



**MÁSTER EN FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE EDUCACIÓN  
SECUNDARIA OBLIGATORIA, BACHILLERATO, FORMACIÓN  
PROFESIONAL Y ENSEÑANZAS DE IDIOMAS**

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**CURSO 2019 - 2020**

# **“MPEMBA CONTRA NEWTON”: UN RECURSO DRAMÁTICO PARA INTRODUCIR EL MÉTODO CIENTÍFICO EN SECUNDARIA**

***“MPEMBA VS NEWTON”: DRAMATICAL RESOURCE TO  
INTRODUCE SCIENTIFIC METHOD IN SECONDARY LEVEL  
STUDIES***

**ESPECIALIDAD:** FÍSICA Y QUÍMICA

**APELLIDOS Y NOMBRE:** MARTÍN REQUES, SERGIO

**DNI:** 78695204 - Z

**CONVOCATORIA:** JUNIO

**TUTORA:** MARIA ELENA ARROYO DE DOMPABLO

Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Ciencias Químicas

*"We absolutely must leave room for doubt or there is no progress and there is no learning.  
There is no learning without having to pose a question. And a question requires doubt" \**

**Richard P. Feynman (1918-1988)**

*\* Debemos, de manera rotunda, dejar sitio a la duda o no habrá progreso ni aprendizaje. No existe el aprendizaje sin necesidad de plantearse una pregunta. Y una pregunta requiere duda.*

## ÍNDICE

1. Resumen / Abstract .....	Pág. 1
2. Palabras clave .....	Pág. 2
3. Planteamiento del problema y justificación .....	Pág. 2
3.1 Introducción: la historia de Mpemba .....	Pág. 2
3.2 El método científico: un contenido muy transversal .....	Pág. 3
3.3 Una visión personal .....	Pág. 5
4. Fundamentación teórica .....	Pág. 6
4.1 Situación actual de la alfabetización y percepción de autoeficacia científicas .....	Pág. 7
4.2 Análisis del marco teórico tradicional del método científico .....	Pág. 8
4.3 Contar historias como recurso didáctico .....	Pág. 11
4.4 ¿Por qué entonces se congela antes el agua caliente? .....	Pág. 13
4.5 Elementos clave de un relato como recurso didáctico .....	Pág. 17
5. Objetivos .....	Pág. 19
6. Metodología .....	Pág. 19
6.1 Elegir la historia .....	Pág. 20
6.2 Estructurar el relato .....	Pág. 21
6.3 Localizaciones .....	Pág. 22
6.4 Los personajes .....	Pág. 23
6.5 Recursos escénicos y de utilería .....	Pág. 25
6.6 Imagen, sonido y copyright .....	Pág. 27
6.7 Pre-test y Post-test .....	Pág. 28
7. Resultados .....	Pág. 30
7.1 Texto de la representación .....	Pág. 30
7.2 Versión podcast – Radio teatro .....	Pág. 40
7.3 Foro de debate .....	Pág. 41
8. Discusión .....	Pág. 42
9. Conclusiones .....	Pág. 44
10. Referencias Bibliográficas .....	Pág. 44
11. Anexos .....	Pág. 51

## **1. RESUMEN**

Se denomina “efecto Mpemba” al proceso por el cual el agua caliente se congela antes que el agua fría, investigado por primera vez gracias a Erasto Mpemba, un alumno de un instituto de secundaria en Tanzania. En el presente trabajo, se desarrolla una dramaturgia teatral de la historia que llevó a su descubrimiento para acercar a los alumnos de ESO y Bachillerato al “método científico” real a través de una dramatización que puede ser implementada como actividad de introducción en unidades didácticas de varias asignaturas o bien como recurso extraescolar. Se pretende con ello contribuir a la alfabetización científica del alumnado, mejorando su percepción de la naturaleza de la ciencia (Nature Of Science - NOS), con un recurso que permite, además, introducir varias competencias transversales de otras áreas; la forma en que se desarrolla la historia puede servir de estímulo a la curiosidad, la tenacidad, la percepción de autoeficacia científica y el respeto. La actividad docente que se propone comprende un test previo, la representación teatral de media hora y finalmente un turno de preguntas para abarcar una sesión de una hora en total. Se pretende realizar el mismo test pasado un tiempo para evaluar cambios en la percepción de la ciencia por parte del alumnado. La actividad también se complementa con un foro en internet donde los alumnos pueden interactuar para buscar respuesta a cualquier pregunta que se les ocurra más tarde.

## **ABSTRACT**

The “Mpemba effect” is the process by which hot water freezes sooner than cold water; it was first researched thanks to Erasto Mpemba, a high school Tanzanian student. In the present work, the real story behind this discovery is used to create a theatrical dramaturgy as a resource to introduce the real scientific method to students at high school level. This resource can be used as a formal introductory activity in an ample group of subjects or as a non-formal extracurricular activity. The play aims to contribute to the students’ science literacy as well as to provide an approximation to the Nature of Science (NOS) in a way that fosters curiosity, tenacity, self-efficacy science perception and respect. This activity is designed as a pre-test, a thirty minutes’ representation, and a final question time; the test can be used in a later time to evaluate changes in the perception of the NOS. An open internet forum has been created to allow students to post any question they would like to be answered

## **2. PALABRAS CLAVE / KEYWORDS**

Dramaturgia aplicada a la enseñanza, efecto Mpemba, alfabetización científica, didáctica del método científico, teatro y didáctica de las ciencias.

Dramaturgy applied to teaching, Mpemba Effect, science literacy, scientific method teaching, theatre and science teaching.

## **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

### **3.1. Introducción: la historia de Mpemba**

A lo largo del presente trabajo, se hará referencia de forma continua a la historia de Erasto Mpemba, así que es pertinente empezar por presentarle: Erasto Mpemba fue un estudiante de secundaria en un instituto de Tanzania que, en 1969, llegó a publicar un artículo científico en una revista de investigación y dar nombre a un fenómeno termodinámico: el proceso mediante el cual el agua caliente se congela antes que el agua fría.

Todo comenzó cuando Mpemba observó de manera fortuita cómo la leche caliente se congelaba antes que la fría al tratar de hacer helado en el colegio junto con sus compañeros. Preguntó a sus profesores de ciencias y todos le dijeron que aquello no podía suceder, por ir en contra de los principios de termodinámica establecidos desde hacía siglos por Newton y otros y, ante su insistencia, acabaron ridiculizándole. Se convirtió en blanco de las bromas de todos sus compañeros – y profesores – hasta que un día, un profesor de la Universidad llamado Denis Osborne, acudió a su centro para dar una charla sobre ciencia y salidas profesionales a los alumnos. Cuando llegó el turno de las preguntas, ante la burla y el enfado de sus compañeros, Erasto repitió la suya.

Mpemba no había permanecido ocioso, había investigado el fenómeno por su cuenta, espoleado por su curiosidad y por la certeza de que, si no correspondían con su experiencia de primera mano, las teorías que le enseñaban debían estar mal planteadas o incompletas. Repitió sus experimentos con agua en vez de leche, obteniendo siempre el mismo resultado. Osborne no le ridiculizó, pese a sentirse muy extrañado por el efecto que planteaba el alumno, y le preguntó si lo había comprobado por sí mismo, declarando, una vez obtuvo la respuesta afirmativa, que no tenía ni idea de por qué sucedía aquello pero que lo investigaría una vez llegara a la Universidad. Cumplió su promesa y pudo observar la veracidad de lo expuesto por Mpemba.

Todo ello llevó al profesor Osborne a publicar, junto con Mpemba, un artículo en la revista *Physics Education* sobre posibles explicaciones del efecto y sobre la actitud del

estudiante como ejemplo de superación y de espíritu científico (Mpemba & Osborne, 1969). Mpemba no llegó a ser físico – los recursos de su familia no lo permitieron – y consiguió una beca para llegar a ser guarda forestal, pero su tenacidad y la impecable ética del doctor Osborne escribieron su nombre en la historia de la ciencia moderna como descripción de un fenómeno que aún hoy sigue debatiéndose, estudiándose y dando lugar a investigaciones y publicaciones en diversas áreas.

### 3.2. El método científico, un contenido muy transversal

Uno de los elementos curriculares más transversales a todas las asignaturas de ciencias – y algunas otras – en secundaria es, sin duda, el método científico. Tal y como puede verse en la “tabla 1”, extraída del Real Decreto 1105/2014 del 26 de diciembre (Resolución Nº1105, 2014), dicho concepto se incluye en todos los cursos de la ESO y Bachillerato, en bloques de diversas materias, tanto de sociales como de ciencias:

Tabla 1. *Contenidos relacionados con el método científico en el currículo de secundaria.*

<b>ASIGNATURA CURSO</b>	<b>Bloques / Contenidos / Criterios de evaluación</b>
<b>Biología y geología</b> 1º, 3º ESO	1 / <b>Metodología científica</b> / <i>Buscar, seleccionar e interpretar la información de carácter científico y utilizar dicha información para formarse una opinión propia, expresarse con precisión y argumentar...</i>
	7 / <b>Proyecto de investigación en equipo</b> / <i>Planear, aplicar e integrar las destrezas propias del trabajo científico...</i>
<b>Biología y geología</b> 4º ESO	4 / <b>Proyecto de investigación</b> / <i>Planear, aplicar e integrar las destrezas propias del trabajo científico...</i>
<b>Física y química</b> 2º, 3º ESO	1 / <b>El método científico: sus etapas</b>
<b>Física y química</b> 4º ESO, 1º BACH	1 / <b>La actividad científica</b>
<b>Física</b> 2º BACH	1 / <b>La actividad científica</b> / <i>Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica</i>
<b>Economía</b> 1º BACH	1 / <b>Organización de la actividad económica</b> / <i>...identificar las fases de la investigación científica en Economía y los modelos económicos</i>
<b>Filosofía</b> 1º BACH	3 / <b>El conocimiento</b> / <i>Conocer y explicar la función de la ciencia, modelos de explicación, sus características, métodos y tipología del saber científico...</i>
<b>Ciencias aplicadas a la Actividad Profesional</b> 4º ESO	1 / <b>Técnicas de experimentación en física, química, biología y geología</b>
	4 / <b>Proyecto de investigación.</b>
<b>Geografía e Historia</b> 4º ESO	1 / <b>El arte y la ciencia en Europa en los siglos XVII y XVIII</b>

<b>Geología</b> 2º BACH	1 / <b>El planeta tierra y su estudio</b> / <i>Aplicar las estrategias propias del trabajo científico en la resolución de problemas relacionados con la geología</i>
<b>Matemáticas aplicadas a las CC.SS. 1 y 2</b> 1º y 2º BACH	1 / <b>Procesos métodos y actitudes en matemáticas</b> / <i>Elaboración y presentación de un informe científico...</i>
<b>Matemáticas orientadas a las enseñanzas académicas / aplicadas</b> 3º ESO y 4º ESO	1 / <b>Procesos métodos y actitudes en matemáticas</b> / <i>Confianza en las propias capacidades para desarrollar actitudes adecuadas y afrontar las dificultades propias del trabajo científico.</i>
<b>Matemáticas</b> 1º, 2º ESO y BACH	1 / <b>Procesos métodos y actitudes en matemáticas</b> / <i>Confianza en las propias capacidades para desarrollar actitudes adecuadas y afrontar las dificultades propias del trabajo científico.</i>
<b>Química</b> 2º BACH	1 / <b>La actividad científica</b> / <i>Diseñar, elaborar, comunicar y defender informes de carácter científico realizando una investigación basada en la práctica experimental.</i>
<b>Cultura Científica</b> 4º ESO, 1º BACH	1 / <b>Procedimientos de trabajo</b> / <i>Obtener, seleccionar y valorar informaciones relacionados con temas científicos de la actualidad / Valorar la importancia que tiene la investigación y el desarrollo tecnológico en la actividad cotidiana.</i>
<b>Valores Éticos</b> 1º, 2º, 3º y 4º ESO	6 / <b>Los valores éticos y su relación con la ciencia y la tecnología</b>

Como se puede ver, el método científico se introduce de forma continua desde los primeros cursos de la ESO hasta el Bachillerato y su importancia es enfatizada, además, en varios puntos de la legislación educativa, tanto en la descripción de las competencias básicas como en la formulación de los objetivos del sistema educativo. Así, por ejemplo, uno de los puntos fundamentales de las “competencias básicas en ciencia y tecnología” (Disposición 738, 2015) propone que el alumno debe asumir “el interés por la ciencia, el apoyo a la investigación científica y la valoración del conocimiento científico”, mientras que en la (Resolución N°1105, 2014) se habla de “consolidar el método científico como herramienta habitual de trabajo” o de “la utilización del método científico, útil no solo en el ámbito de la investigación, sino en general en todas las disciplinas y actividades”.

Quizás precisamente por ser un tema recurrente en los temarios, existe la tendencia de dejar su estudio en profundidad para otra asignatura o curso, o de no dedicarle las horas necesarias. Así, dada la importancia del método científico en los programas académicos, cabe preguntarse si recibe la atención necesaria para favorecer en el alumno el desarrollo las competencias asociadas y, lo que es fundamental para el estudio de las ciencias, despertar la curiosidad.

### 3.3. Una visión personal

A lo largo del periodo de prácticas de este curso he percibido cómo, atrapados entre la presión académica, el currículo y las matemáticas, los alumnos no parecían encontrar hueco para la curiosidad. En general, sus preguntas tendían a ir dirigidas únicamente a comprender la mecánica de resolución de los ejercicios, tratando de extraer con un mínimo esfuerzo posible la fórmula para “aprobar” los exámenes – la parte útil para ellos de la ciencia –, desestimando el poder intrínseco de las preguntas para hacernos crecer en todos los sentidos. Es muy difícil enseñar ciencia en un aula sin curiosidad.

El método científico no deja de ser el primer peldaño en la formación de un estudiante de ciencias, de ahí la importancia de presentar este tema al alumno de una forma atractiva y motivadora, más cercana quizás a la divulgación científica que a la instrucción académica y quizás más cercana al arte que a las “ciencias puras”. Un estudio actual sobre el modo en que se aborda este tema se expone con detalle en los fundamentos del presente trabajo (secciones 4.2 y 4.3) pero, a grandes rasgos, podría decirse que, aunque existen iniciativas particulares que introducen metodologías de indagación o aprendizaje basado en problemas con enfoques en las líneas tecnología-ciencia-sociedad y ambiente (TCSA), aún persiste la enseñanza tradicional basada en libros de texto y apuntes de corte clásico. Cabe preguntarse qué más se podría hacer para despertar la curiosidad en el alumno.

En efecto, durante los primeros días del practicum pude observar cómo los alumnos de 4º ESO – a los que debía dar clase, principalmente – eran, en general, muy reacios a cuestionarse el origen de los conceptos, hasta el punto de impacientarse si no se les mostraba de un modo inmediato dónde aplicar qué fórmula determinada. Tratando de despertar su atención, reproduje uno de los experimentos con plano inclinado de Galileo, a ritmo de “we will rock you (Queen)” para medir los intervalos de tiempo: la atención de todo el alumnado durante aquella primera sesión fue ejemplar; su actitud curiosa y el interés sobre el tema que estaba tratándose me ilusionaron profundamente. Más tarde volvieron a centrarse sólo en disponer de apuntes dictados y ejercicios resueltos, pero esa primera experiencia hizo que me cuestionara de qué manera se podría contribuir a mantener viva la curiosidad durante más tiempo. Esta duda ha sido la que ha motivado la redacción del presente trabajo, en el que se propone teatralizar una historia (la de Mpemba) como eje central de una actividad docente encaminada a la enseñanza del método científico.

Con respecto a la introducción de dicha actividad en el programa docente, ya que el método científico aparece en todos los cursos de la ESO y bachillerato, disponemos una gran flexibilidad; el momento idóneo podría encontrarse en 1º de la ESO, como

presentación de la naturaleza de la ciencia y su método, pero esta actividad puede introducirse a cualquier curso y nivel, atendiendo a las necesidades específicas de cada centro. Por otro lado, encontrar tiempo en el programa académico puede ser complicado, así que puede plantearse incluso como actividad extraescolar; este tipo de actividades pueden suponer un excelente recurso didáctico y motivacional (Vazquez Alonso & Manassero Mas, 2007) (Gibson, 2002) y muchos centros optan por usarlas como complemento a la enseñanza en el aula. Llevar a cabo actividades fuera del ámbito formal tiene ventajas: no suponen una merma de las horas de clase y permiten que los alumnos se encuentren en un entorno más libre de estrés y demanda, favoreciendo así su receptividad. Hace mucho tiempo que se ha implantado en los centros educativos la celebración de “jornadas culturales”, en las que hay una gran demanda de contenidos educativos transversales que puedan abarcar varios cursos y permitan el desarrollo de distintas metodologías.

Más allá de proponer una historia concreta para introducir el tema del método científico, esta propuesta procura ser un complemento motivacional extra para el desarrollo de otras metodologías didácticas; con ello se pretenden abordar, desde una perspectiva innovadora y transversal, problemas relacionados con la alfabetización científica del alumnado, su percepción de autoeficacia científica y el modo en que tradicionalmente se interpreta la naturaleza de la ciencia en el llamado “método científico”.

En resumen, el objeto del presente TFM se fundamenta en dos pilares esenciales: por una parte, la validez de la narración oral de una historia como recurso didáctico para las ciencias – en concreto, para abordar el tema del método científico –, y por otra, la pertinencia de la historia de Mpemba para conseguir objetivos propios del currículo, competencias en los estudios de ciencias en secundaria y competencias transversales de otras áreas.

#### **4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y ESTADO DE LA CUESTIÓN**

Pasamos a revisar la fundamentación teórica, y el estado de la cuestión en lo concerniente a la alfabetización y percepción de autoeficacia científica en el alumnado (sección 4.1), al enfoque tradicional del método científico (sección 4.2) y a la narrativa como recurso docente (sección 4.3). En la sección 4.4, se ahondará en la historia de Mpemba, presentando los contenidos científicos que puedan ser clave desde un punto de vista docente y, finalmente, en la sección 4.5 se ofrece un resumen de los elementos que debe tener un relato para ser utilizado con el propósito didáctico que ocupa al presente trabajo.

#### 4.1. Situación actual de la alfabetización y percepción de autoeficacia científica

La búsqueda de alfabetización científica es, claramente, una prioridad del sistema educativo, sin embargo, también parece ser un continuo caballo de batalla; tal y como reflejan diversos estudios (Mateos-Núñez, Martínez-Borreguero, & Naranjo-Correa, 2020), (Dávila Acedo, Borrachero Cortés, Brígido Mero, & Costillo Borrego, 2016), en un amplio porcentaje de alumnos de secundaria, se encuentran dificultades en la manera en que asignaturas de ciencias, tecnología y matemáticas (STEM) son percibidas, en términos de autoeficacia, actitud y aspiraciones profesionales. Dichas dificultades suponen para ellos una barrera para el aprendizaje y el desarrollo, además de un obstáculo para ingresar en un gran número de carreras universitarias.

No se trata de una problemática exclusiva de nuestro país, otras investigaciones obtienen resultados similares en todo el mundo; en concreto, en el Reino Unido, llevan nueve años desarrollando un ambicioso proyecto, cristalizado en los informes ASPIRES (Archer et al., 2013) y ASPIRES II (Wong, Gore, Holman, & Mann, 2020), en los que han realizado cerca de 40.000 encuestas y 660 entrevistas que reflejan cómo el porcentaje de jóvenes (de 10 a 19 años) que aspiran a tener una carrera científica es muy reducido (un 16%) y cómo esas aspiraciones son en gran medida producto de un entorno familiar cercano a la ciencia, más que derivadas del proceso formativo.

Hay numerosos factores que influyen en que un alumno se considere apto para estudiar (o incluso entender) ciencias, pero podríamos destacar tres fundamentales:

- *Capital científico* (Archer, Dawson, Seakins, & Wong, 2016): la cantidad de conocimiento, estímulos y cultura relacionados con la ciencia que un estudiante recibe de su entorno, escolar o no escolar.
- *Factores y prácticas educativos*: atendiendo especialmente a la separación entre las ciencias “reales” y las ciencias “escolares”; bien sea por el diseño del currículo educativo o por la metodología empleada para impartirlo, “en muchas ocasiones existe una escasa coherencia entre las situaciones de enseñanza/aprendizaje y las que corresponden a la construcción de conocimientos científicos” (Gil Pérez, 1994)
- *Representaciones sociales y educativas dominantes de la ciencia*: la identificación de la ciencia con figuras masculinas – preferentemente venerables – o con la necesidad de disponer de una inteligencia superior, por ejemplo (Legarralde, Vilches, & Darrigran, 2009).

Este último factor se asocia con los modelos a seguir que tienen a su disposición los estudiantes y cuál es la distancia que perciben entre dichos modelos y ellos mismos.

Se presenta a los científicos como seres perfectos, infalibles e inalcanzables y resulta contraproducente identificar la ciencia como algo fruto de la genialidad (que se tiene o no) en vez de consecuencia del esfuerzo y la tenacidad (que se pueden desarrollar). Es, por lo tanto, pertinente tratar de desarrollar metodologías que acorten la distancia que separa la naturaleza de la ciencia y su método de los alumnos de secundaria; la historia de Mpemba contiene elementos que encajan muy bien con ese objetivo.

#### **4.2. Análisis del marco teórico tradicional del método científico**

Introducir el método científico en distintas materias, ofrece muchas oportunidades para tratar de paliar las percepciones negativas sobre la ciencia, sin embargo, para conseguirlo quizás sea preciso replantearse el modo en que se introduce de forma tradicional. En las últimas dos décadas se ha tratado de cambiar la visión más clásica, principalmente a través de dos vías: una de ellas se centra en la “naturaleza de la ciencia” como concepto alternativo al de “método científico” (Vázquez, Acevedo, Manassero y Acevedo, 2001), y otra propone el acercamiento del proceso científico al mundo cotidiano de los alumnos en lo que se ha dado a llamar “enfoque ciencia–sociedad–tecnología (CST)” (Mambiela, 2002). Estas dos perspectivas instan a modificar antiguas concepciones sobre el método científico, pero aún queda mucho camino por recorrer (Pozo & Gómez Crespo, 2009) (García-Carmona, Vázquez Alonso y Massanero Mas, 2011); en los libros de texto más utilizados en nuestro país – y se emplean “bastante o mucho” por más de un 80% de los docentes (Perez y Meneses Villagrà, 2020) – esta resistencia a cambiar la visión más clásica de la metodología científica es notable y deja fuera varios aspectos fundamentales que podrían acercarla a los alumnos.

##### ***Todo empieza por la curiosidad***

Por ejemplo, en varios textos escolares – de los cuales se han analizado algunos de los más representativos, (Grupo Edebé, 2012; Gutiérrez, 2019; Piñar Gallardo, 2015; Prieto & Verdugo, 2015; Vidal Fernandez, 2015) – y en otros apuntes muy utilizados que se encuentran en internet (Gallegos, 2019; González, 2019; Roncero & Marín, 2019; ...) no se habla en ningún momento de un concepto clave: la curiosidad como punto de partida de toda investigación. Se asume, quizás, que al hablar de “observación de fenómenos” la curiosidad está implícita, pero explicitarla puede abrir una excelente vía de comunicación con los alumnos. El efecto Mpemba fue observado por mucha gente antes de Erasto, pero sólo su curiosidad y empeño lo convirtieron en objeto de estudio.

### ***La ciencia no es un proceso lineal***

Por otra parte, la ciencia, como todo, es imperfecta: en palabras de Reiff y Harwood, “la descripción tradicional del método científico en los libros de texto como un proceso lineal, no consigue reflejar con precisión el animado proceso que los científicos usan al enfrentar sus indagaciones científicas” (Reiff, Harwood, & Phillipson, 2002, p. 577). En los procesos reales, muchas veces los científicos deben retroceder en sus pasos, replantearse los experimentos o reformular los problemas o hipótesis; hay otros pasos que se omiten o no pueden llegar a realizarse. En general “no se muestra el carácter tentativo de la ciencia, los errores que aparecen en el proceso de creación que genera las nuevas teorías científicas” (Solves & Traver, 1996, p. 105), y sin embargo, ese carácter tentativo es lo más cercano que los alumnos pueden asociar a su propia realidad como estudiantes.

### ***A hombros de gigantes***

Otro aspecto que se obvia en los textos y que podría ser útil resaltar es el de la importancia de los conocimientos previos, de la investigación previa para descubrir qué se sabe o qué se ha investigado ya y cómo sobre el tema en cuestión. Los grandes científicos no nacieron sabiendo, estudiaron con ahínco la ciencia propia de su tiempo y desarrollaron sus investigaciones a partir del conocimiento ajeno; hoy en día, en estos tiempos de globalización informática, la cantidad de publicaciones a disposición de los investigadores y el elevado número de grupos de investigación hacen más cierta que nunca la conocida cita de Bernardo de Chartres (atribuida a Newton) “somos como enanos a los hombros de gigantes” (John & McGarry, 1955, p. 163).

### ***Si no tienes una pregunta, ¿cómo hallarás respuestas?***

Como en el caso de Mpemba, todo empieza con una buena pregunta. En la forma en que se suele introducir la formulación de hipótesis, podría entenderse que surgen como consecuencia inmediata del proceso de observación, cuando en realidad son intentos de responder a una pregunta concreta, que en muchas ocasiones es lo más difícil de definir. Es complicado que los alumnos entiendan el concepto si perciben que deben dar una respuesta antes de conocer cuál es la pregunta, pues la indagación parte de “enunciar preguntas bien formuladas” y sólo creando una “rueda de preguntas” (Reiff, Harwood, & Phillipson, 2002) finalmente podemos abrir la puerta a proponer distintas hipótesis a modo de respuesta.

### ***La ciencia no es solo leyes y teorías***

También se puede interpretar que, dentro del esquema en que se presentan las distintas etapas del método, encontrar una ley o teoría es una finalidad irrevocable del proceso de

investigación, sin embargo, no sucede de ese modo en la realidad. El conocimiento científico ya no es una estructura granítica de leyes y teorías que bien se prueban o refutan, ahora “la visión de los científicos sobre el conocimiento (...) es probabilística y las leyes y teorías están sujetas a revisión a medida que se consideran nuevas evidencias” (Reiff et al., 2002, p. 560).

### ***¿Y si no sale “bien”?***

Esto nos lleva a la que figura como última etapa en muchos libros de texto: la publicación de resultados. Parece, según se describe, que solo se pueden publicar resultados favorables, nuevas leyes, descubrimientos sorprendentes... cuando una gran parte de los artículos publicados se limitan a reproducir otros experimentos, analizar otras publicaciones, refutar afirmaciones de otros grupos de investigación, cribar información disponible sobre determinado campo... ¿Qué hay de las hipótesis fallidas? También se publican los fallos, las carencias y las limitaciones de una investigación pues muchas veces a partir de ellos surgen nuevas ideas y descubrimientos; de hecho, aún hoy existe controversia respecto al Efecto Mpemba y en los últimos años se ha convertido en un tema candente.

### **Un extra de motivación.**

En la actualidad disponemos de numerosas estrategias didácticas para acercar, de modo transversal, la realidad de la investigación científica a los alumnos. Metodologías basadas en resolución de problemas (Brears, Tutor, Macintyre, Lecturer et al., 2011) o metodologías de indagación contienen de manera implícita la aplicación del método científico, y se han probado en general con éxito (aunque no exentas de cierta controversia) (Capps y Crawford, 2013) (Hung, 2011). Todas tienen la ventaja, cuanto menos teórica, de partir del propio método indagativo como metodología y, como cualquier metodología, ciertas dificultades en su desarrollo práctico.

Una de estas dificultades nace del nivel de implicación que estas metodologías exigen al alumno, en general bastante más alto que las exigencias de una enseñanza más tradicional; esto hace que, para sacar el máximo partido de estas estrategias de aprendizaje, se precise de una mayor motivación (Tuan, 2005) (Edelson, 1999). El factor motivacional es una piedra angular en el desarrollo del aprendizaje significativo (Ausubel, 2012), en concreto, atendiendo a la capacidad de hacer y hacerse preguntas, de mantener viva la curiosidad y utilizarla como motor de aprendizaje (Engel, 2011); nuestro conocimiento “depende de las preguntas que hacemos sobre el mundo” (Moreira, 2005), es, por lo tanto, fruto de un proceso activo. Los alumnos necesitan ejemplos como el de

Mpemba para no dejar de cuestionar y cuestionarse, para mantener viva la llama de la curiosidad.

### **4.3. Contar historias como recurso didáctico**

Contar historias ha sido y aún es una de las herramientas más potentes de aprendizaje en nuestra civilización. Solo en los últimos dos siglos la comunicación escrita y, más recientemente, la comunicación audiovisual, han rivalizado con las narraciones orales, la forma de comunicación y aprendizaje que nos ha acompañado desde los orígenes de nuestra especie; nuestros cerebros están, de algún modo, diseñados para entender el mundo a través de la narrativa, de las historias. Hay multitud de argumentos sólidos a favor de esta afirmación desde diversos ámbitos: antropología, psicología, pedagogía, sociología e incluso neurología.

Desde el punto de vista de la antropología, varios autores llegan a la misma conclusión, por mucho que puedan diferir sus argumentos; desde su poder práctico de abordar, transmitir y asimilar lo que no existe aquí y ahora (Harari, 2011), hasta su carácter de motor darwiniano para la evolución de nuestra especie (Boyd, 2009), podemos entender las historias como un vehículo de adquisición de datos relevantes más allá de nuestra experiencia personal. Nuestra capacidad de acumular vivencias, como individuos, es limitada, pero gracias a las historias que nos cuentan, podemos asimilar experiencias ajenas y guardarlas en la memoria de modo que podamos recurrir a ellas como si fueran personales. Las historias apelan a nuestras emociones y presentan figuras (héroes) con las que el oyente puede sentirse identificado; “sirven de inspiración y de motivación y nutren el espíritu y la mente del ser humano” (Allison & Goethals, 2016). La actividad cerebral que se produce al escucharlas hace que no las registremos como un evento más, sino que podamos guardarlas en un espacio privilegiado de nuestra memoria.

Si las historias son esenciales para el pensamiento, deberán serlo también para el aprendizaje. Desde nuestros tiempos de cazadores-recolectores, las historias y los contadores de historias han sido la forma predilecta de enseñanza, haciendo del “contador de historias” uno de los miembros más relevantes y apreciados de cualquier grupo (Smith et al., 2017). En el aula se puede comprobar cómo la atención de los alumnos es mucho mayor cuando se les cuentan anécdotas o historias que apoyen la lección; “una buena historia, si es entretenida, puede relajar a los oyentes, reducir el estrés y crear un sentido de comunidad (...) contar historias es un modo de crear sentido, significado” (Hadzigeorgiou, 2016, p. 92), es lo que podríamos llamar una “herramienta para el aprendizaje” (Egan, 1989) única con la que lograr resultados únicos. Según algunos

autores, “el impacto de una historia en la construcción de nuestro conocimiento es superior al de los principios abstractos por sí solos” (Schank & Berman, 2002)

¿De qué manera? Las historias apelan a nuestra imaginación, emociones e intelecto de una manera conjunta, facilitando la construcción de nuevas estructuras de pensamiento (Piaget, 1977); tienen, por lo tanto, un enorme valor para los procesos de enseñanza-aprendizaje. Incluso un crítico de las teorías de Piaget como Kieran Egan ha tratado extensamente la introducción de las historias en el aula (Egan, 1989, 1997, 2005; Egan & McEwan, 1995) poniendo sus teorías en práctica con el proyecto “Imaginative Education Research Group” (IERG) donde, desde el 2001 hasta el 2015, año de su fallecimiento, promovía el uso en el aula de “historias que han ayudado a gente a recordar cosas, haciendo el aprendizaje más atractivo” (Egan, 2015)

Todos estos argumentos vienen a ser confirmados por los últimos descubrimientos en neurociencia, área que ha experimentado una gran evolución gracias a los últimos avances informáticos y tecnológicos. Lo que revelan los estudios en la materia es extraordinario; en el año 2016 se publicó un estudio (Glasser et al., 2016) dentro del “Proyecto Conectoma Humano (HCP en inglés)” (National Institutes of Health, 2009) en el que desvelaban un sorprendente descubrimiento: hasta el año 2015, el mapa de regiones del cerebro – las distintas regiones corticales, clasificadas en función de su propósito – era de un total de 83 y el estudio del HCP aumentó ese número de regiones hasta un total de 180, sin poder especificar la funcionalidad de la mayor parte de ellas. Hay, sin embargo, una nueva región que sí consiguieron asociar a una actividad concreta: el área 55b, que se activa al escuchar historias.

La trascendencia de este descubrimiento es enorme: el cerebro es un órgano complejo y ninguna función de las que pueblan su superficie puede estar ahí si no es vital para nuestra supervivencia; se podría decir que nuestra genética considera que la importancia de escuchar historias es tan grande que se precisa disponer de un área específica en la corteza cerebral para coordinar esa actividad, aparentemente tan concreta – el Catedrático de Biología Celular José Ramón Alonso lo explica muy bien en esta charla (Alonso, 2017) y en esta entrevista (Alonso & Sanchez del Real, 2017) –. Escuchar historias (especialmente si la historia es buena y consigue engancharnos) genera, además, cambios bioquímicos en el cerebro, entre otros, un aumento en la dosis de oxitocina que segrega el oyente cuando empatiza con el relato que está escuchando. Los estudios al respecto conducidos por Paul J. Zak (Zak, 2015) indican que dicha hormona no solo se relaciona con la capacidad empática, sino que potencia la sensación de pertenencia a un grupo (Lee, Macbeth, Pagani, & Scott Young, 2009), estimula la confianza (Kosfeld, Heinrichs, Zak,

Fischbacher, & Fehr, 2005), la generosidad (Zak, Stanton, & Ahmadi, 2007) y puede influir en el comportamiento después de escuchar la historia fomentando conductas sociales positivas, reforzando la afectividad y propiciando sensaciones agradables. Escuchar historias es, por lo tanto, una actividad fundamental para el desarrollo de nuestra especie, desde el mismo centro de aquello que nos define: la mente.

#### 4.4. ¿Por qué, entonces, se congela antes el agua caliente?

Mpemba consiguió dar relevancia internacional (y nombre) a un fenómeno que, en realidad, no era del todo desconocido. Ya había sido evidenciado y discutido por Aristóteles (Aristoteles, 1951, p. 87), Descartes y Bacon (Auerbach, 1995), pero por lo visto nadie en toda la comunidad científica había considerado analizar el modo en que este fenómeno entraba en conflicto con las teorías existentes. No es extraño, ya que resulta profundamente contraintuitivo y, como veremos, muy complicado de explicar y demostrar. Desde el artículo de Mpemba y Osborne, se generó un gran interés por el fenómeno, que ha sido tratado desde distintos ángulos año tras año; la búsqueda de la causa en sí es casi más interesante que la explicación última del fenómeno, de modo que pasaré a relatar en orden cronológico la evolución de esta fascinante empresa.

##### **(1671) Newton**

Empecemos por el principio: la ley del enfriamiento de Newton establece que el ritmo al que un sistema pierde calor es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y su entorno. De ese modo, considerando  $T_e$  la temperatura del entorno y  $T$  la temperatura a la que está nuestro sistema de estudio, podemos ver que:

$$\frac{dT(t)}{dt} \propto (T - T_e) \quad (1)$$

Resolviendo esta ecuación, podemos establecer una relación entre el tiempo que tarda un sistema que parte de una temperatura  $T_0$  en alcanzar la temperatura  $T$ , en un entorno con  $T_e < T_0$ :

$$t = -\gamma \ln \frac{T - T_e}{T_0 - T_e} \quad (2)$$

Donde  $\gamma$  es una constante temporal.

Esta ecuación establece, de forma clara que, si la temperatura de partida  $T_0$  de un cuerpo es mayor, el tiempo en alcanzar la misma temperatura  $T$  deberá ser, por fuerza, también mayor. Imaginemos un caso en el que tenemos dos vasos de agua, a distintas

temperaturas iniciales ( $T_{01} = 370 \text{ K}$  y  $T_{02} = 293 \text{ K}$ ) en un mismo entorno a  $T_e = 265 \text{ K}$  y que queremos llevar a la temperatura de congelación  $T = 273 \text{ K}$ . Sustituyendo en la ecuación (2), obtenemos los siguientes valores para  $t_1$  y  $t_2$ :

1)  $T_{01} = 370 \text{ K} \rightarrow t_1 = 2,57 \text{ } \gamma$

2)  $T_{02} = 293 \text{ K} \rightarrow t_2 = 1,25 \text{ } \gamma$

Podemos ver cómo el tiempo que tarda en alcanzarse la temperatura de congelación del primer vaso debería ser aproximadamente el doble que el del segundo. Sin embargo, la ley del enfriamiento de Newton es una aproximación excesivamente sencilla para tratar de explicar un fenómeno complejo: implica “dos fenómenos muy distintos, emisión y absorción de radiación térmica y transferencia de calor por convección y conducción, que tienen distintas propiedades y obedecen a distintas leyes. Además (...) dependen fuertemente de las características de los materiales y situaciones” (Besson, 2012, p. 1105).

#### **(1969) Mpemba y Osborne**

Así pues, no es de extrañar que en el artículo original de Osborne y Mpemba no consiguieran llegar a una conclusión determinante ya que, según Osborne “la experimentación desarrollada era relativamente rudimentaria y varios factores podrían influir en los ritmos de enfriamiento” (Mpemba & Osborne, 1969). Consiguen, sin embargo, apuntar como posible causa a la creación de un gradiente térmico en el interior de los vasos debido a la convección producida por un ritmo de enfriamiento mucho más rápido en la superficie del líquido. Esto permite que la pérdida de calor en la superficie sea mucho mayor, por el efecto conjunto de la radiación y la evaporación, acelerando el proceso en muestras más calientes.

#### **(2012) Concurso de la Royal Society of Chemistry**

En los años posteriores, numerosas publicaciones trataron de profundizar en el problema, perfeccionando los métodos de experimentación y analizando otras posibles causas. Tal fue el interés suscitado por la pregunta de Mpemba que, en el año 2012, la Royal Society of Chemistry del Reino Unido (RSC) convocó un concurso premiado con 1000 libras a quien fuese capaz de presentar la explicación más original y científicamente válida al efecto Mpemba (Royal Society of Chemistry, 2013). El ganador del concurso fue Nikola Bregovic, con un artículo (Bregovic, 2012) en el que consideraba que el proceso de enfriamiento de la muestra más caliente hasta la temperatura de la muestra más fría, necesariamente debía cambiar algo en el sistema, para permitir que el enfriamiento posterior fuera distinto en ambas. Bregovic analizó la literatura existente hasta la fecha,

reduciendo a cuatro las posibles causas del efecto Mpemba, derivadas de los estudios conducidos por (Wojciechowski, Owczarek, & Bednarz, 1988), (Auerbach, 1995), (Thomas, 2007) y (Vynnycky & Mitchell, 2010):

- Evaporación del agua: se trata de la principal causa según Vynnycky, pero a Bregovic le parece poco probable, ya que la cantidad de agua que se evapora es demasiado reducida como para variar sensiblemente el tiempo de congelación y porque el calor de vaporización que se desprende de la muestra caliente sería el mismo que el de la muestra fría, una vez alcanzase su temperatura. Esta opinión era también mantenida por Thomas en su artículo anterior.
- Influencia de gases disueltos: El estudio de Wojciechowski sugería esta causa para explicar el efecto, que era también una conclusión de los experimentos de Thomas; sin embargo, no parece ser determinante ya que Auerbach ya decía en su estudio que “el agua desgasificada no permanece así”, la concentración de gas aumenta de forma natural durante el enfriamiento, incluso con la muestra en reposo; la solubilidad de un gas en un fluido es inversamente proporcional a la temperatura, y se trata, además, de un proceso exotérmico; al enfriarse, la muestra más caliente vería incrementada la densidad de aire disuelto, aumentando así la temperatura del sistema y yendo, por lo tanto, en contra del proceso de congelación.
- Convección inducida por el gradiente de temperaturas: Este efecto sí es relevante ya que la zona de la muestra caliente en contacto con el ambiente frío se enfriará rápidamente, creando un gradiente térmico entre el centro y el exterior de la muestra y, por lo tanto, causando un flujo convectivo hacia las paredes que permanecerá incluso cuando la muestra caliente alcance la temperatura de la fría. Es, según Bregovic, el fundamento principal para explicar el efecto Mpemba, en la línea de (Maciejewski, 1996), que ofrece una explicación mucho más detallada (aunque Bregovic no lo incluyera en su artículo).
- Superenfriamiento: Éste es un fenómeno que consiste en la capacidad de una sustancia de permanecer en estado líquido por debajo de su punto de congelación; en teoría, la muestra más fría podría congelar a temperaturas más bajas que la muestra caliente, ya que el superenfriamiento es más factible en descensos muy graduales de temperatura, aunque las condiciones para que se dé el superenfriamiento son muy diversas, tal y como reflejan los experimentos de Dorsey (Dorsey, 1948). El efecto fue estudiado por Auerbach y Thomas, llegando a conclusiones muy dispares, probablemente (según Bregovic) por tomar la temperatura de las muestras en las paredes y el centro de la muestra respectivamente. El proceso de congelación no es uniforme en un sistema, y para

que se formen los núcleos de cristalización es necesario que exista al menos algún superenfriamiento de manera local; la cristalización se produce en las paredes de las muestras antes que en su centro, por lo que es natural apreciar superenfriamiento en la periferia del sistema mientras el centro permanece a una temperatura constante de congelación a 273 K. De cualquier modo, tal y como ya describiera Dorsey, se trata de un fenómeno enormemente complejo y dependiente de una multitud de factores que varían en cada muestra individual, por lo que no es fácil asociarlo directamente con el efecto Mpemba.

### ***(2012-2015) Ecos del concurso***

A partir de este momento, varios estudios fueron tratando de encontrar la explicación definitiva al problema, que tomó una relevancia renovada tras el concurso de la RSC, analizando el rompecabezas de la congelación desde muy distintos frentes: algunos se centraron en el superenfriamiento (Vynnycky & Kimura, 2015) (Tan, 2015) para evaluar exactamente el grado en el que este fenómeno influía en el proceso, otros directamente apuntaron a explicaciones desde el punto de vista molecular, añadiendo al superenfriamiento el papel de los enlaces de hidrógeno entre moléculas (Huang, Ma, & Sun, 2013; Zhang, Huang, Ma, & Sun, 2013) o incluso comportamientos anómalos de los enlaces hidrógeno-oxígeno (Huang et al., 2013). Era evidente el interés que suscitaba en parte de la comunidad científica; un problema sin resolver es como un picor en una zona inaccesible de la espalda para un científico.

### ***(2016) Nature zanja la cuestión... o no.***

De hecho, tanta fue la atención recibida por el fenómeno que, en 2016, dos investigadores llevaron a cabo una minuciosa investigación sobre los estudios publicados hasta la fecha, añadiendo experimentaciones propias, en un completísimo artículo publicado en Scientific Reports, de la prestigiosa Nature (Burrige & Linden, 2016) en el que, como un eco de los profesores de física de Mpemba, se negaba la existencia del fenómeno, calificando todos los estudios realizados hasta la fecha de poco rigurosos. Burrige y Linden denunciaban que ninguno de los experimentos realizados había tenido en cuenta factores tan importantes como las dimensiones y forma de los receptáculos para el agua, la composición o el tipo de agua empleado, la temperatura del laboratorio o incluso la técnica empleada para llevar las muestras al punto de congelación; según sus propios experimentos, una diferencia de menos de un centímetro en la posición de los sensores térmicos podía suponer la diferencia entre observar o no el efecto Mpemba, y que los márgenes de error eran superiores a las diferencias entre los puntos de congelación de las muestras calientes y frías.

Sin embargo, como pudo decir Galileo, “*eppur si muove*” y la evidencia objetiva de lo que Aristóteles, Descartes, Bacon y Mpemba registraron con sus propios ojos no puede ser rechazado. El “truco” en el que se apoya el estudio de Burridge y Linden, arrojando una desarmante cantidad de análisis teóricos, está en la forma en que deciden definir el Efecto Mpemba, considerando solo el enfriamiento hasta los 0,3 °C, alegando que el proceso de congelación es tan complejo que no se puede considerar como parte de los datos y obviando la pregunta inicial de Mpemba: “¿Por qué el agua caliente se congela antes que la fría?”. Katz, de hecho, escribió un artículo en respuesta a este “ataque” (Katz, 2017) en el que desmonta, no el impecable trabajo de Burridge y Linden, pero sí la forma en que dirige sus conclusiones a destruir el legado de Mpemba; Katz también tenía una teoría (Katz, 2009) basada en la presencia de solutos en las muestras que no había sido tomada en consideración. Estudios posteriores han seguido investigando el efecto, que no ha vuelto a cuestionarse desde entonces.

#### ***(2016 – actualidad) Más allá del agua.***

Más recientemente, el efecto Mpemba ha seguido dando que hablar... ya sea en el ámbito de la educación (Ibekwe & Cullerne, 2016), como en el de la investigación avanzada en distintos ámbitos más allá del agua: en la cristalización de poliláctidos (Hu et al., 2018) o en modelos computacionales de termodinámica del no-equilibrio (Lu & Raz, 2017) y fluidos granulares (Lasanta, Vega Reyes, Prados, & Santos, 2017) (éste último de un equipo de investigación español (Lasanta, 2017)), que llegan incluso a teorizar la existencia del “efecto Mpemba inverso”, en el que los sistemas podrían calentarse más rápidamente partiendo de temperaturas más bajas, con numerosas posibilidades técnicas.

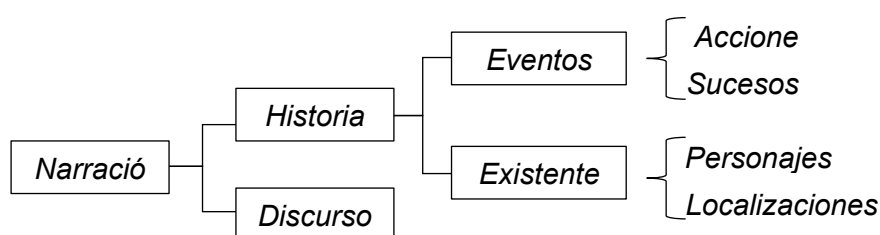
El año pasado, un científico griego consiguió dar un paso audaz y elegante para zanjarse el problema, en un artículo magnífico (Tyrovolas, 2019) en el que explica el fenómeno a partir de un concepto fundamental en termodinámica: la entropía.

Estoy seguro de que el efecto Mpemba no ha terminado su recorrido por las publicaciones científicas, pero, en todo caso, su descubrimiento y el modo en que se han desarrollado los intentos de explicarlo, son un ejemplo fantástico de método y cultura científica para traer a las aulas de ciencias en secundaria.

#### **4.5. Elementos clave de un relato como recurso didáctico**

Son numerosos los estudios sobre estructura en las historias, sobre los elementos que deben combinarse para conseguir crear un relato efectivo; desde que Aristóteles escribiera su célebre *Poética* (Aristóteles, 330 a.C.) varios autores han tratado de desentrañar las

claves de la historia perfecta. La forma en que se estructuran los relatos ha ido evolucionando, sobre todo gracias a la aparición de nuevas formas de comunicación audiovisual, pero la base sigue siendo fundamentalmente la misma; según Seymour Chatman, una de las figuras más significativas de la “narratología” americana en su rama más clásica, podemos identificar los componentes de un relato dividiéndolos en dos partes: en un lado, tendríamos la historia en sí misma, que incluye un contenido o cadena de eventos (acciones y sucesos), y en el otro, la forma en que esa historia es contada en términos de estilo, es decir, un discurso. En resumen, “la historia es el *qué* en una narrativa que se dibuja, y el discurso es el *cómo*” (Chatman, 1980, p.19)



(Chatman, 1980, p. 19)

El discurso que se propone en este trabajo es de naturaleza oral, acompañado de elementos audiovisuales que sirvan para potenciar sus efectos de cara al aprendizaje (Kalyuga, 2012). Respecto a la historia, se pueden identificar varios elementos clave para la relevancia del relato:

- El héroe: Todos podemos hacernos una idea de cómo es un personaje al que calificamos como un “héroe”; en términos generales se trata de personajes que encarnan ciertas virtudes que consideramos ejemplares, cualidades que les permiten vencer la adversidad y servir de inspiración (Goethals & Allison, 2012). En esta historia, Mpemba es ejemplo de constancia, ética, resistencia y tenacidad.
- El marginado: Nuestro héroe es, además, un marginado (underdog) que sufre bullying, que piensa de forma distinta y es rechazado sistemáticamente por sus compañeros, con lo que es fácil que el oyente pueda empatizar con sus vivencias (Allison & Burnette, 2009), especialmente en nuestro caso, con un auditorio que tiene muchas cosas en común con él (edad, estudios,...)
- Los antihéroes: Representan una inversión de los valores del héroe y otra oportunidad para ensalzar sus valores (Verano, 2013), son su opuesto y, por lo tanto, enfatizan sus valores por oposición. Las buenas historias, especialmente si queremos usarlas de modo didáctico, deben ser presentadas en términos de

“opositores binarios” (Egan, 1989) (bueno/malo, generoso/miserable, correcto / incorrecto, ...), opositores que pueden venir encarnados en personajes concretos. En nuestro caso, el dogmatismo de la comunidad científica, el peso de la historia y la costumbre, la autoridad escolar, la opresión al libre pensamiento vienen encarnados en las figuras del profesor y los compañeros de Mpemba.

- Pathos (πάθος): En su obra Retórica, Aristóteles definía el “pathos” como el “uso de sentimientos humanos para afectar el juicio del jurado” (Aristóteles, n.d. / 2019, libro 1, 1356a), es el conjunto de calamidades que le suceden a un personaje y que estimulan la compasión de la audiencia. Mpemba es ridiculizado sistemáticamente por figuras de autoridad y compañeros, que acuñan el término “ciencia de Mpemba” para referirse a cualquier error que alguien pueda cometer en la escuela.
- El éxito: “Los logros heroicos de un marginado nos inspiran y resuenan con la esperanza de que el mundo sea un lugar justo donde todos tengamos potencial para el éxito” (Allison & Burnette, 2009). El triunfo de Mpemba, especialmente tras su *pathos* particular, permite en los oyentes sentir que el esfuerzo y la tenacidad tienen su recompensa, accesible a cualquiera que luche por conseguirla.

## 5. OBJETIVOS

Objetivo principal:

- Diseñar una actividad a partir de un texto dramático que promueva la curiosidad y la percepción de autoeficacia científica en alumnos y alumnas de secundaria.

Objetivos secundarios:

- Promover el teatro y la transmisión oral de historias como recursos didácticos.
- Aportar a los alumnos una visión cercana y realista de la naturaleza de la ciencia y su método.
- Asociar de modo transversal, mediante el relato, competencias cívicas a las competencias científicas.
- Introducir conceptos propios de la termodinámica de un modo divulgativo y cercano.

## 6. METODOLOGÍA

Crear una propuesta dramatúrgica como recurso didáctico implica una serie de pasos que se desglosan en esta sección: empezando por la elección justificada de la historia (sección 6.1), es preciso estructurar el relato (sección 6.2) y realizar un análisis y diseño de

localizaciones (sección 6.3), personajes (sección 6.4), escenografía (sección 6.5) espacio sonoro y visual (sección 6.6), ... hasta llegar a la última etapa de presentación al público. Finalmente, ya que se trata de una propuesta didáctica, es necesario disponer una posible herramienta de evaluación con la que analizar su efectividad, una vez implementada (sección 6.7).

### **6.1. Elegir la historia**

Como ya se ha discutido, los procesos de creación rara vez se producen de forma lineal – ni en el mundo de las ciencias ni el del arte – por ello, tal vez sea relevante comenzar por el principio. La historia de Mpemba no fue la primera opción contemplada para llevar a cabo esta actividad, y analizar los motivos por los que terminó siendo elegida permiten extraer una valiosa información sobre el proceso de elaboración de un texto dramático con fines didácticos.

En general, elegir una historia implica tener en cuenta varios factores:

- a) Lo que queremos contar.
- b) A quién se lo queremos contar.
- c) De qué recursos disponemos para contarlo.
- d) La duración/extensión que debe tener

Estos factores pueden analizarse por separado, pero deben ser tenidos en cuenta como conjunto a la hora de dramatizar el relato; el tipo de lenguaje dependerá del auditorio al que esté dirigido, así como los elementos de la historia que decidamos priorizar, pero los límites en la duración y recursos marcarán lo que puede y no hacerse. Deberíamos, no obstante, ser capaces de transmitir la historia con un mínimo de recursos que se puedan ir aumentando en función de las posibilidades, pero de modo que sea sólida por sí misma. Para conseguir esto, lo fundamental es escoger una buena historia, a ser posible, que nos toque de un modo personal.

En un principio se planteó utilizar la historia de cómo la ciencia se enfrentó al dilema de la luz, especialmente en la época dorada de la óptica y el método científico, con Newton y Hooke como adversarios, y en el modo en que la dualidad onda/corpúsculo ha ido evolucionando en el tiempo. Hay algo fascinante en el modo en que lo que vemos y cómo lo vemos nos define como especie, además de ser una historia en torno al nacimiento del método científico tal y como se imparte en la mayoría de los centros. Es, sin duda una muy buena historia, pero, tras evaluar las posibilidades narrativas y escénicas de la propuesta, a priori tan atractiva, desde la divulgación (Martínez-Ron, 2016) (González-Marhuenda,

2018) y la didáctica (Marcos, 2007) (Galili, 2008), se encontraron ciertos factores limitantes que la historia de Mpemba permitía soslayar:

- En toda la “historia de la luz” es difícil seleccionar una historia sencilla que transmitir sin llevar a cabo experimentos de óptica y que, al mismo tiempo, sea trascendente y enganche al espectador. “Lo que queremos contar” en este caso no tiene que ver con óptica o termodinámica sino con el modo en que la ciencia trata de responder las preguntas. No necesitamos reproducir el experimento de Mpemba (de hecho, es muy positivo generar la curiosidad de querer probarlo en casa), sin embargo, en la mayor parte de los centros es complicado contar con condiciones de luz apropiadas para llevar a cabo demostraciones ópticas.
- Las necesidades tecnológicas que pudieran suplir las carencias experimentales (p. ej. proyectores, pantallas...) pueden limitar mucho los centros y espacios en los que la propuesta pudiera ser llevada a cabo.
- Es más sencillo que los alumnos se identifiquen con un protagonista de su edad y condición que con figuras tan mitificadas e inaccesibles como Newton, Hooke o Einstein sin hacer un profundo trabajo previo con los personajes. Se puede crear un vínculo mostrando a estos próceres del conocimiento de un modo más cercano, pero la duración de la propuesta no permite hacerlo de forma adecuada y Mpemba, como personaje dramático, no requiere trabajo previo.

Teniendo en mente, que el auditorio está formado por estudiantes de instituto (de 12 a 18 años), que la propuesta debía tener una duración ideal en torno a media hora y que debía contarse con el menor número de recursos posible, se decidió descartar el borrador elaborado sobre la historia de la luz en favor de la historia de Mpemba.

## **6.2. Estructurar el relato**

Tal y como decía Chatman, los relatos pueden estructurarse distinguiendo entre sucesos y acciones, lo cual es muy práctico para elaborar un texto ya que diferencia entre las cosas que suceden “a los personajes” o “desde los personajes” (Chatman, 1980). Considerar quién participa de cada uno de estos sucesos o acciones, y en qué espacio, también son claves para la escritura, por lo que conviene detallarlos de manera estructurada. Se puede ver una estructura de la historia de Mpemba en el anexo (1).

Sin embargo, una historia no supone un simple relato de los hechos, es preciso priorizarlos y estructurarlos en función de lo que se quiere contar. Se pretende transmitir tres mensajes fundamentales:

- La curiosidad es una herramienta poderosa.
- La ciencia es accesible a cualquier persona dispuesta a esforzarse.
- El espíritu científico es contrario a la discriminación.

Con esto en mente, se puede dividir la historia en tres grandes bloques de “introducción / nudo / desenlace”:

- **INTRODUCCIÓN:** Se podría empezar hablando de quién es Mpemba, de cómo es Tanzania, pero eso no es lo que capta la atención de este relato así que es preciso dejarlo para después. La protagonista, en realidad, es curiosidad, en forma de pregunta: ¿por qué se congela antes el agua caliente que el agua fría? y la introducción debe ser escrita teniendo esto en mente. Todo lo que llevó a Mpemba a formular esa pregunta y la reacción inicial de su maestro conforman nuestra introducción.
- **NUDO:** El momento álgido de la historia, hacia el que debe ir dirigido todo el bloque anterior; representa el punto de mayor conflicto para el héroe de la historia. Es fácil ver cómo el periodo del instituto conforma el bloque central del relato: comienza con la pregunta a su profesor de física, tiene la tensión máxima con el bullying de sus compañeros que va creciendo hasta que se formula la pregunta de nuevo en la conferencia de Osborne... no sabemos qué va a suceder, cómo se va a resolver el conflicto.
- **DESENLACE:** Al llegar al final, deshacemos la tensión y disfrutamos de la cosecha, del premio a la constancia, tesón y ética de Mpemba, y desvelamos (o no) la respuesta a la pregunta de Mpemba, cerrando el círculo.

### **6.3. Localizaciones**

En esta historia hay varias localizaciones, como se ha visto en la estructura del <Anexo> que deben ser tenidas en cuenta para transportar al espectador de un lugar a otro.

Los distintos lugares por los que transcurre la historia son los siguientes:

*Escuela secundaria de Magamba (Tanzania) → Cocina de la escuela → Clase de secundaria → Tanga (playa de Tanzania) → Instituto de Mkwawa → Aula de Ciencias → Cocina del instituto → Laboratorio del instituto → Universidad de Dar es Salaam (capital de Tanzania) → Laboratorio de la Universidad → El mundo*

Un primer vistazo ya permite hacer una criba práctica de localizaciones. No es necesario crear una “escenografía” distinta para definir cada una de ellas, el espectador

está preparado para sentirse en un lugar nuevo con unas cuantas pistas visuales (elementos o personajes distintos), auditivas (una música o efecto de sonido) o narrativas (contamos cómo nos trasladamos a otro sitio). Ciertos lugares como los laboratorios pueden ser descritos muy fácilmente por lo que hacen los personajes en su interior: un personaje que viste una simple bata de trabajo ya sugiere un laboratorio y la presencia de un profesor ya nos transporta a un aula; una cocina puede ser descrita simplemente por el elemento que nos interesa de su interior: el congelador, pero hablaremos de ello más adelante porque es un elemento fundamental de escenografía.

Finalmente, se optó por utilizar una estructura cíclica para el recorrido de localizaciones; empezamos y terminamos “aquí y ahora”, según se muestra en la tabla 2:

Tabla 2. *Relación de localizaciones con elementos escenográficos*

Localización	Elemento
El mundo	Ninguno
Tanzania	Música africana
Escuela secundaria de Magamba	Maletín de estudiante
Playa de Tanga	Música playera
Instituto de Mkwawa	Carpeta con pegatinas
Universidad de Dar es Salaam	Música gaudeamus / Orla
El mundo	Ninguno

#### 6.4. Los personajes

Respecto a los distintos personajes que aparecen en el relato, se presentaban varias opciones: incluir más gente en el proyecto o tratar de encontrar una manera de personificarlos todos con un solo actor. Dada la necesidad de desarrollar el proyecto desde la simplicidad y la economía de recursos, se optó por buscar alguna manera ingeniosa de caracterizar a todos los personajes del relato desde la técnica del bululú – según la Real Academia Española, “comediante que representaba obras él solo, mudando la voz según la condición de los personajes que interpretaba.” (RAE, 2020) – y el empleo de teatro de objetos (convertir unas cuantas cucharas en un ejército o un vaso de precipitados en un becario de laboratorio)

La unión de estos dos recursos permitía solventar el problema de los diálogos, tan complicados de hacer con un solo actor. Ahora bien, ¿cómo dividir y caracterizar los distintos personajes?

Podemos identificar en la historia tres grandes grupos:

- Mpemba
- Otros personajes individuales (Osborne, Maestro, Profesor, Heladero, ...)

- Personajes colectivos (Compañeros de Mpemba, Opinión pública, Académicos, ...)

El personaje de Mpemba es el principal, necesita una entidad propia que no se vea mezclada con la de ningún otro personaje. Además, el resto de personajes individuales que aparecen en el relato son adultos por lo que se puede crear un títere para Mpemba, cambiar elementos de vestuario y voz para caracterizar el resto de los personajes individuales y los personajes colectivos representarlos con objetos o grupos de objetos y efectos de sonido.

La cabeza y manos del títere fueron realizados en papel maché, con estructura de poliespán tallado a mano (véase figura 1). Para el cuerpo se usó ropa de bebé rellena de algodón. Posteriormente se realizaron los acabados con un envejecido al betún de judea y diseño del vestuario con telas rústicas de escay y arpillera. Se buscaba un efecto rústico de conjunto para potenciar su carácter de marginado.



Figura 1: Proceso de talla y acabado del títere de Mpemba

Los otros personajes individuales debían llevar elementos de caracterización propios que apoyaran visualmente cada una de las transformaciones. Los distintos elementos se asocian a cada personaje tal y como se refleja en la tabla 3.

Tabla 3. Relación de elementos escenográficos y vocales asociados a cada personaje

Personaje	Elemento	Voz
Narrador	Ninguno	Natural
Doctor Osborne	Bata de laboratorio	Ligero acento inglés
Maestro de secundaria	Nariz de broma	Envejecida y veloz
Heladero de la playa	Camisa hawaiana	Acento rústico
Profesor de física	Gafas de pasta	Incisiva y prepotente
Ayudante de Osborne	Teléfono	Grabación

Los personajes colectivos tienen apariciones puntuales, como refuerzo y gag cómico. Por eso están tratados desde el sonido, a la manera y estilo de las “risas enlatadas”. Para la edición se utilizó el programa Adobe Audition, junto con bancos de sonido con licencia gratuita extraídos de Freesound.org (Font et al., 2005). Hay detalles sobre los derechos de uso del material audiovisual en la sección 6.7

### 6.5. Recursos escenográficos y de utilería

Éste es uno de los apartados que más limita la propuesta de cara a representarla en diversos espacios, por ello han sido restringidos al mínimo. Es cierto, no obstante, que en la mayor parte de los centros escolares de secundaria existe la posibilidad de proyectar en pizarras o pantallas, con lo que fue tomado en cuenta para clarificar las partes más teóricas del contenido en la última parte.

Como se puede ver en la figura 2, se han elaborado una serie de diapositivas, animadas al estilo de los videos explicativos de Youtube, con efectos de sonido y movimientos sencillos. El diseño se realizó buscando cierto humor, como recurso para no perder la atención en esta parte de la historia. Puede verse una secuencia de las animaciones en el siguiente enlace: [Animación de diapositivas \(enlace a YouTube\)](#).

En cuanto a la utilería, el principal elemento es el del congelador, central en toda la historia. Se realizó utilizando una caja de poliestirano a la que se añadieron bisagras y dos termómetros que permitieran ilustrar las variaciones de temperaturas de las muestras que se colocan en el interior en todo momento: bandejas de helado, vasos de agua corrientes, vasos de precipitados, matraces... a lo largo del relato se realizan cuatro experimentos, y cada uno de ellos debía tener asociados distintos recipientes. El resto, tal y como se ve en la Tabla 4, lo componen un maletín de escolar, una carpeta, un busto de Newton y un pequeño pedestal.

Tabla 4. *Listado de elementos escenográficos*

Maletín escolar	Carpeta instituto	Busto de Newton	Pedestal
Confetti	Termómetros	Bandejas de helado	Vasos corrientes
V. de precipitados	Matraces	Teléfono	Nevera

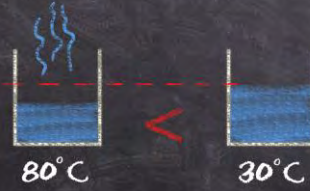
# MPEMBA Y EL MÉTODO CIENTÍFICO

1

¿POR QUE EL AGUA CALIENTE SE CONGELA ANTES QUE LA FRIA?

2

¿EN QUE CAMBIA QUE EL AGUA ESTE CALIENTE?



3

HIPO TESIS



4

VARIABLES



5

VARIABLES



6

BIBLIOTECA



7

Hipótesis

Se evapora más cantidad de líquido

Aparecen corrientes de convección



Tiene más gases disueltos

8

CONVECCIÓN



9

10



Figura 2: Muestra de imágenes extraídas de las diapositivas animadas

### 6.6. Imágenes, sonidos, música y copyright

Es fundamental, siempre que se recurre a elementos audiovisuales, asegurarse de disponer de todos los derechos de copyright asociados. En este trabajo se han utilizado diversos recursos de imágenes, pistas de audio y sonidos.

Todos los sonidos se han obtenido de fuentes de recursos con libertad de derechos como donaciones de dominio público, licencia CC0 de Creative Commons (Figura 3), obtenidas de Freesound.org (Font et al., 2005), al igual que las imágenes, de elaboración propia o localizadas a través del buscador Google con opción de búsqueda avanzada a imágenes con derechos de uso también de licencia CC0.



Figura 3: *Etiqueta asociada con la licencia CC0 de Creative Commons.* (Creative Commons Foundation, 2020)

Las pistas de música se han obtenido de las siguientes fuentes: Fesliyan Studios Free Background Music (Fesliyan Studios, 2020) y Free Music Archive (FMA) (Tribe of Noise, 2020). Hay una lista de los temas y autores en la sección de anexos 11.2.

Para la edición de imágenes, audio y diapositivas se han utilizado las herramientas de software que aparecen en la figura 4: Microsoft PowerPoint 365 ProPlus, Adobe Photoshop CS 5.5 y Adobe Audition CS 5.5.



Figura 4: *Herramientas de software utilizadas en la elaboración del material audiovisual*

### 6.7. Pre-test y post-test

Se ha confeccionado un pequeño test, presentado en la figura 5, para pasar a los alumnos/as antes y después del relato, con la intención de ver si se produce algún cambio en las respuestas. Las preguntas están diseñadas para evaluar distintos aspectos del

mundo de la ciencia y el método científico que se tratan en la historia y que, como ya se ha discutido suelen ser problemáticas. Las preguntas pretenden analizar los siguientes aspectos:

- 1) Conocimientos sobre el espíritu del método científico.
- 2) Importancia de la alfabetización científica en la población.
- 3) Imagen de los científicos/as
- 4) Percepción de autoeficacia científica
- 5) Diferencia entre ciencia real y ciencia escolar.

TEST PREVIO. MÉTODO CIENTÍFICO			
DATOS ANÓNIMOS	Género		Curso
	Hombre	Mujer	
<p><b>Responde a las siguientes preguntas según tu propia opinión. Recuerda que, como no es un examen, no hay respuestas correctas o incorrectas.</b></p>			
<p><b>1) De estas frases, ¿cuál crees que se ajusta más al espíritu del método científico?</b></p> <p>a) Si no se usa un laboratorio, no es científico.</p> <p>b) Hay que probar distintas respuestas a una pregunta, aprendiendo poco a poco de cada error.</p> <p>c) Las leyes de la física y la química no pueden cambiarse.</p>			
<p><b>2) ¿Quién debería saber ciencia?</b></p> <p>a) Todo el mundo.</p> <p>b) Solo los científicos.</p> <p>c) Todo el mundo, aunque sólo unas pocas personas pueden entenderla.</p>			
<p><b>3) De esta lista elige, en orden de importancia (de mayor a menor), tres cualidades que consideras esenciales en una persona dedicada a la ciencia:</b></p> <p><i>Ambición / Curiosidad / Personalidad excéntrica / Honestidad / Creatividad / Paciencia / Inteligencia / Timidez / Fuerza de voluntad / Disciplina / Humildad</i></p> <p>Tu elección:</p>			
<p><b>4) ¿Te crees capaz de realizar una investigación científica?</b></p> <p><input type="checkbox"/> SI</p> <p><input type="checkbox"/> NO</p> <p><input type="checkbox"/> PUEDE</p> <p>¿Por qué?</p>			
<p><b>5) ¿Qué te da más pereza del mundo de la ciencia?</b></p> <p>a) Las matemáticas</p> <p>b) Entender las teorías y leyes</p> <p>c) Lo alejada que está del mundo real.</p> <p>d) Nada, todo es cuestión de ponerse a ello.</p>			

*Figura 5: Pre-test y Post-test de evaluación para la actividad*

La actividad se ha planteado en tres partes: pretest, relato y debate libre, con un parte extra (opcional) en la que los alumnos pueden colgar sus preguntas en un foro online, para tratar de encontrar respuestas. Sería deseable repetir el test pasado un tiempo para evaluar posibles cambios en las respuestas.

## 7. RESULTADOS

El cuerpo de la actividad docente propuesta lo constituye el texto de la historia a representar, siendo esta historia en sí misma el principal resultado de este trabajo. En la sección 7.1 se presenta el texto dramático elaborado, mientras que la sección 7.2 ofrece una versión radiofónica, grabado a modo de podcast. Se incluye también la parte final de la propuesta, optativa, de un foro de discusión en el que invitar a participar con sus preguntas a los alumnos en la sección 7.3

### MPEMBA CONTRA NEWTON

#### *“El poder de una pregunta”*

### 7.1 Texto de la representación

**NARRADOR:** Hola. Voy a contaros una historia que no mucha gente conoce, una historia pequeña con dos protagonistas. La primera es una protagonista inusual: una pregunta. Las preguntas tienen poder, mucho poder. Mucho más que las respuestas.

La humanidad es lo que es gracias al poder de las preguntas. Hay preguntas engañosamente simples como: “¿por qué bostezamos?”, que aún están tratando de resolver los expertos en neurociencia; otras, como “¿de qué va todo esto?” son mucho más complejas y llevan impulsando a la humanidad desde hace más de 300.000 años.

Desde el inicio de nuestra historia como seres pensantes, que se hacen preguntas, hemos ido resolviendo cada incógnita, obteniendo como recompensa algún avance tecnológico, social o filosófico... y otro manojito de preguntas. Viajamos arrastrados por el impulso de una inagotable curiosidad. Llevamos milenios respondiendo las preguntas más inverosímiles:

*<Entra sonido de voces preguntando>*

- *¿Por qué sopla el viento?*
- *¿Qué es el sol? ¿Y las estrellas? ¿... y por qué se mueven?*
- *¿De dónde vienen los bebés?*
- *¿A qué velocidad viaja la luz?*
- *¿Cómo surgió la vida?*
- *¿Por qué una bicapa de grafeno que forma un ángulo de precisamente 1,10 grados manifiesta propiedades superconductoras?*

Sí, a veces parece que las preguntas más elementales se nos agotan, y las preguntas que están aún huérfanas de respuesta son cada vez más y más complejas. Cuando estudiamos ciencia, o simplemente si en algún momento cogemos un móvil, un mando a distancia o un microondas y nos paramos a reflexionar sobre todo el conocimiento que lleva su construcción, podría parecernos que las únicas preguntas por responder son aquellas que solo las grandes mentes pueden abordar.

Y sin embargo...

**MPEMBA:** ¿Por qué la leche caliente se congela antes que la fría?

**NARRADOR:** ¿Perdón?

**MPEMBA:** O el agua. Si coges dos recipientes, con igual volumen de agua, uno a 35 °C y otro a 100 °C, y pones ambos en el congelador, el que estaba a 100 °C se congela antes ¿por qué?

**NARRADOR:** Disculpad, creo que debería empezar por el principio. Como os dije, esta pequeña historia tiene dos protagonistas.

*<Se pone bata de Doctor Osborne>*

**OSBORNE:** Soy el doctor Denis Osborne, profesor de física y astronomía en el University College de Dar es Salaam, en Tanzania. El director del Instituto Mkwawa me invitó a dar una charla a los estudiantes de Física y Desarrollo Nacional. Hablé durante treinta minutos, pero las preguntas de los chicos se extendieron más de una hora. Había preguntas de todo tipo: sobre mi trabajo, sobre cómo acceder a la Universidad, incluso alguna sobre colapso gravitatorio en las estrellas. Fue entonces cuando, entre las risas de todos sus compañeros, un estudiante de gesto serio me hizo aquella pregunta:

**MPEMBA:** Si coges dos recipientes, con igual volumen de agua, uno a 35° C y otro a 100°C, y pones ambos en el congelador, el que estaba a 100 °C se congela antes ¿por qué?

**OSBORNE:** Me quedé de piedra. ¿Quién sería ese muchacho?

*<Música Tanzania>*

**MPEMBA:** Me llamo Mpemba. Erasto Mpemba; nací en 1950 en Magamba, Tanzania, y voy a hablaros de mi descubrimiento, que fue descubierto por usar mal el congelador. Ya sabéis que no es bueno meter cosas calientes en el congelador, que se peta, pero bueno, yo lo hice, perdón, y descubrí algo.

*<Baja el volumen de la música de Tanzania. Suena timbre de salida al recreo>*

A ver, yo estaba en 3º de la ESO, y no sé si lo sabréis, pero en Tanzania suele hacer MUCHO calor y por eso nos dejaban hacer helados en la escuela, para la hora del

recreo. Bueno, lo llamábamos helado, pero de helado tenía lo que yo de cantante de Eurovisión. Básicamente era hervir leche, echarle azúcar, esperar a que se enfriara y meterlo en el congelador. Súper helado. Éramos un montón esperando a usar el congelador, y tampoco había tanto hueco, y yo había llegado pronto, pero había un imbécil que, cuando me vio con la leche hirviendo, para no perder sitio, cogió su leche sin hervir, le puso el azúcar y la metió en el congelador con toda su jeta. Yo no iba a ser más imbécil que ese imbécil, así que en cuanto hirvió le puse el azúcar y sin esperar a que se enfriara, metí el cazo en el congelador, justo al lado del cazo del imbécil que, si no, me quedaba sin hueco, sin helado y con una cara de tonto que me iban a dar collejas hasta por correo... por imbécil. Cuando volvimos, a la hora y media, mi cazo se había congelado por completo mientras que el del imbécil no era más que aguachirri sin ningún sentido. Me quedé flipando. Era una cosa muy rara, así que me fui al profe de física y le dije: ¡Profe, profe, profe! <Fin música de Tanzania>

<El Narrador se pone una nariz de broma>

**MAESTRO:** ¿Qué pasa?

**MPEMBA:** ¿Por qué en un congelador se congela antes la leche hirviendo que la templada?

**MAESTRO:** ¿Qué tonterías dices? Pero cómo se va a congelar antes si está más caliente...

**MPEMBA:** Pues es que...

**MAESTRO:** ¡Más caliente! Tiene que pasar más tiempo para que se enfríe.

**MPEMBA:** Ya, pero, mire...

**MAESTRO:** ¡Que no! Que no puede ocurrir.

**MPEMBA:** Pero si yo...

**PROFE:** ¿Llamo a tus padres o qué?

**MPEMBA:** No, pero es que...

**PROFE:** Que les llamo...

**MPEMBA:** Que no, que no, que ya me callo.

**PROFE:** Muy bien. Pesao.

<Narrador se quita la nariz>

**MPEMBA:** Y ya no le di muchas más vueltas, y a lo tonto a lo tonto, llegó el verano.

<Música de playa>

Me encontré con un amigo que trabaja de cocinero en la costa, en Tanga – que si en mi pueblo hace calor, imagínate en Tanga – y solía hacer helados para sacarse unas pelás extra. Le pregunté si le llevaba mucho tiempo preparar los helados – que ya estaba yo deseando sacarme también unas pelás en mi pueblo – y me dijo:

**COCINERO:** ¿Mucho tiempo? Ná... hiervo leche, le pongo azúcar y un poco de piña machacá, lo meto así, en caliente, en el congelador, y en seguida está hecho.

**MPEMBA:** ¿Lo metes en el congelador caliente? ¿Quién te dio la idea?

**COCINERO:** Mi hermano, que lleva en el negocio más de cinco años. Pero, vamos, que ahí el truco se lo sabe casi todo el mundo.

**MPEMBA:** Ya veis, parece que no estoy loco.

*<Fin música de Playa. Música de Instituto. Sonido de alumnos metiendo bulla>*

Total, que un par de años más tarde, pasé el examen para entrar en el bachillerato y llegué al Instituto Mkwawa, en Iringa.

*<Va bajando la música>*

Yo ya no pensaba mucho en lo del agua caliente, tengo una vida, ¿sabéis? Pero en el primer curso, en la clase de física, estábamos dando termodinámica, y los procesos de transferencia de calor... y claro, venía a huevo. Nuestro profesor nos estaba explicando la Ley del enfriamiento de Newton.

**PROFESOR DE FÍSICA:** La tasa de pérdida de calor de un cuerpo es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y sus alrededores.

**MPEMBA:** ¡Profe! ¿Entonces, es por eso que si metes leche hirviendo en un congelador, se congela antes que la leche tibia?

**PROFESOR:** ¿Qué? ¡No! Eso no puede suceder de ningún modo.

**MPEMBA:** ¿Seguro? Que yo lo he visto...

**PROFESOR:** Me da igual. A ver, atended todos a la voz del insigne Sir Isaac Newton, hablando por la mía propia: si metes leche a 100°C, su temperatura descenderá muy rápidamente hasta los 35°C, pero a partir de ahí, seguirá enfriándose igual de rápido que la que metas ya a esa temperatura. Es decir, que tarda lo mismo que la leche tibia más el tiempo que tarda en volverse tibia. – Esta explicación la he clavado, les he dejado flipando, soy un genio –

**MPEMBA:** Ya, pero es que yo he visto que...

**PROFESOR:** ¿Me vas a decir que sabes más que Newton?

*<El Profesor saca un busto de Newton y lo coloca sobre un pequeño pedestal>*

**MPEMBA:** No, pero, a ver, si me deja explicarle...

**PROFESOR:** ¡Newton! El padre del método científico.

*<El Profesor comienza a subir el pedestal>*

**MPEMBA:** Pero...

*<El Profesor sube el pedestal hasta donde llegan sus brazos>*

**PROFESOR:** ¡El inventor del cálculo infinitesimal! ¡Descubridor de la ley de la Gravitación Universal! ¡De la óptica, la termodinámica, la astronomía!

**MPEMBA:** Si no digo yo que no, que solo digo que...

**PROFESOR:** ¡Las leyes de la dinámica! *<Suena fanfarria gloriosa>*

**MPEMBA:** ¡Que yo lo he visto con mis propios ojos! Se congela antes.

*(Pequeña pausa, tensión)*

**PROFESOR:** Queridos alumnos, lo único que puedo decir es que eso sucede en la física de Mpemba, que estará muy bien, pero aquí estudiamos la física universal. La de Newton. Oé.

*<Risas de lata>*

**MPEMBA:** Maldita sea la hora en que se me ocurrió preguntar. Desde ese día, ya nadie dejó de meterse conmigo en el instituto. Cada vez que metía la pata con algo, era “física de Mpemba” o “química de Mpemba”, “logaritmos de Mpemba” ... incluso si alguien tropezaba y se abría la cabeza era “educación física de Mpemba”. Me convertí en un apestado. Pero yo no me rendí: física de Mpemba o no, la realidad es la realidad, y nadie podía decirme que no había visto y comprobado lo que había visto y comprobado.

Una tarde pillé abierto el laboratorio de biología, y no había nadie vigilando, así que cogí dos recipientes de 50 cm<sup>3</sup> y llené uno con agua del grifo fría y otro con agua caliente. Volví a la hora y comprobé cómo, aunque no se habían congelado por completo, en el que había agua caliente se había formado una capa de hielo mucho más gruesa que en el otro. El resultado era prometedor, pero no concluyente. Decidí probar de nuevo en cuanto tuviera ocasión.

Ahí fue cuando llegó el Doctor Osborne y le hice la pregunta.

**OSBORNE:** Mi primera reacción fue pensar que se equivocaba, pero por suerte recordé que ninguna pregunta debería ser considerada ridícula. En este caso había además un elemento de precaución añadido, porque los fenómenos cotidianos rara vez son tan simples como parecen y es peligroso apresurarse a juzgar lo que puede y no puede ser.

*(A Mpemba) ¿Te importaría repetirme la pregunta?*

**MPEMBA:** Que por qué se congela antes el agua recién hervida que el agua a temperatura ambiente. Si metes dos frascos en el congelador, uno humeando, recién hervido, y otro directamente del grifo, el que está más caliente se congela mucho antes.

**OSBORNE:** Bueno... lo cierto es que lo que me cuentas contradice la física que conozco; por lo que yo sé, no debería suceder lo que me dices. ¿Lo has comprobado?

**MPEMBA:** Sí, varias veces.

**OSBORNE:** Entonces te diré que aún no puedo responderte, pero lo comprobaré en cuanto vuelva a la universidad. Te escribiré una respuesta en cuanto pueda.

**MPEMBA:** Vale, gracias.

**OSBORNE:** Volví a la Universidad, dispuesto a cumplir mi promesa. Había algo en ese muchacho que despertó mi entusiasmo; lo cierto es que su historia era fascinante.

**MPEMBA:** Aquí todo el mundo se rio y mis compañeros empezaron a avasallarme diciendo que le había querido poner en ridículo y que qué me creía. Otro me preguntó que si no había entendido la ley del enfriamiento de Newton y yo le dije que sí, que saqué un nueve, pero que la teoría no concuerda con la práctica. Y me dijeron: "claro, porque es física de Mpemba".

Total, que le pregunté al jefe de cocinas si me dejaba usar el congelador para un pequeño experimento. Y me lo dejó... una semana entera, un congelador entero. Primero probé yo solo, por si se reían de mí... otra vez, y funcionó. El agua caliente se congelaba antes que el agua fría. Luego traje a unos compañeros, de testigos; volvió a funcionar... y me dijeron que eran resultados de Mpemba. Se lo dije al director del departamento de física y me dijo que no debería suceder, que estaba haciendo algo mal. Me dio igual, el profesor Osborne me había escuchado y no se había reído, y mi pregunta no es estúpida, es lo que veo, es la verdad, y necesito encontrar una respuesta. Él seguro que está buscándola ahora mismo.

**OSBORNE:** Efectivamente, en eso me encontraba. Al principio no le di mucha importancia; le dije a un becario que lo comprobase y me olvidé del asunto. Al día siguiente vino a verme:

*<Osborne llama por teléfono a su ayudante>*

¿Qué tal, lo comprobaste?

**AYUDANTE (voz grabada):** Sí. El muchacho tiene razón. El agua caliente se ha congelado antes, pero no se preocupe, seguiré repitiendo el experimento hasta que obtenga el resultado correcto.

**OSBORNE:** ¿El resultado correcto? ¿Cuál es el resultado correcto?

**AYUDANTE** (*voz grabada*): Pues lo lógico, que el agua fría se congele antes. ¿No?

**OSBORNE**: No obtuvimos nunca un resultado “correcto”. Newton, en este caso, no parecía tener razón. Habían pasado 250 años y parecía que a nadie se le había ocurrido plantearse por qué sucedía esto.

**MPEMBA**: ¡Toma ya, premio! <Música Gaudeamus> El día que recibí la carta del Doctor Osborne invitándome a ir a la Universidad, a la capital, fue uno de los más felices de mi vida. ¡Quería que trabajase con él! ¡En un laboratorio de verdad! ¡Doctor! Venga, vamos a ponernos a trabajar, ¿dónde tiene los congeladores aquí? ¿Y los vasos? ¡No! ¡Las probetas! ¡Vamos a usar probetas!

**OSBORNE**: No. Nada de eso.

**MPEMBA**: Vaaaaa, venga.

**OSBORNE**: Eso, después. ¿Quieres saber por qué el agua caliente se congela antes que la fría?

**MPEMBA**: ¡Claro!

<Proyecciones método científico>

**OSBORNE**: Entonces, el primer material que tenemos que usar es éste: el cerebro. Pensemos.

<Diapositiva 1> Debe haber algo que hace que el agua caliente sea distinta de la fría, algo que hace que se congele antes.

**MPEMBA**: La temperatura...

**OSBORNE**: Si fuera solo eso, y Newton hubiera estado equivocado 250 años, alguien lo habría notado. No, empecemos por asumir que nuestra termodinámica actual en general funciona. Normalmente en la ciencia no tenemos demasiados recursos, así que debemos tratar de buscar soluciones empezando por lo más sencillo y, si no encontramos respuesta, ir haciendo más grande el problema. Vamos a concretar la pregunta de forma más práctica  
<Diapositiva 2>

Así. ¿Qué tiene el agua caliente de especial?

**MPEMBA**: No sé... Mmmmmh... lo primero que se me viene a la cabeza al pensar en agua caliente es que humea, sale vapor.

**OSBORNE**: ¡Excelente! Esa es una diferencia.

<Diapositiva 2 (bis)>

**MPEMBA:** A lo mejor, como desprende vapor, va perdiendo masa y al final la cantidad que tiene que congelarse es más pequeña que la del agua fría, así que juega con ventaja y termina antes.

**OSBORNE:** Esa es una excelente hipótesis.

<Diapositiva 3>

**MPEMBA:** ¿Una qué?

**OSBORNE:** En ciencias, cada una de las respuestas que probamos para responder a nuestras preguntas se llaman hipótesis.

**MPEMBA:** Suena como una enfermedad de hipopótamos.

**OSBORNE:** Bien, ¿cómo probamos si tu hipótesis es correcta?

<Diapositiva 4>

**MPEMBA:** Bueno... podemos pesar las muestras antes y después. Si se ha evaporado algo de los vasos, tendrá que afectar a su peso.

**OSBORNE:** ¡Muy buena solución!

<Diapositiva 5>

**MPEMBA:** O también podemos usar recipientes con tapa, así no puede salir nada. Si poniendo tapas sigue congelándose antes la muestra más caliente, es porque el motivo no es la evaporación.

**OSBORNE:** ¡Excelente! A eso se le llama controlar las variables. Sabes lo que es una variable, ¿no?

**MPEMBA:** Claro, una variable es algo que varía. Una constante se mantiene... constante.

**OSBORNE:** Muy bien. Tenemos muchas variables, hay muchas cosas que pueden cambiar, así que vamos a tratar de aislar o controlar las que podamos. Tenemos mucho trabajo por delante.

**MPEMBA:** Y nos pusimos a trabajar.

<Diapositiva 6>

El trabajo empezó en la biblioteca, tenía que aprender muchas cosas sobre el agua; además, como decía el profesor Osborne (le imita): tenemos a nuestra disposición el trabajo de varias generaciones de científicos sobre los que apoyarnos. Newton dijo una vez que “si había conseguido ver más lejos era porque se había subido a hombros de gigantes”, utilizó la sabiduría de todos los científicos de su época para realizar sus descubrimientos – y para usar sus frases, que lo de los gigantes no era suyo, por cierto –.

**OSBORNE:** Descubrimos muchas cosas: la primera ¡que Mpemba no era el primero en darse cuenta de este fenómeno! Ya lo habían observado Aristóteles en el siglo IV a. C., Descartes y Bacon en el siglo XVI d. C.

**MPEMBA:** Sí, el “doctor Panceta”.

**OSBORNE:** Y tuvimos acceso a varios estudios sobre los procesos de congelación, que ofrecían resultados muy interesantes.

*<Diapositiva 7>*

**MPEMBA:** Resulta que en la congelación influyen muchas cosas: la cantidad de impurezas del agua, el gas que tiene disuelto en su interior – ya sabéis, esas burbujitas que se forman en el vaso si lo dejáis toda una noche al aire –, el tipo de congelador... Al final decidimos reducir a tres las principales causas: el mayor ritmo de evaporación del agua caliente, una menor concentración de gases disueltos, y las corrientes de convección.

*<Diapositiva 8>*

**OSBORNE:** En cualquier recipiente, lo que está en el borde, en contacto con el exterior más frío, se enfría antes que lo que está en el interior.

**MPEMBA:** Eso hace que haya una diferencia de temperaturas en el mismo frasco. De pronto, lo que está en el centro está más caliente que lo que está en los extremos... así, el agua caliente del centro viaja hasta los bordes, ocupando el sitio del agua más fría, que tiene que irse para el centro, y así una y otra vez.

**OSBORNE:** Eso es lo que se conoce como convección.

**MPEMBA:** ¡Había muchas cosas que podían influir! ¿Cómo encontrar la respuesta?

**OSBORNE:** Tratando de tener solo una cosa cambiando cada vez. Teníamos que controlar el resto de las variables.

*<Diapositiva 9>*

**MPEMBA:** Por eso se llaman variables de control: la temperatura de la sala, la temperatura del congelador, el tipo de agua (que sea la misma todo el rato), el volumen de agua, el tipo de frasco, ...

**OSBORNE:** A lo que había que sumar la cantidad de gas disuelto...

**MPEMBA:** Que lo eliminábamos hirviendo las dos muestras antes del experimento.

**OSBORNE:** ... Las pérdidas por evaporación...

**MPEMBA:** ... tapita al canto ...

**OSBORNE:** ... y el efecto convectivo.

<Diapositiva 10>

**MPEMBA:** Eso fue más difícil, pero pudimos descubrir algunas cosas. Casi todo el calor se escapaba por la parte abierta de los vasos; lo comprobamos poniendo una capa de aceite en el agua, como aislante, y vimos cómo eso impedía que se congelaran las muestras durante varias horas. También pusimos los vasos sobre una plancha de corcho, para que no hubiera tanta diferencia entre el suelo (que tocaba directamente el congelador) y la parte de arriba.

**OSBORNE:** Y colocamos en las muestras dos sensores: uno en la parte de arriba y otro en la parte de debajo de los vasos. La diferencia de temperaturas era mayor cuanto más caliente estuviera la muestra en su inicio.

**MPEMBA:** No teníamos la solución, solo teníamos un montón de datos, apuntando a diferentes soluciones, pero sin ningún resultado determinante. ¡Era imposible controlarlo todo!

**OSBORNE:** Y aún así, debíamos publicar nuestros hallazgos, para permitir que otros investigadores, con más recursos o más experiencia en el campo, pudieran sentirse aludidos y tratar de buscar una solución. El conocimiento, incluso de las cosas que no funcionan, nos hace progresar a todos como especie. Es importante publicar incluso los errores, para que otros no los cometan.

**MPEMBA:** Entonces ¿va a publicar todo esto?

**OSBORNE:** No. Vamos a publicarlo juntos. Te lo has ganado más que nadie.

<Diapositiva 11>

**MPEMBA:** ¿Y cree que alguien lo leerá?

**OSBORNE:** Ni idea. Ya veremos dónde para todo esto...

**NARRADOR:** ... y todavía no ha parado. A raíz de aquel artículo, empezó a popularizarse el fenómeno del agua caliente que se congelaba antes que la fría, hasta el punto en que toda la comunidad científica lo conoce ya como el "Efecto Mpemba".

Surgieron varios artículos de respuesta, en varias revistas científicas de gran renombre, tratando de ver si era cierto todo aquello y buscando posibles causas. Era un problema complejo, y nadie conseguía llegar a una conclusión clara que explicase el fenómeno en su totalidad.

<Diapositiva 12>

En el año 2012, 43 años después de la publicación de Mpemba, la Royal Society of Chemistry del Reino Unido, convocó un concurso para dar un premio a quien consiguiera dar la respuesta más completa.

*<Diapositiva 13>*

Se presentaron 22.000 propuestas. Lo ganó un químico croata, Nikola Bregovic, que hizo un estudio completísimo a partir de las investigaciones anteriores, confirmando la convección en el agua caliente como la principal causa. Al acto de entrega del premio acudieron Osborne y Mpemba, que no había podido estudiar física por cuestiones de dinero, pero que era muy feliz cuidando la fauna como guardabosques en Tanzania.

Y... la cosa no paró ahí. Los resultados de Bregovic no eran tampoco concluyentes, así que científicos de todo el mundo siguieron investigando la cuestión...

*<Diapositiva 14>*

...hasta que, en 2016, un estudio de la Universidad de Cambridge, publicado en la prestigiosa Nature, rechazaba completamente la existencia del efecto, con un análisis impresionante de investigaciones anteriores, investigaciones propias y... eso sí, con algo de trampa. Analizaban el enfriamiento justo hasta antes de empezar la congelación, por lo que no estaban en realidad analizando el mismo problema. Algún otro científico les echó la bronca por ello.

*<Diapositiva 15>*

De cualquier modo, el “Efecto Mpemba” es real, (lo podéis comprobar en casa) y sigue impulsando investigaciones en todos los ámbitos: fluidos granulares, simulaciones computacionales, estudios de entropía... el año pasado incluso llegó a teorizarse el “efecto Mpemba inverso” en el que un sistema más frío puede calentarse en menos tiempo que otro más caliente, con múltiples aplicaciones tecnológicas.

*<Se apaga el proyector>*

Ya veis. Las preguntas tienen mucho poder. Mucho más que las respuestas. La ciencia, la humanidad, no avanzan impulsadas por la seguridad y la certeza, lo hacen impulsadas por la duda. Nunca tengáis miedo a preguntar: quien está muy seguro de todo, nunca aprenderá nada nuevo.

Y dicho esto... ¿alguna pregunta?

## **7.2. Versión podcast – Radioteatro**

El podcast está disponible en la plataforma Ivoox (figura 6) y en la unidad de Google Drive adjunta al presente trabajo. [Enlace a Google-Drive](#). [Enlace a Podcast en Ivoox](#)



Figura 6: captura de pantalla del podcast en la plataforma Ivoox. (Solera, J. I., Moreno, E., Parreño, J. L., Battle, E. y Salvatella, T. , 2018)

### 7.3. Foro de debate

Se ha creado el foro “Banco de Dudas” en la plataforma gratuita [www.foroactivo.com](http://www.foroactivo.com), con la dirección <https://bancodedudas.foroactivo.com/>

El propósito del foro es recibir preguntas de los alumnos, escritas de forma anónima con un avatar que les permita sentirse libres de preguntar cualquier cosa. Como administrador del foro, me encargo de que no haya preguntas o comentarios inapropiados, y apuntar posibles soluciones o lugares donde buscar respuestas.

El foro es un proyecto abierto que se irá modificando en función de las necesidades o el uso que se le vaya dando por parte de los usuarios, una semilla, a fin de cuentas.

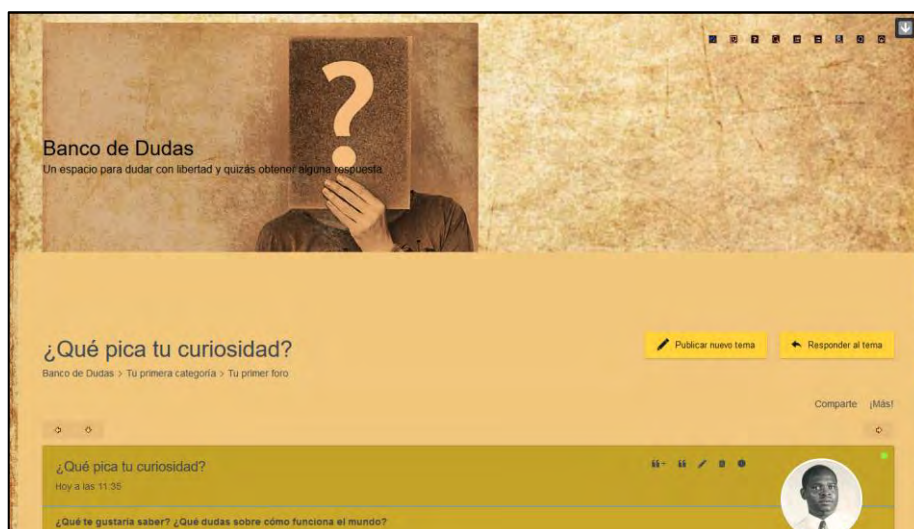


Figura 7: captura de pantalla del foro para preguntas. (Foroactivo Team, 2020)

## **8. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### ***Implementación de la actividad***

El propósito inicial, tal y como se planteó durante las prácticas en el centro Santo Ángel la Dehesa, de Humanes de Madrid (Madrid), era llevar a cabo esta actividad durante la semana cultural del centro, en el mes de mayo. La situación de pandemia y el estado de alarma decretados en nuestro país en el mes de marzo hacían imposible llevarlo a cabo de manera presencial, así que se plantearon posibles soluciones alternativas.

La prioridad, sin embargo, era conseguir cierta adaptación de los alumnos a la situación de educación a distancia, con la consiguiente demanda de recursos y energía para profesores y estudiantes. Cualquier solución de implementar la actividad en estas condiciones suponía un añadido a la carga de tareas del alumnado con lo que optamos por aplazar su realización al curso siguiente. Ni siquiera quisimos pasar el pre-test a los alumnos; la situación excepcional en la que se encuentran podría distorsionar bastante los resultados y, de cualquier modo, el objetivo principal del siguiente trabajo no era realizar esa evaluación de forma aislada sino evaluar de algún modo el efecto de llevar a cabo la representación del texto.

### ***Versión radiofónica***

No obstante, a modo representativo, se realizó una adaptación radiofónica de este trabajo (mostrado en el apartado 7.2 de resultados), creando un podcast de 27:26 minutos en el que se puede apreciar, si bien con menor éxito que en el planteamiento inicial, que se cumplen los objetivos que se pretendían lograr en el presente trabajo. El recurso didáctico que ofrece el texto, junto con las animaciones y la versión radiofónica, reflejan la naturaleza de la ciencia y el método científico del modo que se pretendía, atendiendo a los puntos clave que se deseaban incorporar: énfasis de la curiosidad, desmitificación de la “persona de ciencia”, ensalzamiento del respeto, la importancia de las preguntas, falibilidad de las teorías científicas... A falta de poder comprobarlo con los tests, consideramos que el modo en que se presenta al personaje de Mpemba, ofrece un ejemplo real que puede alimentar la autoestima y percepción de autoeficacia científica de los alumnos, además de representar un símbolo contra el maltrato en las aulas.

La versión radiofónica es limitada respecto a las posibilidades de la propuesta en vivo, sobre todo hacia la última mitad de la historia. Al no disponer de las animaciones, cuando Mpemba llega a la universidad el texto por sí mismo resulta demasiado denso y, pasados los primeros quince minutos, hay un claro riesgo de perder la atención de los

alumnos; sin embargo, puede considerarse que, hasta ese momento, el ritmo de la historia y su desarrollo encajan perfectamente con lo que se pretendía lograr al dramatizar el relato. Quedaría por comprobar hasta qué punto conseguiría retenerse la atención con el apoyo audiovisual, planteando posibles modificaciones en función de los resultados que se fueran obteniendo tras varias representaciones.

Ninguna obra está completa sin incluir el último y más importante de sus elementos: el público. La propia atención (o desatención) de los espectadores modifica el ritmo y el tono de una representación, por lo que es muy probable que haya varias partes del texto que hubieran debido modificarse tras ser puestas a prueba. La inclusión de un títere es una solución que ha resultado efectiva en muchos espectáculos para adultos, pero queda también por comprobar si, en el entorno escolar y las edades a las que está dirigida la narración, supone una solución exitosa o debería buscarse alguna otra alternativa. El foro de debate abierto habría permitido disponer de cierto feedback respecto a éste y otros temas, pero, como todo lo demás, queda a la espera.

### ***Momento, forma y curso***

Como ya se ha señalado, se pretendía poner en práctica esta actividad con un grupo extenso de alumnos de varios cursos de ESO y Bachillerato, durante la semana cultural, sin embargo, en el desarrollo del presente trabajo no se ha especificado como marco metodológico cerrado por no limitar las posibilidades de la propuesta antes de haberla probado. La transversalidad de la naturaleza de la ciencia a lo largo de todos los cursos permite que la actividad esté fundamentada para representarse ante cualquiera de los cursos de secundaria, de varias maneras distintas.

Si bien es cierto que es adecuada para el marco en el que se pretendía poner a prueba, también sería factible llevar a cabo la actividad en un aula para un solo grupo, quizás con mejores resultados. Bien en grupos reducidos o más extensos, cada caso tiene sus peculiaridades y habría que analizar en qué entorno funciona mejor. Seguramente en un grupo reducido sea más fácil mantener la atención, y la actividad podría encajar muy bien dentro de una unidad didáctica, como introducción en un curso de 2º o 3º de la ESO, o focalizarse más en la segunda parte para alumnos de Bachillerato que están estudiando procesos de transferencia de calor a un nivel más avanzado. Con pequeñas modificaciones podría adecuarse mejor a un rango más reducido de alumnos, pero una versión más general puede ser considerada aceptable para un primer acercamiento.

## 9. CONCLUSIONES

Se ha elaborado una novedosa actividad docente para la enseñanza del método científico, con el objetivo de fomentar la curiosidad del alumno por las ciencias. Dicha actividad hace uso de historia narrada como recurso didáctico, pudiendo incorporarse en cualquier curso de la ESO o bachillerato, bien dentro de las horas de clase o como actividad extraescolar. Con la elaboración de esta actividad, además de los objetivos descritos, se buscaba también comprobar de qué modo la experiencia en el ámbito de la interpretación teatral puede aportar un valor positivo para la docencia. Esta propuesta es una primera aproximación a una línea de trabajo que podría ampliarse a otras unidades didácticas en distintas asignaturas. Aún sin haber podido evaluar objetivamente la efectividad de la actividad propuesta, las posibilidades que ofrece esta conjunción de teatro y docencia son múltiples y emocionantes: juegos de dramatización, recreación de épocas, simulación de congresos... En otros países con una tradición teatral más integrada al ámbito educativo (Inglaterra, Grecia, ...), existen grupos que exploran estas y otras líneas de trabajo que puede ser interesante incorporar en nuestro sistema educativo.

El próximo curso se espera poder probar esta propuesta en el centro Santo Ángel la Dehesa y, si todo va bien, extenderla a otros centros. También, pese a haber estado propiciada por la alerta sanitaria, la opción de usar el medio radiofónico como marco para la docencia es otra puerta abierta a explorar con los alumnos distintas prácticas educativas que permitan acortar la brecha entre distintas disciplinas. Quizás, con estos pequeños pasos, se pueda ir alejando la disyuntiva tradicional entre “ciencias o letras” para tratar de ver qué tienen en común en vez de fomentar su enfrentamiento

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allison, S. T., & Burnette, J. L. (2009). Fairness and preference for underdogs and top dogs. *Social Decision Making: Social Dilemmas, Social Values, and Ethical Judgments*, (1985), 291–314. <https://doi.org/10.4324/9780203888537>
- Allison, S. T., & Goethals, G. R. (2016). Hero Worship: The Elevation of the Human Spirit. *Journal for the Theory of Social Behaviour*, 46(2), 187–210. <https://doi.org/10.1111/jtsb.12094>
- Alonso, J. R. (2017). B55. Obtenido de <https://www.eitb.eus/es/divulgacion/naukas-bilbao/videos/detalle/5082907/video-naukas-bilbao-2017-jose-ramon-alonso-55b/>
- Alonso, J. R., & Sanchez del Real, V. (2017). *José Ramón Alonso: El área 55b, la parte de nuestro cerebro que nos ayuda a comunicar*. Obtenido de <https://www.ivoox.com/habla-humano-99-jose-ramon-alonso-el-area-audios->

mp3\_rf\_20963765\_1.html

- Archer, L., Dawson, E., Seakins, A., & Wong, B. (2016). Science capital made clear. *Cultural Studies of Science Education*. <https://doi.org/10.1007/s11422-015-9667-7>
- Archer, L., Osborne, J., DeWitt, J., Dillon, J., Wong, B., & Willis, B. (2013). *ASPIRES: Young people's science and career aspirations, age 10 – 14*. London.
- Aristoteles. (1951). *Meteorologica*. Obtenido de <https://archive.org/details/L397AristotleMeteorologica/page/n1/mode/2up>
- Aristóteles. (n.d.). *La Poética* (Trad. E.Schlesinger, Ed.). Atenas.
- Aristóteles. (2019). *Retórica*. Ediciones Brontes.
- Auerbach, D. (1995). Supercooling and the Mpemba effect: When hot water freezes quicker than cold. *American Journal of Physics*, 63(10), 882–885. <https://doi.org/10.1119/1.18059>
- Ausubel, D. P. (2012). *The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View*. Springer Science & Business Media.
- Besson, U. (2012). The History of the Cooling Law: When the Search for Simplicity can be an Obstacle. *Science and Education*, 21(8), 1085–1110. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9324-1>
- Boyd, B. (2009). *On the origin of Stories. Evolution, Cognition and Fiction*. Cambridge, Massachusetts and London, England: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Brears, L., Tutor, S., Macintyre, B., Lecturer, S., Sullivan, G. O., & Lecturer, S. (2011). Preparing Teachers for the 21st Century Using PBL as an Integrating Strategy in Science and Technology Education. *Design and Technology Education*, 16(1), 36–46.
- Bregovic, N. (2012). *Mpemba effect from a viewpoint of an experimental physical chemist*.
- Burridge, H. C., & Linden, P. F. (2016). Questioning the Mpemba effect: Hot water does not cool more quickly than cold. *Scientific Reports*, 6 (noviembre), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep37665>
- Capps, D. K., & Crawford, B. A. (2013). Inquiry-Based Instruction and Teaching About Nature of Science: Are They Happening? *Journal of Science Teacher Education*, 24(3), 497–526. <https://doi.org/10.1007/s10972-012-9314-z>
- Chatman, S. (1980). *Story and Discourse: Narrative Structure in Fiction and Film*. Ithaca and London: Cornell University Press.
- Creative Commons Foundation. (2020). Creative Commons Webpage. Obtenido de CC0 website: <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>
- Dávila Acedo, M. A., Borrachero Cortés, A. B., Brígido Mero, M., & Costillo Borrego, E. (2016). Las Emociones Y Sus Causas En El Aprendizaje De La Física Y La Química. *International Journal of Developmental and Educational Psychology. Revista INFAD*

- de Psicología*, 4(1), 287. <https://doi.org/10.17060/ijodaep.2014.n1.v4.614>
- Dorsey, N. E. (1948). The Freezing of Supercooled Water. *Transactions of the American Philosophical Society*, 38(3), 247–328. <https://doi.org/10.2307/1005602>
- Edelson, D. C., Gordin, D. N., & Pea, R. D. (1999). Addressing the Challenges of Inquiry-Based Learning Through Technology and Curriculum Design. *Journal of the Learning Sciences*, 8(3–4), 391–450. [https://doi.org/10.1207/s15327809jls0803&4\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327809jls0803&4_3)
- Egan, K. (1989). *Teaching as story telling: An alternative approach to teaching and curriculum in the elementary school*. Chicago: University of Chicago Press.
- Egan, K. (1997). *The Educated Mind: How Cognitive Tools Shape Our Understanding*. Chicago: University of Chicago Press.
- Egan, K. (2005). *An imaginative approach to teaching*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Egan, K. (2015). Imaginative Education Research Group Official Webpage. Consultado el 20 de abril, 2020, de IERG website: <http://ierg.ca/about-us/a-brief-guide-to-imaginative-education/>
- Egan, K., & McEwan, H. (1995). *Narrative in teaching, learning and research*. Teachers College Press.
- Engel, S. (2011). Children's Need to Know: Curiosity in Schools. *Harvard Educational Review*, 81(4), 625–646.
- Fesliyan Studios. (abril de 2020). Fesliyan Studios Royalty Free Background Music. Obtenido de <https://www.fesliyanstudios.com/>
- Font, F., Porter, A., Jong, B. de, Serra, X., Fonseca, E., Favory, X., & Ramires, A. (2005). Freesound.org. Obtenido de CCL Sounds website: <https://freesound.org/>
- Foroactivo Team. (2020). Foroactivo. [www.foroactivo.com](http://www.foroactivo.com)
- Galili, I. (2008). History of physics as a tool for teaching. In *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education* (pp. 1–11).
- Gallegos, D. P. (2019). Apuntes 3º ESO física y química. Tema 1. Consultado el 20 de abril, 2020, de TecnoPata Física website: <https://fisquiweb.es/Apuntes/Apuntes3/MetodoCientifico3.pdf>
- García-Carmona, A., Vázquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2011). Present status and perspective of nature of science teaching: A review of teachers' beliefs and obstacles. *Enseñanza de Las Ciencias*, 29(3), 403–412. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v29n3.443>
- Gil Pérez, D. (1994). Relaciones entre conocimiento escolar y conocimiento científico. *Investigación En La Escuela*, pp. 17–32.
- Glasser, M. F., Coalson, T. S., Robinson, E. C., Hacker, C. D., Harwell, J., & Yacoub, E. (2016). A multi-modal parcellation of human cerebral cortex. *Nature Publishing*

- Group*, 536(7615), 171–178. <https://doi.org/10.1038/nature18933>
- Gibson, H. L., & Chase, C. (2002). Longitudinal Impact of an Inquiry-Based Science Program on Middle School Students' Attitudes Toward Science. *Science Education*, 86(5), 693–705. <https://doi.org/10.1002/sce.10039>
- Goethals, G. R., & Allison, S. T. (2012). Making Heroes. The Construction of Courage, Competence, and Virtue. In *Advances in Experimental Social Psychology* (1st ed., Vol. 46). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394281-4.00004-0>
- González-Marhuenda, P. (2018). *La naturaleza de la luz: breve historia bibliográfica*. Valencia: Universitat de Valencia - Servei de publicacions.
- González, L. I. G. (2019). 3º ESO El trabajo de los científicos. Obtenido de FisQuiWeb website: <https://fisquiweb.es/Apuntes/Apuntes3/MetodoCientifico3.pdf>
- Grupo Edebé. (2012). *Física y Química 3 ESO* (A. Garrido, M. Banal, J. Estela, S. Centelles, & J. L. Navarro, Eds.). Barcelona: Grupo Edebé.
- Gutiérrez, J. (2019). *Ciencia. medida y método científico. 3 ESO* (pp. 1–14). pp. 1–14. Ferrol: IES Ferrol Vello.
- Hadzigeorgiou, Y. (2016). Narrative thinking and storytelling in science education. In *Imaginative Science Education* (pp. 83–119). Springer Science & Business Media.
- Harari, Y. N. (2011). *Sapiens. A Brief History of Humankind*. London: Penguin Random House.
- Hu, C., Li, J., Huang, S., Li, H., Luo, C., Chen, J., ... An, L. (2018). Conformation Directed Mpemba Effect on Polylactide Crystallization. *Crystal Growth & Design*, 18(10), 5757–5762. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.8b01250>
- Huang, X. Z. Y., Ma, Z., & Sun, C. Q. (2013). O:H-O Bond Anomalous Relaxation Resolving Mpemba Paradox. 2565(2013), 1–9. <https://doi.org/10.1039/C4CP03669G>
- Hung, W. (2011). Theory to reality: A few issues in implementing problem-based learning. *Educational Technology Research and Development*, 59(4), 529–552. <https://doi.org/10.1007/s11423-011-9198-1>
- Ibekwe, R. T., & Cullerne, J. P. (2016). Investigating the Mpemba Effect : when hot water freezes faster than cold water. *Physics Education*, 51(025011), 1–6. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/51/2/025011>
- John, & McGarry, D. D. (1955). *The metalogicon of John of Salisbury: a twelfth-century defense of the verbal and logical arts of the trivium* (pp. xxvii, 305 p.). pp. xxvii, 305 p. Obtenido de <file://catalog.hathitrust.org/Record/001381658>
- Kalyuga, S. (2012). Instructional benefits of spoken words: A review of cognitive load factors. *Educational Research Review*, 7(2), 145–159. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2011.12.002>
- Katz, J. I. (2009). When hot water freezes before cold. *American Journal of Physics*,

- 77(1), 27–29. <https://doi.org/10.1119/1.2996187>
- Katz, J. I. (2017). Reply to Burrigge & Linden: Hot water may freeze sooner than cold. *ArXiv E-Prints*. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/1701.03219v2>
- Kosfeld, M., Heinrichs, M., Zak, P. J., Fischbacher, U., & Fehr, E. (2005). Oxytocin increases trust in humans. *Nature*, 435(7042), 673–676. <https://doi.org/10.1038/nature03701>
- Lasanta, A. (2017). *¿Por qué el agua caliente se enfría antes? Antonio Lasanta, UC3M*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=esHynYASgeY&feature=youtu.be>
- Lasanta, A., Vega Reyes, F., Prados, A., & Santos, A. (2017). When the Hotter Cools More Quickly: Mpemba Effect in Granular Fluids. *Physical Review Letters*, 119(14), 148001. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.119.148001>
- Lee, H. J., Macbeth, A. H., Pagani, J. H., & Scott Young, W. (2009). Oxytocin: The great facilitator of life. *Progress in Neurobiology*, 88(2), 127–151. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2009.04.001>
- Legaralde, T., Vilches, A., & Darrigran, G. (2009). Los científicos según la mirada de los estudiantes de secundaria. *II Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa En El Campo de Las Ciencias Exactas y Naturales*, (2), 171–175. La Plata.
- Lu, Z., & Raz, O. (2017). Nonequilibrium thermodynamics of the Markovian Mpemba effect and its inverse. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(20), 5083–5088. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1701264114>
- Maciejewski, P. K. (1996). Evidence of a Convective Instability Allowing Warm Water to Freeze in Less Time Than Cold Water. *Journal of Heat Transfer*, 118(1), 65–72. <https://doi.org/10.1115/1.2824069>
- Membiela, P. (2002). Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva ciencia-tecnología-sociedad : formación científica para la ciudadanía LK - <https://ucm.on.worldcat.org/oclc/1025086072>. En Educación Hoy Estudios. TA - TT - . Narcea.
- Marcos, L. (2007). Una propuesta de utilización de la historia de la ciencia en la enseñanza de un tema de física. *Enseñanza de Las Ciencias*, 25(3), 423–434.
- Martínez-Ron, A. (2016). *El ojo desnudo*. Barcelona: Editorial Planeta S.A.
- Mateos-Núñez, M., Martínez-Borreguero, G., & Naranjo-Correa, F. L. (2020). Comparación de las emociones, actitudes y niveles de autoeficacia ante áreas STEM entre diferentes etapas educativas. *European Journal of Education and Psychology*, 13, 251–267. <https://doi.org/10.30552/ejep.v13i1.292>
- Ministerio de Educación, C. y D. Real Decreto 1105/2014. , Boletín Oficial del Estado § (2015). Gobierno de España.
- Ministerio de Educación, C. y D. Disposición 738 del BOE núm. 25 de 2015. Boletín

- Oficial del Estado (Vol. 25, pp. 6986–7003). Gobierno de España.
- Moreira, M. A. (2005). Aprendizaje significativo crítico (Critical meaningful learning). *Indivisa. Boletín de Estudios e Investigación*, 6, 83–102.
- Mpemba, E., & Osborne, D. (1969). Cool? *Physics Education*, 4, 172–175.
- National Institutes of Health. (2009). THE NIH BLUEPRINT FOR NEUROSCIENCE RESEARCH. Consultado el 16 de abril de 2020, de U.S. Department of Health and Human Services website: <https://neuroscienceblueprint.nih.gov/human-connectome/connectome-programs>
- Perez, S., & Meneses Villagrà, J. Á. (2020). La competencia científica en las actividades de aprendizaje incluidas en los libros de texto de Ciencias de la Naturaleza. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias.*, 17(2), 103–115. <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Piaget, J. (1977). *The development of thought: Equilibration of cognitive structures*. (Trans A. Rosin). Ed. Viking.
- Piñar Gallardo, I. (2015). *Física y Química 3º ESO* (Inicia Dua). Oxford Educación.
- Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. Á. (2009). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Ediciones Morata, S.L.
- Prieto, R. J., & Verdugo, P. M. T. (2015). *Física y Química 3 ESO digital*. Obtenido de <https://www.blinklearning.com/coursePlayer/curso2.php?idcurso=382031>
- RAE. (2020). Diccionario de la lengua española. Consultado el 29 de abril de 2020, de <https://dle.rae.es>
- Reiff, R., Harwood, W. S., & Phillipson, T. (2002). A Scientific Method Based Upon Research Scientists' Conceptions Of Scientific Inquiry. *Annual International Conference of the Association for the Education of Teachers in Science - 2002*, (1), 560–583.
- Roncero, R. G., & Marín, M. J. S. (2019). Apuntes Método científico 3 ESO. Consultado el 24 de abril de 2020, de IES El Escorial website: <http://www.ieselescorial.org/departamentos/fisica-y-quimica/fisica-y-quimica-3o-de-e-s-o/>
- Royal Society of Chemistry. (2013). The Mpemba Effect: competition and resources. Consultado el 13 de enero de 2020, de Education website: <https://edu.rsc.org/resources/the-mpemba-effect/1018.article>
- Schank, R. C., & Berman, T. R. (2002). The Pervasive Role of Stories in Knowledge and Action. In *Narrative impact: social and cognitive foundations* (pp. 287–313).
- Smith, D., Schlaepfer, P., Major, K., Dyble, M., Page, A. E., Thompson, J., ... Migliano, A. B. (2017). Cooperation and the evolution of hunter-gatherer storytelling. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02036-8>

- Solera, J. I., Moreno, E., Parreño, J. L., Batlle, E., & Salvatella, T. (2018). Ivoox. Ivoox Webpage. [www.ivoox.com](http://www.ivoox.com)
- Solves, J., & Traver, M. J. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de Las Ciencias*, 14(1), 103–112.
- Thomas, J. H. (2007). The Mpemba Effect: Studying the effects of initial temperature, evaporation, and dissolved gasses on the freezing of water. Department of Physics, The College of Wooster, 2.
- Tribe of Noise. (abril de 2020). Free Music Archive (FMA). Obtenido de <https://freemusicarchive.org/static>
- Tuan, H. L., Chin, C. C., Tsai, C. C., & Cheng, S. F. (2005). Investigating the effectiveness of inquiry instruction on the motivation of different learning styles students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(4), 541–566. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-6827-8>
- Tyrovolas, I. J. (2019). New Explanation for the Mpemba Effect. *Journal of Multidisciplinary Research and Reviews*, 1(2), 23–27.
- Verano, F. (2013). Superheroes Need Supervillains. In R. Rosenberg & P. Coogan (Eds.), *What is a Superhero* (pp. 83–87). New York: Oxford University Press.
- Vázquez, Á., Antonio Acevedo, J., & Acevedo, P. (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de Razón Técnica*, 4(2001), 135–176.
- Vázquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2007). Out-of school activities related to science and technology. *Revista Electronica de Investigacion Educativa*, 9(1), 1–34.
- Vidal Fernandez, M. C. (2015). *Física y Química 3º ESO (Saber Hace)*. Madrid: Santillana.
- Vynnycky, M., & Kimura, S. (2015). Can natural convection alone explain the Mpemba effect? *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 80, 243–255.
- Vynnycky, M., & Mitchell, S. L. (2010). Evaporative cooling and the Mpemba effect. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 46(8–9), 881–890.
- Wojciechowski, B., Owczarek, I., & Bednarz, G. (1988). Freezing of Aqueous Solutions Containing Gases. *Cryst. Res. Technol*, 23(7), 843–848.
- Wong, B., Gore, J., Holman, J., & Mann, A. (2020). *ASPIRES 2: Young people's science and career aspirations, age 10-19*. London.
- Zak, P. J. (2015). Why inspiring stories make us react: the neuroscience of narrative. *Cerebrum : The Dana Forum on Brain Science*, 2015(February), 2.
- Zak, P. J., Stanton, A. A., & Ahmadi, S. (2007). Oxytocin increases generosity in humans. *PLoS ONE*, 2(11), 1–5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001128>
- Zhang, X., Huang, Y., Ma, Z., & Sun, C. Q. (2013). Mpemba Paradox Revisited -- Numerical Reinforcement. *ArXiv:1312.1014 [Cond-Mat, Physics:Physics]*, 1–15.

## 11. ANEXOS

### 11.1. Cronología de Acciones y Sucesos

Sucesos	Acciones	Personajes	Localización
Mpemba alcanza los 10 años	Mpemba ingresa en la escuela secundaria	- Mpemba - Clase de Mpemba	Escuela secundaria de Magamba (Tanzania)
Se deja a los alumnos usar un congelador para hacerse helados	Mpemba mete su leche hervida aún caliente para no perder turno	- Mpemba	Cocina de la Escuela
La leche de Mpemba se congela antes que la de sus compañeros	Mpemba repara en el hecho y le sorprende	- Mpemba	Cocina de la Escuela
En la clase de física, hablan de la temperatura	Mpemba pregunta al maestro el motivo del fenómeno observado	- Mpemba - Maestro - Clase de Mpemba	Clase de secundaria
La duda de Mpemba, en vez de resuelta, es desdeñada.	El maestro rechaza la observación de Mpemba	- Mpemba - Maestro - Clase de Mpemba	Clase de secundaria
Mpemba se encuentra con un amigo heladero	Mpemba pregunta a su amigo por el fenómeno	- Mpemba - Amigo heladero	Tanga (playa de Tanzania)
Las observaciones de Mpemba son compartidas por más gente.	El amigo corrobora la observación, afirmando que lo tienen en cuenta	- Mpemba - Amigo heladero	Tanga (playa de Tanzania)
Mpemba cumple 15 años	Mpemba ingresa en el Instituto de Mkwawa	- Mpemba	Instituto de Mkwawa
Imparten en su clase la Ley del enfriamiento de Newton.	Mpemba pregunta por el fenómeno observado	- Mpemba - Profesor de física - Clase de Mpemba	Aula de ciencias
La observación de Mpemba es desdeñada de nuevo.	El profesor rechaza la observación de Mpemba	- Mpemba - Profesor de física - Clase de Mpemba	Aula de ciencias
	Mpemba insiste	- Mpemba - Profesor de física - Clase de Mpemba	Aula de ciencias
Surge un concepto despectivo: "Física de Mpemba"	El profesor ridiculiza a Mpemba delante de toda la clase.	- Mpemba - Profesor de física - Clase de Mpemba	Aula de ciencias
El término "... de Mpemba" se mantiene en el aula.	El profesor acuña "... de Mpemba" para señalar errores de toda índole	- Mpemba - Profesor de física - Clase de Mpemba	Aula de ciencias

El término "... de Mpemba" se populariza como sinónimo de fracaso o torpeza.	Los compañeros de Mpemba siguen el ejemplo del profesor y comienza el "bullying".	- Mpemba - Alumnos del instituto	Instituto de Mkwawa
El profesor Osborne llega al Instituto para dar una charla.	Mpemba repite su pregunta al profesor Osborne.	- Mpemba - Profesor Osborne - Alumnos del instituto	Instituto de Mkwawa
	El profesor Osborne admite su ignorancia y promete investigar.	- Mpemba - Profesor Osborne - Alumnos del instituto	Instituto de Mkwawa
Las pruebas experimentales siguen apoyando a Mpemba	Mpemba sigue experimentando con apoyo de la cocinera.	- Mpemba - Encargada de cocinas	Cocina del Instituto
Las pruebas experimentales siguen apoyando a Mpemba	Mpemba comparte sus experimentos con compañeros, en grupos.	- Mpemba - Compañeros de M.	Cocina del Instituto
Las pruebas experimentales siguen apoyando a Mpemba	Mpemba muestra sus resultados al profesor de física.	- Mpemba - Profesor de física	Cocina del Instituto
Las pruebas experimentales siguen apoyando a Mpemba	El profesor de física comprueba por sí mismo el fenómeno.	- Profesor de física	Laboratorio del Instituto
El punto de vista de Mpemba empieza a calar en el instituto.		- Alumnos del instituto - Profesor de física	Instituto de Mkwawa
Las pruebas experimentales siguen apoyando a Mpemba	Un técnico de la Universidad, a petición de Osborne, hace un experimento.	- Profesor Osborne - Técnico	Universidad de Dar es Salaam.
	El técnico, ante los resultados, promete seguir experimentando hasta que "salga lo que debe salir"	- Profesor Osborne - Técnico	Universidad de Dar es Salaam.
Mpemba acude a la Universidad	El profesor Osborne propone a Mpemba redactar un artículo conjunto	- Mpemba - Profesor Osborne	Universidad de Dar es Salaam.
Las pruebas experimentales siguen apoyando a Mpemba	Osborne y Mpemba experimentan, aplicando el método científico.	- Mpemba - Profesor Osborne	Laboratorio de la Universidad de Dar es Salaam.
La revista Physics Education publica el	El esfuerzo y el tesón de Mpemba se reconocen internacionalmente		El mundo

artículo de Osborne y Mpemba			
Se acuña oficialmente el término "Efecto Mpemba"			El mundo
El "Efecto Mpemba" sigue investigándose			El mundo
La Royal Society of Chemistry decide promover un concurso para dilucidar el origen del efecto Mpemba	Mpemba y Osborne viajan a Londres	- RSC of London - Mpemba - Profesor Osborne	RSC London
El "Efecto Mpemba" adquiere un nuevo impulso y surge en publicaciones de varios ámbitos.			

## 11.2. MÚSICAS Y SONIDOS

### *Músicas de fondo*

Compositor	Tema	Fuente
Blue Dot Sessions	Curiously and Curiously	FMA
	Silver Landyard	FMA
	Lost shoe	FMA
	Softly Villanous	FMA
	Basketliner	FMA
	Palladian	FMA
	Entwined Oddity	FMA
Christian Bjoerklund	Hallon	FMA
David Fesliyan	I am Iron	Fesliyan Studios
	Seriously	Fesliyan Studios
	Snap Along	Fesliyan Studios
	Beautiful Village	Fesliyan Studios
	Powerful	Fesliyan Studios
	The Biggest Smile	Fesliyan Studios
David Szesztay	Beach Party	FMA
Madoka	Thinking	FMA
John Bartman	Happy African Village	FMA

Steve Oxen	Silly Bank Heist	Fesliyan Studios
	Inspired Thinking	Fesliyan Studios

### **Efectos de sonido**

<b>Autor</b>	<b>Sonido</b>
Blukotek	School students bell break
Djczyzy	Ba-Dum-Tss Classic Edition
Justin Voke	Freeze
Herbert Boland	Bakelite Phone Ring
Huminaatio	Ballon Rubbing
Kyles	Classroom Students Whispering Presence
Kidd Park	Cash Register
Melthurian	Bubbling Baker
OkieActor	Classroom ambience high school Class
ParkerSenk	Ticking Timer
Saya13	Ding Idea
Shon Joedes	Raising Phone Handset
SJNewton	Cork
Tosha73	The Hubbub of the Crowd Before the Concert
Uair	Applause Short
Urupin	Crowd Laughter
<b>Fuente: Free Sound Archive / AudioBlocks</b>	