



Introducción a la nanotecnología mediada por videojuegos: una propuesta teórica

Videogames mediated nanotechnology introduction: A theoretical proposal

Octavio Federico Garate¹ y Lionel Sebastian Veiga¹

Recepción: 24-04-2020

Aceptación: 22-03-2021

Resumen

Debido a la naturaleza de su construcción, la nanotecnología se presenta como una rama de la ciencia que exige la comprensión de conceptos iniciales a intermedios de múltiples disciplinas como la química, la física y la biología. Si bien esta rama de la ciencia interdisciplinaria se aborda generalmente en el nivel universitario con la ayuda de simulaciones y prácticas de laboratorio, se necesita un enfoque pedagógico totalmente diferente al explicar su marco teórico a un público más amplio y joven. En ese sentido, desde una perspectiva teórica, los videojuegos correspondientes al género *Souls-like* pueden actuar como una puerta de entrada y un medio de representación de conceptos con diversos grados de dinamismo para introducir nociones básicas de la nanotecnología como: consideraciones de escala, propiedades ópticas/superficiales dependientes del tamaño y su campo de aplicación. Al abordar la nanotecnología con un enfoque interdisciplinario, los aspectos adecuados presentes en el diseño de este tipo de videojuegos permitieron la construcción de analogías conceptuales enriquecedoras, ilustrando el marco conceptual de la nanotecnología desde un enfoque macroscópico e intuitivo.

Palabras clave

Nanotecnología; Propuesta didáctica; Videojuegos; Género *Souls-like*.

Abstract

Due to the nature of its construction, nanotechnology is presented as a branch of science that demands the understanding of early to mid-tier concepts of multiple disciplines such as chemistry, physics and biology. While this multi-layered discipline is usually explained in college with the assistance of simulations and lab practices, a totally different pedagogical approach is needed when explaining its theoretical framework to a broader young audience. In that regard, from a theoretical perspective, videogames corresponding to the *Souls-like* genre can act as an entry door and a concept representation media with varying degrees of dynamism in order to introduce core concepts of nanotechnology such as scale considerations, size-dependent optical and surface properties, and application field. By approaching nanotechnology with an interdisciplinary focus, suitable aspects of games design allowed the construction of fruitful conceptual analogies that illustrated the nanotechnology conceptual framework from both a macroscopic and intuitive focus.

Keywords

Nanotechnology; Didactic proposal; Videogames; *Souls-like* genre.

¹Departamento de Nanomateriales Funcionales, INTI-CMNB, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Av. Gral. Paz 5445, B1650WAB, San Martín, Argentina. Contacto: ogarate@inti.gov.ar.

Introducción

El papel de la tecnología dentro del campo educativo generalmente está vinculado al uso de simuladores, actualmente considerados como un espacio de experimentación seguro por diferentes disciplinas, respaldados por un marco teórico que les permite proponer estructuras de aprendizaje dinámicas, como la aplicación del modelo 1 a 1 (Hakan 2017; Harper y Millman 2016; Lei y Zhao 2016). En el campo de la ciencia, por ejemplo, las simulaciones por computadora se han convertido en herramientas de gran ayuda pedagógica, permitiendo interpretar lo que es observable macroscópicamente al obtener información de un enfoque microscópico, por ejemplo, a través de software de modelado (Garate 2019; Peng y Jimenez 2019; Sypsas y Kalles 2018). En el caso de la nanotecnología, el uso de estas herramientas está destinado a los investigadores o estudiantes universitarios, pero el problema surge cuando nos damos cuenta que ya no estamos hablando de una disciplina netamente académica, ya que sus aplicaciones se vuelven esenciales en la vida cotidiana. Como respuesta una audiencia más amplia formada mayoritariamente por estudiantes de nivel medio, comienza a mostrar interés en las implicaciones de la nanotecnología lo que exige un enfoque pedagógico totalmente diferente si se pretende apoyar y estimular su creciente curiosidad.

Si bien el potencial de las simulaciones no se cuestiona dentro del sistema educativo, otros componentes de la tecnología, como los videojuegos, todavía se consideran instrumentos con un potencial pedagógico bastante limitado, en parte debido a las discusiones actuales sobre los supuestos efectos que tienen sobre la violencia y ludopatía. (Kühn *et al.* 2018; Zendle 2018; Adachi y Willough 2013). Sin embargo, alejándonos de esa discusión en vigencia, algunos modelos intentan vincular la industria de los videojuegos con el ámbito educativo o bien poner las herramientas de uno al servicio del otro. Al día de la fecha, *gamification* es el modelo a seguir tanto en entornos educativos como en espacios de coaching empresarial. (Aaron y Hung 2017; Seaborn y Felsb 2015; Aksakal 2015; Nah *et al.* 2014; Erenli 2012). Siendo este modelo identificado por la noción de aplicar el razonamiento y las mecánicas involucradas en el desarrollo de videojuegos en otros contextos ajenos para mejorar ciertas aptitudes de los usuarios, como las habilidades para resolver problemas.

Centrándose en el campo educativo, aquellos que actualmente proponen a *gamification* como una herramienta de uso compatible se centran principalmente en ciertos aspectos mecánicos de los videojuegos como el uso de puntos, tablas de posiciones e insignias que destacan por su naturaleza extrínseca (Oceja y Fernandez 2018; Kusma *et al.* 2018; Dicheva *et al.* 2015; Hamari *et al.* 2014). Es decir, en lugar de desarrollar un juego completo, el objetivo es resaltar estas mecánicas para motivar comportamientos que favorecen el aprendizaje y las interacciones sociales. Esto definitivamente acorta el campo de experimentación de los docentes con menos experiencia cuando se trata del uso de videojuegos con fines educativos, considerando el número reducido de estudios realizados sobre cómo otros elementos del diseño de videojuegos como la narrativa, el balance de dificultad, el apartado estético/visual y aspectos asociados a la jugabilidad; podrían beneficiar el proceso de aprendizaje (Choi *et al.*, 2020; Morales *et al.*, 2018; Calvo 2015).

A través de una aproximación teórica y teniendo en cuenta el carácter escasamente explorado de estos elementos, este trabajo presenta una propuesta didáctica de carácter divulgativo con el objetivo de introducir, de manera expositiva y asistida por material audiovisual, conceptos centrales de la nanotecnología con un considerable grado de accesibilidad haciendo uso de elementos estéticos y ludonarrativos correspondientes a un género de videojuegos denominado *Souls-like* compuesto principalmente por juegos de acción y rol.

Estableciendo el recorte conceptual y el rol de los videojuegos

La nanotecnología, desde una perspectiva de demanda cognitiva, es una disciplina con cuyo piso y techo son considerablemente altos, ya que exige una comprensión sólida de conceptos básicos a intermedios de múltiples disciplinas como la física, la química, la biología e ingeniería (Figura 1) Considerando cuán alta es la barrera conceptual de entrada, presentar “¿Qué es la nanotecnología?” a un público joven sin experiencia, como estudiantes de secundaria o un grupo heterogéneo que asiste a un taller de ciencias es un verdadero desafío, ya que existe una necesidad intrínseca de poder generar ejemplos accesibles independientemente de su formación disciplinaria previa.

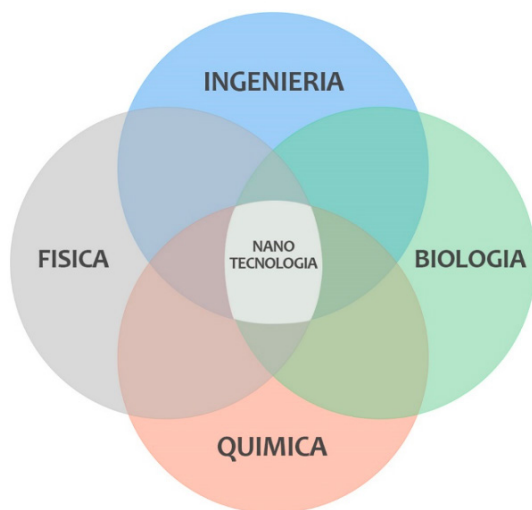


FIGURA 1. Diagrama de Venn que muestra las múltiples disciplinas conceptualmente asociadas con la nanotecnología.

Esta inquietud por presentar una secuencia didáctica integradora que facilite la accesibilidad a contenidos con elevado nivel de abstracción nos lleva a plantearnos dos interrogantes. Primero, ¿cuáles son los conceptos centrales de la nanotecnología que queremos presentar? Siendo recorte gradual propuesto: consideraciones de escala —propiedades dependientes del tamaño— aplicaciones, una secuencia de conceptos introductorios estrechamente relacionados cuya curva de aprendizaje es incremental teniendo en cuenta los obstáculos informados que presentan en entornos de aprendizaje, y su simplicidad para recurrir a asociaciones empíricas (Serena *et al.*, 2014; Cademartiri y Ozin 2010).

Segundo, ¿de qué manera lo vamos a llevar a cabo? Una vez seleccionados los conceptos relevantes, los mismos deben pasar por un proceso de adecuación y reconstrucción conocido como transposición didáctica (Izquierdo Aymerich *et al.*, 1999; Chevallard 1998) en búsqueda de favorecer su accesibilidad. En este caso aprovechando la naturaleza multimedia de los videojuegos que permitiría hacer uso de aspectos estéticos y ludonarrativos hemos recurrido al uso de analogías y metáforas, ya que constituyen una vía efectiva para introducir nuevos conceptos (Duit 1991; Ingham 1991).

A pesar de ello, articular el adecuado uso de analogías para promover la transposición didáctica implica un riesgo que es el de sobresimplificar conceptos si no se lleva adelante su construcción de manera interdisciplinaria y explicitando su carácter y limitaciones. Garantizando la interdisciplinariedad mediante la participación de docentes, investigadores y desarrolladores de videojuegos, el carácter de las analogías fue construido a partir de la noción de puertas de entrada al conocimiento introducida por Gardner en “*The Unschooled Mind*” (Gardner 1993). Basado en este principio, cualquier tópico enriquecedor amerita ser enseñado desde al menos 5 puertas de entrada diferentes: narrativa, lógica-cuantitativa, fundacional, estética y experiencial; siendo el enfoque más apropiado a tomar un balance entre las habilidades del docente y las características generales de la audiencia. Determinando bajo este concepto que la transposición didáctica propuesta mediante analogías permitiría explorar dinámicamente los conceptos centrales de la nanotecnología a través de puertas estéticas, narrativas y fundacionales, un enfoque apropiado si se pretende encontrar una alternativa a las demandas conceptuales e instrumentales presentes en el ámbito universitario, caracterizado por adoptar una aproximación lógico/cuantitativa y experiencial.

Introduciendo los conceptos centrales de la nanotecnología

Fear the old blood: Delimitando el rango de escalas (Tiempo de desarrollo referencial: 10 minutos)

El primer paso para introducir el marco teórico de la nanotecnología es superar la barrera del tamaño nanométrico, es decir aquello no se ve incluso con los microscopios convencionales. La transición de macro a nano dada en etapas generalmente se compone de una sobrecarga de ejemplos que carecen de correlación para crear una secuencia ascendente o descendente. Como resultado a veces resulta complejo, si no hay otro criterio complementario como los requisitos instrumentales para acceder a dicha escala, discernir a que rango corresponde un objeto determinado. A modo de ejemplo, uno podría desconocer el tamaño exacto de una bacteria y tranquilamente asignarla a la nano en vez de la microescala. Esto implica que, para superar esta barrera, este concepto debe presentarse estableciendo relaciones de tamaños entre objetos familiares, extrapolando progresivamente estas relaciones hacia tamaños que son menos comunes, como micro y nano.

A raíz de lo planteado anteriormente, se propone introducir las nociones básicas de escala mediante un esquema de dos etapas que consiste en presentar la narrativa de un videojuego llamado *Bloodborne* y posteriormente hacer uso de la misma para introducir un estudio de casos tomando como modelo la secuencia cuerpo humano –células– ADN.

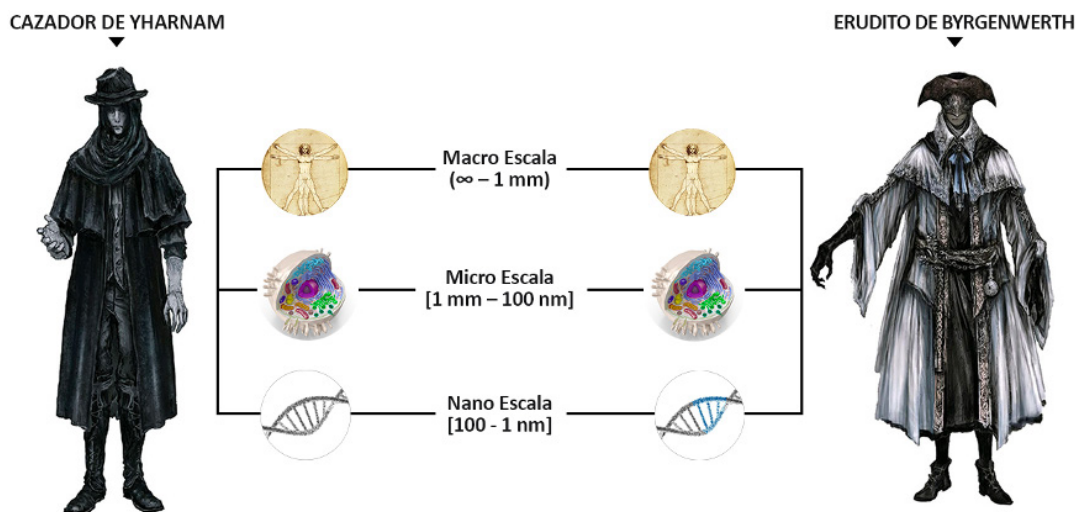
A nivel argumental *Bloodborne* desarrolla gran parte de su narrativa en la ciudad victoriana de *Yharnam*. Una ciudad cuyos residentes (eruditos o cazadores de bestias), influenciados por mitos, recurren a transfusiones de sangre de distinta procedencia para hacer frente a una epidemia que se desata en la ciudad. Producto de esta práctica, aquellos que hayan recibido sangre no humana son propensos a sufrir una enfermedad en caso de que la misma haya sido adulterada con sangre proveniente de un *Great One*, una entidad inspirada en la literatura de H.P. Lovecraft (Schultz y Joshi 1991), que podría considerarse el equivalente a un dios. Cuando alguien se enferma, inicialmente presenta síntomas similares a los de una persona que sufrió un trastorno de estrés posttraumático (PTSD) como insomnio, ansiedad, agitación y pesadillas recurrentes; pero a largo plazo y sin tratamiento, el afectado mutará en un ser celestial producto de cambios genéticos (Figura 3).



FIGURA 3.
Comportamiento progresivo de una enfermedad mutagénica, construida a partir de la narrativa de *Bloodborne*.

Haciendo uso del argumento detallado anteriormente, la figura 4 presenta un estudio de casos donde dos pacientes que muestran los síntomas a corto plazo mencionados anteriormente temen haber recibido una transfusión de sangre inapropiada. Para proporcionar una respuesta precisa, se recomienda un diagnóstico a escala múltiple de macro a nano. Desde una perspectiva macro a simple vista, los síntomas de ambos pacientes no pueden diferenciarse de los asociados con un caso de PTSD. A escala micro con la ayuda de un microscopio óptico, es posible evaluar cualquier cambio a nivel celular, pero desafortunadamente, no se observaron anomalías entre estos rangos de escala. Esta falta de diagnóstico concluyente dentro de la micro escala es esperada, ya que el PTSD es una condición de salud mental y en el caso de la otra enfermedad, las mutaciones en curso aún no se han expresado a niveles celulares. Al llegar a la nanoescala utilizando un microscopio SEM, que hace uso de un haz de electrones para obtener información estructural de gran resolución, es posible detectar anomalías en el ADN (2 nm) del erudito de *Byrgenwerth* representada por las regiones azules en su cadena de ADN que puede atribuirse a la mutación a largo plazo reportada.

FIGURA 4. Estudio de casos propuesto para introducir conceptos de escala ilustrados con el arte conceptual y el diseño narrativo de *Bloodborne*. Donde la fuente original de la aflicción de cada paciente, representada por el color de las hebras de ADN, sólo se puede diferenciar en la nanoescala. Cada diagnóstico de escala incluye el intervalo de tamaño respectivo para luego introducir propiedades ópticas.



Este caso como presentación permite una transición simple y fácil de seguir entre macro y nanoescala, al tiempo que se evidencia la necesidad de instrumentación más compleja y sensible a medida que uno se aproxima al nivel atómico. Por otro lado, aunque especificar los límites numéricos de cada escala puede parecer una información arbitraria, resulta necesario para abordar conceptos como las propiedades ópticas como se detallará a continuación.

The man with the guardian spirit: Propiedades de la nanoescala (Tiempo de desarrollo referencial: 25 minutos)

Propiedades ópticas dependientes del tamaño

Introducir las propiedades ópticas de los nanomateriales no es una tarea fácil ya que genera disonancia cognitiva frente a nuestro conocimiento previo sobre las propiedades intensivas de la materia. En un contexto académico, los fenómenos de interacción entre luz y nanopartículas metálicas son argumentados desde un punto de vista teórico mediante la resonancia plasmónica superficial localizada (LSPR) (Sánchez 2015). Con el propósito de

expandir su accesibilidad interpretativa se propone problematizar y profundizar sobre el pensamiento más ingenuo: “una propiedad como el color permanece sin cambios al alterar el tamaño de la muestra, por lo que es una propiedad intensiva”.

Desde una perspectiva no ficcional el hecho de que la nanoescala no se ajuste a lo expuesto anteriormente suele ejemplificarse a través de la Copa de Lycurgo, la cual presenta un llamativo cambio de color según desde dónde se la ilumine. Siendo estos efectos ópticos atribuidos a la presencia de una dispersión de nanopartículas de oro con diámetros entre 50 y 100 nm. Esto despierta al menos dos interrogantes ¿cómo un material puede presentar dos colores? y en caso de que aceptáramos esto ¿por qué el oro presenta una coloración verde o rojiza, cuando empíricamente estamos hablando de un material al que se le atribuye el color dorado? Siendo el uso de simuladores una fuente de respuestas recurrente en el ámbito educativo formal (Garate et al. 2019).

Como contrapropuesta ficcional se propone abordar las propiedades ópticas de la nanoescala y su dependencia con el tamaño utilizando, como se detalla a continuación, recursos estéticos y narrativos de un videojuego llamado *NiOH*.

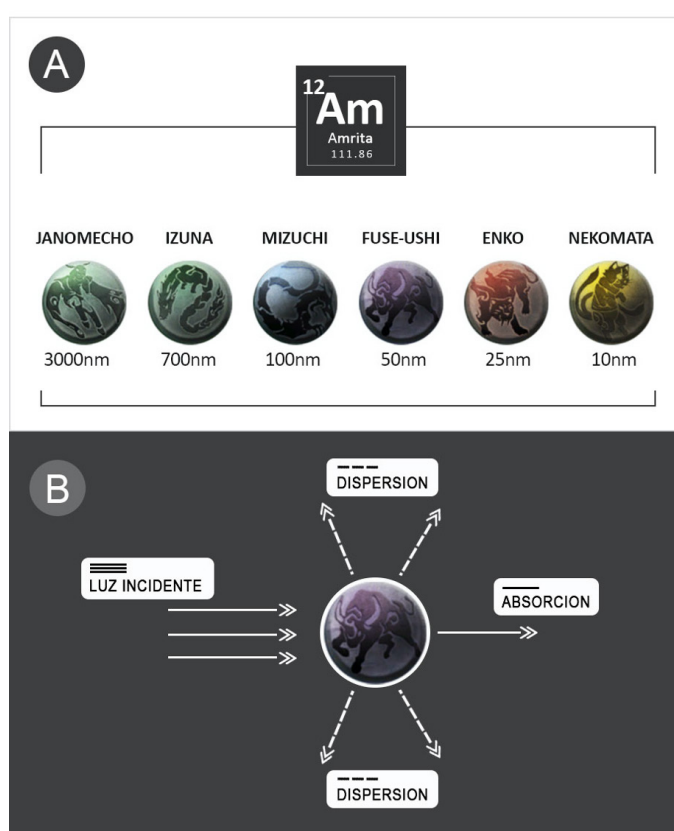


FIGURA 5. (A) Correlación visual entre las propiedades ópticas de las nanopartículas esféricas de *amrita* y su tamaño, con el fin de introducir fenómenos de absorción y dispersión a través del mundo del *NiOH*. **(B)** Representación ilustrativa de los fenómenos de absorción y dispersión dados por la interacción de *Fuse-Ushi* con la luz incidente.

En *NiOH*, el personaje principal llamado *William* es un samurái que tiene la capacidad de invocar espíritus guardianes icónicos de la cultura japonesa mediante una técnica denominada *Living Weapon*, permitiéndole como resultado imbuir superficialmente su katana con varias propiedades elementales como el fuego o el agua para auxiliarlo en sus batallas (Video S1). Estos guardianes están hechos únicamente de un material divino llamado “*amrita*” y adoptan una forma esférica con diferentes tamaños y colores cuando se

encuentran en reposo. Como se muestra en la Figura 5A, las partículas de *amrita* muestran distinto color según su tamaño, siendo las dos primeras verdes incluso si el tamaño de *Izuna* es de 700 nm. Esto se debe a que, al no formar parte de la nanoescala, aquellos preconceptos asociados a las propiedades intensivas de la materia todavía son válidos. Por otro lado, una vez dentro del rango de la nanoescala, las pequeñas diferencias de diámetro producen cambios drásticos de color.

Esta es una característica distintiva de los nanomateriales que es el resultado de la contribución de dos fenómenos al interactuar con la luz: la absorción y la dispersión de la misma. Entendiendo el primero como el proceso por el cual la luz o una fracción de la misma es captada por la materia, mientras que el segundo involucra una desviación de la luz respecto de su ruta original (Figura 5B). Ambos fenómenos ocurren simultáneamente, pero presentan una dependencia con el tamaño donde la dispersión es más intensa a medida que incrementa el tamaño de la partícula. De esta forma, las partículas de *amrita* de 10 nm presentan una coloración amarilla atribuida mayoritariamente al fenómeno de absorción. Mientras que, al incrementar el tamaño, la diversidad de colores presentada es producto de un incremento en la intensidad de la dispersión de luz sumada a la absorción previamente mencionada.

Propiedades superficiales dependientes del tamaño

Las propiedades superficiales relacionadas con la nanoescala son otro concepto de suma importancia ya que la relación entre área superficial y volumen en nanopartículas tiene un efecto significativo en propiedades mecánicas (adhesión, fuerzas de capilaridad), térmicas (temperatura de fusión) y químicas (reactividad). A raíz de esto y haciendo énfasis en la reactividad, un material noble típico de la macroescala como el oro es utilizado actualmente como un nano catalizador para reacciones redox a niveles industriales (Chaiseeda *et al.* 2018).

Tomando la reactividad y su dependencia con el tamaño como tópico generativo se propone abordar al mismo mediante recursos ilustrativos y audiovisuales del videojuego *NiOH* que, enmarcados en un tópico no ficcional, presentan una continuidad discursiva/conceptual frente a la presentación de propiedades ópticas. Dicho abordaje detallado a continuación, comienza mencionando datos históricos sobre la elaboración de una katana y los procesos químicos involucrados, los cuales actúan como marco para argumentar de manera ilustrativa las diferencias en la reactividad química presentada por las partículas de *amrita* introducidas anteriormente.

Históricamente, una katana es forjada a partir de un acero especial llamado *tamahagane* generado a partir de la fundición de carbón y arena de hierro. Este último es caracterizado por presentar un color negro/gris oscuro debido a las elevadas concentraciones de magnetita (Fe_3O_4), un óxido de hierro mixto. Muchos instrumentos hechos a base de aceros sufren un proceso natural deseado llamado pasivación, donde la formación de una ligera capa superficial de óxido metálico evita la degradación de las capas sucesivas y las protege de agentes externos. En el caso de una katana, los procesos de oxidación superficial no son recomendados ya que transforman a un objeto afilado y mortífero en irregular e ineficiente.

Bajo este contexto, resulta pertinente indagar sobre un fenómeno presente en *NiOH*, donde el aumento de daño infringido a los enemigos proporcionado por el uso de un espíritu guardián depende de cuán reactivo sea el mismo cuando se aplica sobre la

superficie de la katana. Lo que lleva a preguntarnos ¿cómo es posible relacionar el aumento de daño proveído por los espíritus guardianes con su reactividad? Al aplicar superficialmente las partículas de *amrita* conteniendo a estos espíritus, las mismas interactúan mediante una unión química con óxidos indeseados promoviendo la reducción de los mismos. De esta forma, mientras más reactivas sean las partículas, mayor será la acción sobre los óxidos metálicos presentes en superficie, dejando la katana libre de oxido y aumentando de esa forma su letalidad. A su vez, producto de los fenómenos de absorción y dispersión de luz descriptos anteriormente el remanente de partículas de *amrita* en superficie le confiere al katana una coloración en función de su tamaño. (Figura 6).

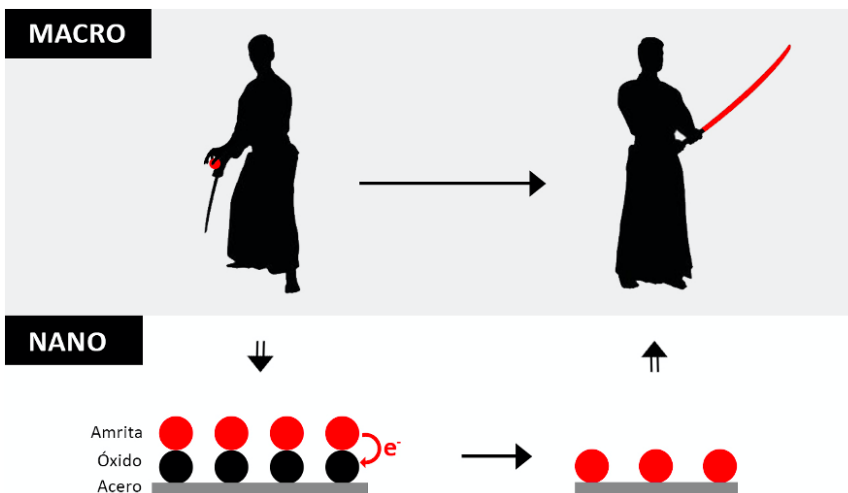


FIGURA 6. Representación de los fenómenos químicos presentes al aplicar una capa superficial de nanopartículas de *amrita* sobre una katana.

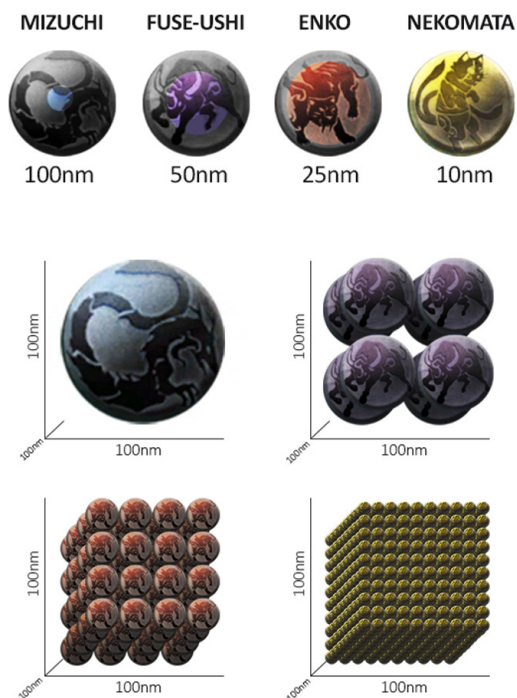


FIGURA 7. Diferencia en los niveles de letalidad de las nanopartículas de *amrita* asociados a su reactividad química, abordada a través de una representación ilustrada de la relación área superficial/volumen.

La figura 7 ilustra la reactividad química de cada espíritu guardián mediante una relación entre las áreas grises y las de color. Cuanto más atenuado está el espíritu guardián, menos reactividad presenta, lo que muestra una tendencia de aumento en los niveles de reactividad a medida que disminuye su tamaño. Esta estrategia ilustrativa es complementada mediante el uso de la secuencia de videos [S2](#), [S3](#), [S4](#) y [S5](#) donde puede verse como *William* inicia un duelo con *Li Naomasa*, un samurái del periodo Edo, poniendo a prueba la potencia que los espíritus guardianes *Mizuchi*, *Fuse-Ushi*, *Enko* y *Nekomata* le proveen. Con este objetivo, los cuatro videos muestran a *William* ejecutando un contraataque y posteriormente un golpe en simultáneo con sus katanas dobles cuyo color indican la utilización de un espíritu guardián, evidenciando una tendencia que se correlaciona con lo expuesto en la figura 7. De forma complementaria al material

audiovisual, esta dependencia entre el tamaño y la reactividad que suele explicarse sencillamente mediante una aproximación lógico cuantitativa, ya que la relación entre área superficial y volumen para las esferas es de $3 / r$; es recomendable que sea abordada en tándem haciendo uso de la región inferior de la figura 7 que propone un enfoque ilustrativo para comprender en profundidad este fenómeno. Si se deseara ocupar un volumen de $100 \times 100 \times 100 \text{ nm}^3$, en el caso de *Mizuchi* bastaría con colocar una sola nanopartícula. Mientras que, debido al tamaño reducido de los otros espíritus guardianes, lógicamente se necesitarán más nanopartículas para cubrir el volumen deseado. A su vez, a medida que disminuye el tamaño de partícula, una porción considerable de sus átomos se encuentra en la superficie en comparación con los que están dentro de ella. Por ejemplo, una nanopartícula de 10 nm como *Nekomata* tiene el 20% de sus átomos en su superficie, mientras que una de 25 nm como *Enko* tiene solo el 7% de sus átomos en su superficie. Dicho esto y considerando que gran parte de las reacciones químicas se producen a nivel superficial, el hecho de que las nanopartículas de *amrita* más pequeñas tengan un área superficial mucho mayor por unidad de volumen en comparación con las más grandes es la razón por la cual presentan mayor reactividad química.

Restore your honor. Kill ingeniously: Aplicaciones de la nanotecnología (Tiempo de desarrollo referencial: 25 minutos)

El carácter interdisciplinario de la nanotecnología no solo es evidente a nivel curricular sino también permea en el campo aplicado generando impacto social, ambiental y tecnológico. A nivel ambiental el alcance de la nanotecnología comprende, por ejemplo, el desarrollo de paneles solares conteniendo nanopartículas de silicio o titanio y el tratamiento de pesticidas residuales sobre suelos o aguas a partir de nanopartículas de níquel y cobalto (Mondal 2019; Khairy *et al.*, 2018; Sabzi y Mousavi 2018). La rama tecnológica involucra el desarrollo de leds para monitores integrando quantum dots de silicio y circuitos impresos flexibles a base de nanopartículas de oro y cobre (Choi *et al.*, 2018; Luechinger *et al.*, 2008). Finalmente, el impacto social articula necesidades diversas, desde la implementación de sustratos bactericidas haciendo uso de nanopartículas de plata, composites a base de nanotubos de carbono que favorecen el rendimiento deportivo, hasta tratamientos localizados para el cáncer aprovechando propiedades fisicoquímicas de nanopartículas magnéticas (Li y Tjong 2019; Shahidi y Moazzenchi 2018; Revia y Zhang 2015)

Si bien a la hora de introducir las potencialidades de una disciplina es deseable abordar la mayor cantidad de áreas vinculadas, llevar adelante un análisis tan amplio presenta diversas complejidades. Primero, cada material presenta una propiedad fisicoquímica determinada vinculada al campo de aplicación. Segundo, las mismas involucran distintos prerrequisitos conceptuales para poder ser interpretadas y tercero, llevar adelante un análisis en profundidad, evitando una presentación de carácter expositivo e informativo, es un proceso que demanda mucho tiempo.

Como alternativa este artículo propone el uso de la siguiente secuencia de recursos audiovisuales construidos a partir de elementos estéticos y ludonarrativos del videojuego *Sekiro: Shadows Die Twice* para introducir, de manera narrativa y dinámica, tanto las propiedades como el campo de aplicación un número considerable de nanomateriales que presentan gran relevancia en el contexto actual.

La narrativa de dicho videojuego se centra en un shinobi llamado *Wolf* que pierde su brazo en una batalla al intentar rescatar a su señor que había sido secuestrado por las

fuerzas militares de *Ashina*, su ciudad natal. Como resultado, su brazo es reemplazado por un dispositivo llamado *Shinobi Prosthetic* que contiene algunas mejoras haciendo uso de diversos nanomateriales para auxiliarlo en su misión. Bajo el nombre de *Sekiro* (lobo de un solo brazo) este shinobi deberá recuperar su honor haciendo uso ingenioso de las herramientas de su prótesis tal como se indica a continuación. (Figura 8).

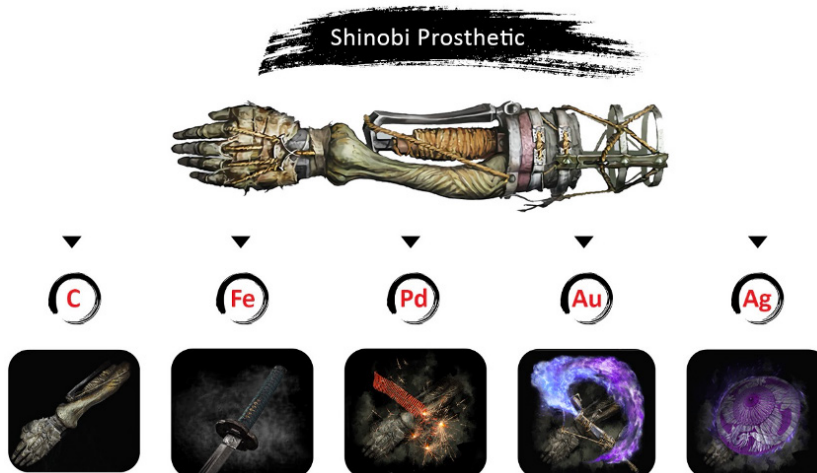


FIGURA 8. Nano mejoras de la prótesis shinobi (C: Carbono, Fe: Hierro, Pd: Paladio, Au: Oro, Ag: Plata) cuyas propiedades químicas se pueden usar para diversos propósitos ilustrados en formato de video.

Carbono (C): para un shinobi la movilidad es fundamental, es por eso que la cuerda presente en la prótesis de *Sekiro* contiene nanoestructuras orgánicas, como nanotubos de carbono, que le permiten explorar zonas abiertas moviéndose entre los techos mientras elimina enemigos sin ser detectado. Esta nano adición le proporciona a la cuerda un incremento en propiedades mecánicas como la resistencia, fuerza mecánica y elasticidad, mientras que reduce considerablemente su peso. (Video S6)

Hierro (Fe): la katana de *Sekiro* llamada *Kusabimaru* está hecha parcialmente de nanopartículas de magnetita, un óxido de hierro que presenta una propiedad magnética denominada paramagnetismo la cual le confiere a las partículas la capacidad de sufrir el mismo tipo de atracción y repulsión que los imanes normales siempre y cuando estén sometidas a un campo magnético. El uso de esta propiedad puede resultar beneficioso durante sus enfrentamientos y sus aplicaciones difieren según las circunstancias. En una situación de 1 contra 1, *Sekiro* puede usar shurikens de neodimio que actúan como un imán para atraer su katana a pesar de la distancia que se encuentre. Esto permite que un shinobi acorte la brecha con un enemigo una vez que es golpeado por esta herramienta (Video S7).

Por otro lado, a pesar de su agilidad, es una tarea difícil para un shinobi vencer a varios enemigos simultáneamente sin una forma de recurrir al sigilo. Una vez más, *Sekiro* utilizará la magnetita en su katana en conjunto con la capacidad inherente de su prótesis de aplicar un campo magnético, generando un fenómeno sinérgico característico de este nanomaterial. Cuando apuñala a un enemigo y aplica el campo magnético, las nanopartículas de magnetita se calientan como respuesta, hirviendo la sangre del enemigo hasta el punto de generar una nube con ella; permitiéndole recuperar el sigilo y derrotar a los enemigos de manera similar. (Video S8)

Paladio (Pd): si bien las peleas con múltiples enemigos pueden ser resueltas haciendo uso de las propiedades de la magnetita, una condición crucial para hacer uso de esa estrategia es que al menos la primera víctima sea sorprendida por la espalda. Esto implicaría que en

ocasiones adversas donde *Sekiro* es previamente detectado por un grupo de enemigos la derrota es inminente, pero esta no es una afirmación del todo cierta. Para estos casos el uso de petardos conteniendo nanopartículas de paladio incorporados en la parte inferior de la muñeca de la prótesis shinobi le permiten a *Sekiro* causar una explosión en un arco de 90° o 360° y aturdir a un grupo de enemigos para pasar a la ofensiva. Aprovechando la capacidad de estas partículas para catalizar reacciones de combustión a bajas temperaturas producto de la dependencia de las propiedades químicas con el tamaño, puede ajustar la cantidad de paladio presente en las tiras de petardos para generar explosiones con distinto tiempo de retardo según la condición amerite, a modo de ejemplo en casos donde el enemigo es veloz, la interrupción deberá ser instantánea. (Video S9)

Oro (Au): una de las premisas de ser un shinobi es asesinar ingeniosamente, pero no hay nada que haga referencia a la estética con la que se lleva a cabo. Un accesorio estándar de lanzallamas para la prótesis shinobi produce una llama de color naranja típica de la combustión orgánica (Video S10), pero en el caso de *Sekiro* la estética juega un papel importante. Es por eso que con la adición de un pellet que contiene una solución de nanopartículas de oro dentro del cañón la llama se tiñe de azul una vez que se usa la herramienta, ya que las partículas se dispersan por la llamarada confiriéndole esta coloración producto de la absorción y dispersión de luz. (Video S11)

Plata (Ag): en lo profundo de una cueva abandonada descansa un "Guerrero *Shichimen*", una criatura de otro mundo que puede propagar bacterias desconocidas bajo la forma de cráneos que matan instantáneamente a los enemigos cercanos. Sabiendo que guarda una pieza ceremonial valiosa y para obtenerla esta criatura debe ser derrotada, la prótesis de *Sekiro* presenta una herramienta adecuada. Gracias a la adición de un paraguas desplegable cubierto con nanopartículas de plata caracterizadas por sus propiedades antibacterianas, *Sekiro* se mantiene totalmente inmunizado durante la pelea recurriendo al paraguas de manera oportuna cuando el enemigo haga su movimiento. (Video S12)

Con esta demostración dinámica contextualizada en el universo de un videojuego perteneciente al género *Souls-like*, se introdujeron propiedades distintivas de algunos nanomateriales para análogamente ejemplificar su aplicabilidad en el contexto real. La movilidad, la respuesta magnética y térmica presentes en las nanopartículas de magnetita, representadas por la katana y la prótesis de *Sekiro*, introducen la importancia de los nanomateriales para la salud. Nanopartículas de magnetita funcionalizadas con proteínas determinadas se pueden introducir en el torrente sanguíneo para reconocer y unirse específicamente células cancerígenas. Luego, simplemente aplicando un campo magnético inofensivo al cuerpo humano, estas nanoestructuras comienzan a calentarse quemando los tumores incipientes (Revia y Zhang 2015). Siguiendo una lógica similar, el paraguas recubierto de plata encuentra su correlación en el mundo real, donde se utilizan nanopartículas de plata para la formulación de pinturas bactericidas utilizadas en hospitales (Li y Tjong 2019).

En campos de aplicación diferentes, la resistencia de la cuerda presente en la prótesis obtenida a partir nanoestructuras de carbono se puede comparar con la incorporación de nanotubos de carbono en raquetas de tenis, palos de golf o indumentaria deportiva; la cual genera efectos sinérgicos sobre diversas propiedades mecánicas (Shahidi y Moazzenchi 2018; Tan y Zhang 2012). Las nanopartículas de paladio que *Sekiro* utiliza para alterar el tempo del combate en su favor, actúan como catalizadores de combustión en industrias para descomponer sustancias orgánicas a temperaturas significativamente más bajas que las requeridas en la

normalmente, minimizando así la producción y emisión de especies de óxido de nitrógeno responsables de la lluvia ácida y la formación de smog (Nasrollahzadeh 2019; Leso y Ivavicoli 2018). Finalmente, la tinción de las nanopartículas de oro carece de funcionalidad estética en la vida real, siendo las propiedades ópticas de absorción y dispersión de estas partículas una herramienta indispensable en el proceso de tinción celular y diagnóstico por imágenes orientado a la investigación biológica (Ilvoitsh *et al.*, 2015; Gao 2012).

Conclusiones

Desde una perspectiva teórica, resultó factible hacer uso de videojuegos correspondientes al género *Souls-like* (*Bloodborne*, *NiOH*, *Sekiro*) para introducir conceptos básicos de la nanotecnología mediante la construcción de analogías con diversos grados de dinamismo, actuando las mismas como puertas de entrada de diversa índole. Estético-narrativo, basado en relatos indirectos que provean contexto a una secuencia de videos que potencien aspectos sensoriales, actuando en representación de conceptos con excesivos grados de abstracción como pueden ser las propiedades ópticas y de superficie de la nanoescala. Como también fundacional que, auxiliado por los recursos anteriormente mencionados, facilitó la presentación de aplicaciones mediante el planteamiento de diversas problemáticas reales vinculadas con la nanotecnología. Aunque este enfoque requiere un grado considerable de pericia en este género de videojuegos para seleccionar juiciosamente los aspectos más adecuados para esta tarea, es relevante recalcar la importancia de que cualquier propuesta que integre este tipo de recursos se construya de manera interdisciplinaria. Como nota final, si bien el uso propuesto de los videojuegos podría considerarse un enfoque conservador, es de suma importancia señalar que el desafío de implementar este medio como recurso en el campo educativo se encuentra en constante evolución por lo que un acercamiento de esta índole a las ciencias duras puede actuar como un disparador para el diseño de propuestas superadoras.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Dr. Gabriel Ybarra por ayudar a construir puentes conceptuales entre la nanotecnología y los videojuegos desde una perspectiva científica y a la DG. Sabrina Paniagua por su asistencia en la creación de ilustraciones.

Referencias

- Aaron, C., Hung, Y. (2017). A Critique and Defense of Gamification. *Journal of Interactive Online Learning*, 15(1), 57-72. <https://www.ncolr.org/jiol/issues/pdf/15.1.4.pdf>.
- Adachi, P., Willough, T. (2013). Demolishing the competition: the longitudinal link between competitive video games, competitive gambling, and aggression. *Journal of Youth and Adolescence*, 42(7), 1090-104. <https://doi.org/10.1007/s10964-013-9952-2>.
- Cademartiri, L., Ozin, G. (2010). *Concepts of Nanochemistry*. Wiley-VCH, Weinheim. <https://doi.org/10.1002/anie.201000743>.
- Calvo, J.R. (2015). Educational games as stand-alone learning tools and their motivational effect on L2 vocabulary acquisition and perceived learning gains. *British Journal of Educational Technology*, 48(29), 264-278. <https://doi.org/10.1111/bjet.12387>.

- Chaiseeda, K., Nishimura, S., Ebitani, K. (2017). Gold Nanoparticles Supported on Alumina as a Catalyst for Surface Plasmon-Enhanced Selective Reductions of Nitrobenzene. *ACS Omega*, 2(10), 7066-7070. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01248>.
- Chevallard, Y. (1998). *La transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. La pensée Sauvage, Argentina. https://www.terras.edu.ar/biblioteca/11/11DID_Chevallard_Unidad_3.pdf.
- Choi, E., Shin, S., Ryu, J. (2020). Commercial video games and cognitive functions: video game genres and modulating factors of cognitive enhancement. *Behavioral and Brain Functions*, 16(2). <https://doi.org/10.1186/s12993-020-0165-z>.
- Choi, M., Yang, J., Hyeon, T. (2018). Flexible quantum dot light-emitting diodes for next-generation displays. *npj Flex Electron*, 2(10). <https://doi.org/10.1038/s41528-018-0023-3>.
- Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G., Angelova, G. (2015). Gamification in Education: A Systematic Mapping Study. *Journal of Educational Technology & Society*, 18, 75 -88.
- Duit, R. (1991). *On the role of analogies and metaphors in learning science*. *Science Education*, 75, 649-672.
- Erenli, K. (2012). *The impact of gamification: A recommendation of scenarios for education*. 15th International Conference on Interactive Collaborative Learning, pp 1-8.
- Garate, O., Veiga, L., Lloret, P., Ybarra, G. (2019). Introducción a los fenómenos ópticos de nanopartículas metálicas a través simulaciones computacionales en línea. *Educación Química*, 30(31). <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.1.64777>.
- Gardner, H. (1991). *The Unschooled Mind: How Children Think and How Schools Should Teach*. New York: BasicBooks.
- Gao, J., Huang, X., Liu, H., Zan, F., Ren, J. (2012). Colloidal Stability of Gold Nanoparticles Modified with Thiol Compounds: Bioconjugation and Application in Cancer Cell Imaging. *Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids*, 28(44), 64-71. <https://doi.org/10.1021/la204289k>.
- Hakan, F. (2017). Students' experiences of their knowledge formation in a one-to-one computer initiative. *Education Inquiry*, 8, 123-136. <https://doi.org/10.1080/20004508.2016.1275190>.
- Hamari, J., Koivisto, J., Sarsa, H. (2014). Does Gamification Work? — A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. *47th Hawaii International Conference on System Science*, 12, 3025-3034. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377>.
- Harper, B., Millman, N. (2016). One-to-One Technology in K-12 Classrooms: A Review of the Literature from 2004 Through 2014. *Journal of Research on Technology in Education*, 48, 129-142. <https://doi.org/10.1080/15391523.2016.1146564>.
- Ilovitsh, T., Danan, Y., Meir, R., Meiri, A., Zalevsky, Z. (2015). Cellular imaging using temporally flickering nanoparticles. *Scientific Reports*, 5, 1-6. <https://doi.org/10.1038/srep08244>.

- Ingham, A. (1991). The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Research in Science Teaching*, 13, 193-202. <https://doi.org/10.1080/0950069910130206>.
- Izquierdo Aymerich, M., Sanmarti, N., Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las practicas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las ciencias*, 17, 45-49. <https://bit.ly/34wQooj>.
- Khairy, M., Ayoub, H., & Banks, C. (2018). Non-enzymatic electrochemical platform for parathion pesticide sensing based on nanometer-sized nickel oxide modified screen-printed electrodes. *Food Chemistry*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.004>.
- Kühn, S., Tycho, K., Schmalen, K., Weichenberger, M., Witt, C., Gallinat, J. (2018). Does playing violent video games cause aggression? A longitudinal intervention study. *Molecular Psychiatry*. <https://doi.org/10.1038/s41380-018-0031-7>.
- Kusma, G. P., Wigati, K. E., Utomo, Y., Suryapranata L. K. (2018). Analysis of Gamification Models in Education Using MDA Framework. *Procedia Computer Science*, 135, 385 – 392. <https://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.187>.
- Lei, J., Zhao, Y. (2008). One-to-One Computing: ¿What Does it Bring to Schools? *Journal of Educational Computing Research*, 39, 97-122. <http://dx.doi.org/10.2190/EC.39.2.a>.
- Leso, V., Iavicoli, I. (2018). Palladium Nanoparticles: Toxicological Effects and Potential Implications for Occupational Risk Assessment. *International Journal of Molecular Sciences*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijms19020503>.
- Liao, C., Li, Y., Tjong, S. (2019). Bactericidal and Cytotoxic Properties of Silver Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(2), 449. <https://doi.org/10.3390/ijms20020449>.
- Libedinsky, M. (2014). *Diseño de secuencias de actividades de aprendizaje basadas en géneros*. VIII Congreso Iberoamericano de Docencia Universitaria y de Nivel Superior (VIII CIDU). <https://bit.ly/3fBMRv6>.
- Luechinger, N., Athanassiou, E., Stark, W. (2008). Graphene Stabilized Copper Nanoparticles as An Air-Stable Substitute for Silver and Gold In Low-Cost Ink-Jet Printable Electronics. *Nanotechnology*, 19(44), 5201. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/44/445201>.
- Mondal, A. (2019). Cobalt nanoparticles as recyclable catalysts for degradation of imidacloprid pesticide in aqueous media. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 23(18).
- Morales, S., Cabrera, Magela, & Rodríguez, Gabriela. (2018). Informal learning strategies for transmedia skills in adolescents in Uruguay. *Comunicación y sociedad*, 33, 65-88. <https://dx.doi.org/10.32870/cys.v0i33.7007>.
- Nah, F., Zeng., Telaprolu, V., Ayyappa, A., Eschenbrenner, B. (2014). Gamification of Education: A Review of Literature. In: Nah F.FH. (eds) HCI in Business. HCIB 2014. *Lecture Notes in Computer Science*, 8527, 401 - 409. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07293-7_39.

- Nasrollahzadeh, M., Sajjadi, M., Shokouhimehr, M., Varma, R. (2019). Recent developments in palladium (nano)catalysts supported on polymers for selective and sustainable oxidation processes. *Coordination Chemistry Reviews*, 397. 54-75. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2019.06.010>.
- Oceja, J., Fernandez, N. (2018). Videojuegos y aprendizaje ¿Por qué la gamificación y los juegos educativos no son suficientes? En: Torres-Toukoumidis, A., Romero-Rodriguez, L. (2018). Gamificación en Iberoamérica. Experiencias desde la comunicación y la educación, pp 55 -70.
- Peng, Zhe & Jimenez, Jose. (2019). KinSim: A Research-Grade, User-Friendly, Visual Kinetics Simulator for Chemical-Kinetics and Environmental-Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*, 96(4), , 806–811. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00033>.
- Revia, R., Zhang, M. (2015). Magnetite nanoparticles for cancer diagnosis, treatment, and treatment monitoring: Recent advances. *Materials Today*, 19(3), 157-168. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2015.08.022>.
- Sabzi, M., Mousavi, H. (2018). Microstructural Analysis and Optical Properties Evaluation of Sol-Gel Heterostructured NiO-TiO₂ Film Used For Solar Panels. *Ceramics International*. 45(3), 3250-3255. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.10.229>.
- Sánchez, A. (2015). *Preparación y propiedades ópticas de nanobarras de oro recubiertas con sílice y fluoróforos orgánicos*-[Tesis, Universidad de Buenos Aires].
- Schultz, D., Joshi, T. (1991). *An Epicure in the Terrible: A Centennial Anthology of Essays in Honor of H.P. Lovecraft*. Fairleigh Dickinson Univ Press, USA.
- Seaborna, K., Felsb, D. (2015). Gamification in theory and action: A survey. *International Journal of Human-Computer Studies*, 74, 14-31. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.09.006>.
- Serena, P. A., Giraldo, J. J., Takeuchi, N., Tutor, J. D. (2014). Guía didáctica para la enseñanza de la nanotecnología en educación secundaria. CYTED - nanoDYF. <https://bit.ly/3yPgmkL>.
- Shahidi, S Moazzenchi, B. (2018). Carbon nanotube and its applications in textile industry – A review. *The Journal of The Textile Institute*, 109(12), 1653-1666. <https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1437114>.
- Sypsas, Athanasios & Kalles, Dimitris. (2018). Virtual laboratories in biology, biotechnology and chemistry education: a literature review. 70-75. <https://doi.org/10.1145/3291533.3291560>.
- Tan D., Zhang Q. (2012). *Research of Carbon Nanotubes/Polymer Composites for Sports Equipment*. In: Zhang T. (eds) Future Computer, Communication, Control and Automation. Advances in Intelligent and Soft Computing, vol 119. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25538-0_20.
- Zendle D, Cairns P (2018). Video game loot boxes are linked to problem gambling: Results of a large-scale survey. *PLoS ONE* 13(11), e0206767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206767>.