Aging and Cancer. *Cancer discovery*, 6(6), 584–593. <https://doi.org/10.1158/2159-8290.CD-16-0062>

Stolcke, V. (2010). Homo Clonicus: ¿entre La Naturaleza y La Cultura? *Campos*, 11(2), 9-34.

Whittemore, K., Vera, E., Martínez-Nevado, E., Sanpera, C. y Blasco, M. A. (2019). Telomere Shortening Rate Predicts Species Life Span. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(30), 15122–27. <https://doi.org/10.1073/pnas.1902452116>.



© Copyright Sara Lasunción Mejía i Aníbal G. Arregui, 2022

© Copyright *Quaderns de l'ICA*, 2022

Fitxa bibliogràfica:

Lasunción Mejía, S. y Arregui, A.G. (2022). La edad molecular: reimaginando la vejez desde laboratorios de experimentación en telómeros. *Quaderns de l'Institut Català d'Antropologia*, 38(2), 369-387 [ISSN 2385-4472].