

VIDA CIENTÍFICA

La serie *Nuevos Materiales*, que nos acompaña desde el número 0, dedica su octava edición a los fluidos complejos. Estos materiales tienen la propiedad de que bajo la acción de campos externos cambian sus propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas, retornando a su situación primitiva cuando cesa la acción de los campos. Entre ellos cabe destacar los electro-reológicos, los magneto-reológicos y los ferrofluidos. Los profesores Rubio, de la UNED, y Melle y Domínguez, de la UCM, nos describen tanto su comportamiento como algunas aplicaciones recientes de gran interés en campos como la bio-ingeniería, la automoción o la construcción.

En el apartado de *Colaboraciones*, contamos esta vez con un trabajo de Biología de la profesora Morcillo, dedicado al comportamiento de las células en situaciones de estrés, debidas fundamentalmente a los cambios ambientales. Esperamos poder ofrecer desde ahora también colaboraciones en estos campos, ya que se inicia una nueva andadura en nuestra Facultad con la implantación de la licenciatura en Ciencias Ambientales y, por lo tanto, se amplían los temas de interés de nuestros lectores.

En el área de Física, el profesor Criado nos presenta la vida y la obra de Ilya Prigogine, Premio Nobel de Química en 1977, fallecido el 28 de mayo del año pasado. Su pérdida, a los 86 años de edad, ha sido un duro golpe para todos aquellos que aman la Ciencia en general y la Termodinámica en particular. Pero para el conjunto de la comunidad universitaria de la UNED su adiós significa un hueco insustituible, pues era Doctor Honoris Causa de la UNED desde 1985. Agradecemos especialmente al profesor Criado que nos haya proporcionado esta entrañable y, a la vez, rigurosa colaboración.

En el área de las Matemáticas, el profesor Moreno nos indica cómo esta materia puede ayudar a comprender las actividades financieras y, al mismo tiempo, permitir el desarrollo de métodos eficientes de inversión y gestión. Y, en el área de Química, la profesora Rojas nos describe los diferentes tipos de los denominados

compuestos de intercalación y algunas de sus aplicaciones en la vida cotidiana.

En nuestros apartados de *Novedades científicas*, *Semblanzas de los Premios Nobel* y *Efemérides*, seguimos contando con la colaboración de diferentes profesores de la Facultad que, dedicándonos un poquito de su tiempo, han hecho posible que tengamos aquí recopilada una valiosa información, tanto para estudiantes como para profesores. Cabe destacar las colaboraciones de los profesores Ros, de la Universidad Politécnica de Cataluña, y Sellés, de la Facultad de Filosofía de la UNED, que, en el apartado de Efemérides, nos describen la importancia de los tránsitos de los planetas para la determinación de la unidad astronómica de distancia y las expediciones científicas del siglo XVIII para la observación del tránsito de Venus, respectivamente.

En el apartado de *Las mujeres y la Ciencia* informamos de la entrega del Premio Elisa Pérez Vera (6ª edición) para trabajos sobre mujer, género y feminismo, que tuvo lugar el pasado 8 de marzo, día internacional de la mujer trabajadora. En el marco del mismo, la bióloga Josefina Castellví impartió una conferencia sobre el Plan Nacional de Investigación en la Antártida, del que durante diez años fue gestora, así como de la creación y el mantenimiento de la base española en el territorio austral. Además, en este mismo apartado, la profesora Teresa Claramunt nos relata la biografía de Rita Levi Montalcini, Premio Nobel de Fisiología y Medicina de 1986 por su contribución al conocimiento del sistema nervioso, poniendo en evidencia su faceta de científica comprometida con la construcción de un mundo igualitario (entre países pobres y ricos, entre hombres y mujeres, etc.).

Y, por último, en las *Colaboraciones científicas de otras ramas del saber*, la profesora Fernández Hernando, de la UNED, y el Doctor Jorge Herrero, de la Clínica Puerta de Hierro, nos describen los Dispositivos para implantes cardiovasculares, segunda parte del trabajo que nos ofrecieron en el número anterior (véase **100cias@uned**, nº 6 (2003), págs. 35-41).

NUEVOS MATERIALES

Suspensiones coloidales que responden a campos externos

Muchos de los nuevos materiales de desarrollo reciente entran dentro

de la categoría que se denomina habitualmente "fluidos complejos" [1]. Con este apelativo se intenta diferenciar aquellos fluidos que, debido a su estructura microscópica, es decir, sus componentes elementales y las interacciones entre los mismos, presentan propiedades macros-

cópicas especiales. El ejemplo típico de estos *fluidos complejos* son los fluidos poliméricos [2], en los que la deformación de las cadenas moleculares bajo flujos macroscópicos, y la posterior recuperación de su forma de equilibrio estadístico cuando cesa el flujo, confieren al fluido propie-

dades, como la viscoelasticidad o la existencia de diferencias de tensiones normales, que tienen extraordinaria importancia a la hora del procesado industrial de dichos compuestos.

Entre los fluidos complejos que más interés han suscitado en los últimos años, y que mayor número de aplicaciones prácticas han permitido, se encuentran varios tipos de fluidos que se pueden englobar en un grupo que denominaremos "suspensiones coloidales que responden a campos externos"[1], al cuál en adelante nos referiremos por medio de su abreviatura inglesa FRCD (*field responsive colloidal dispersions*). Se trata de suspensiones de partículas, más o menos monodispersas, en determinados fluidos soporte. La característica común a todas ellas es que la naturaleza de sus partículas hace que bajo la presencia de campos externos, eléctricos o magnéticos según el caso, las partículas en suspensión adquieran momento dipolar. Con posterioridad, e independientemente del carácter del campo polarizante, la interacción entre los dipolos hace que las partículas en suspensión se agreguen formando cúmulos que, como veremos, tienen una geometría característica, y que confieren al fluido propiedades mecánicas y ópticas muy especiales y de gran interés práctico.

El primer requisito que debe cumplir una suspensión de partículas para ser un candidato aceptable dentro de esta clase de materiales es que debe tener *estabilidad coloidal* [3]. Esta estabilidad coloidal involucra dos aspectos distintos:

- En condiciones de equilibrio –sin campo externo- las partículas no deben presentar efectos apreciables de sedimentación. Es decir, deben tener una densidad muy similar a la del fluido soporte.
- La agregación de las partículas debe ser reversible, es decir, sin campo externo, la energía de interacción entre partículas debe ser menor que la energía de las fluctuaciones térmicas ($k_B T$), de forma que dichas fluctuaciones garanticen la desagregación de los cúmulos de partículas. Esto se consigue seleccionando químicamente la carga superficial de las partículas (por ejemplo, dejando terminales –COOH en su superficie, lo que en disolución acuosa da una carga superficial negativa) y utilizando surfactantes.

CLASES

Obviamente, el segundo requisito es que sean *polarizables* por medio de la acción de campos externos. Las distintas formas prácticas de inducción del momento dipolar en las partículas permiten clasificar a las FRCD en tres tipos distintos que se describen a continuación (ver resumen en la Tabla 1).

- *Fluidos electro-reológicos*: En este caso el momento dipolar se genera por medio de un campo eléctrico. Por ello, el fluido soporte debe ser aislante (aceites minerales, hidrocarburos, etc.) y las partículas deben ser no conductoras, por lo que se suelen utilizar partículas de vidrio, materiales poliméricos o cerámicos. El tamaño típico de estas partícu-

las puede variar en un rango bastante amplio entre 0,1 y 100 micras, y el momento dipolar de las mismas no es permanente.

- *Fluidos magneto-reológicos*: El momento dipolar se induce por medio de un campo magnético, de manera que, en este caso, el fluido soporte puede ser polar o no polar; de hecho se utilizan incluso suspensiones acuosas. Las partículas suelen tener diámetros entre 0,1 y 100 micras. Como es lógico, interesa que la susceptibilidad magnética de las partículas sea alta, pero también que al suprimir el campo externo el momento dipolar desaparezca. Esto se consigue utilizando partículas compuestas de una matriz polimérica (habitualmente poli-estireno), en la que se dispersan gránulos de magnetita de unos cuantos nanómetros de diámetro, o bien se encapsula un núcleo de magnetita. Las partículas así obtenidas presentan características magnéticas especiales –se iman bajo un campo externo, pero no presentan imanación remanente ni histéresis– y se denominan "super-paramagnéticas".

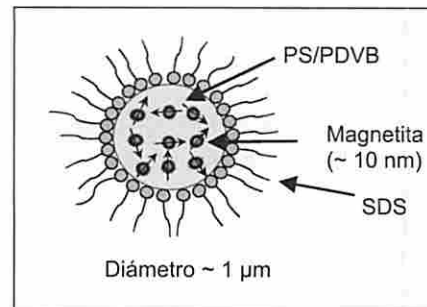


Figura 1. Esquema de la estructura de una partícula superparamagnética. PS/PVD: matriz polimérica (poliestireno/poli-divinilbenceno); SDS: surfactante (dodecilsulfato sódico).

Tabla 1

	Electro-reológicos	Magneto-reológicos	Ferrofluidos
Fluido soporte	Aislante (Aceites minerales)	Polar o no polar	Polar o no polar
Partículas	Dieléctricas	Superparamagnéticas (dispersas o encapsuladas)	Magnéticas monodominio
Diámetro	0,1 - 100 m	0,1 - 100 m	5 - 10 nm
Dipolos	No permanentes	No permanentes	Permanentes

• **Ferrofluidos:** En estas suspensiones, el fluido soporte puede ser polar o no polar, pero las partículas magnéticas son de magnetita y de tamaño mucho menor, con diámetros entre 5 y 10 nanómetros. Este tamaño tan reducido hace que dichas partículas tengan imanación permanente y sean monodominio. El comportamiento de los ferrofluidos [4] es cualitativamente distinto al de los otros dos grupos, dado que, en ausencia de campo externo, la energía de interacción entre los dipolos permanentes es similar a la de las fluctuaciones térmicas, con lo que la estructura microscópica de la suspensión presenta agregados de partículas desordenados, muy ramificados y poco “rígidos”. Al aplicar el campo externo estos agregados tienden a orientarse según la dirección del campo, pero el comportamiento del material sigue siendo el de un fluido de viscosidad ligeramente superior a la del fluido soporte. Por ello en el texto restante nos limitaremos a discutir el comportamiento y las aplicaciones de los fluidos electro- y/o magneto-reológicos.

¿QUÉ OCURRE AL APLICAR EL CAMPO?

El sufijo “reológico” en la denominación de estos fluidos indica que son las propiedades macroscópicas de flujo y deformación de estos materiales las que cambian de manera drástica cuando se les somete a la acción de campos externos. La manera más habitual de registrar dichos efectos es realizar un experimento de reometría de torsión [5]. Para ello se coloca una muestra del fluido entre dos platos circulares horizontales, de los cuales uno se mantiene en posición fija, mientras que al otro se le impone un par de rotación (esfuerzo de cizalla) y se mide la evolución temporal del ángulo girado (deformación) por el plato.

Bajo la acción de un campo eléctrico o magnético perpendicular a las superficies de los platos, el comportamiento típico de un fluido

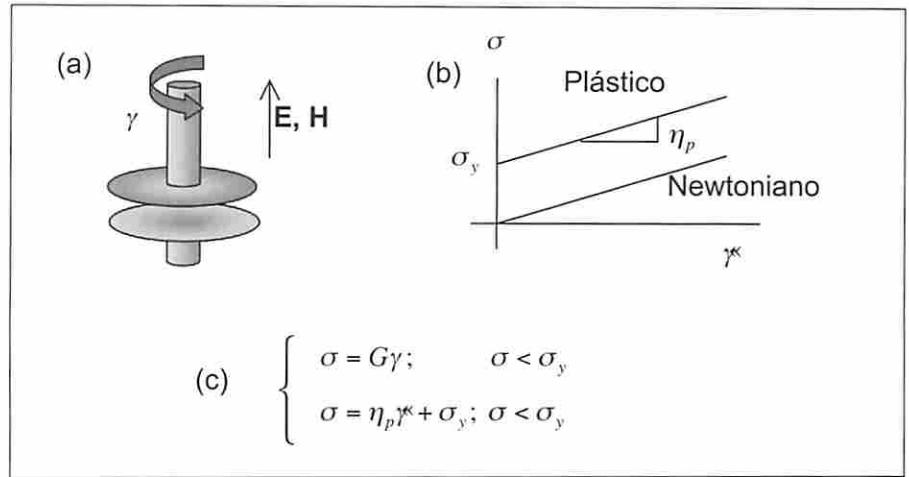


Figura 2. a) Esquema de un experimento de reometría de torsión; γ representa la deformación. b) Comportamientos típicos de un fluido newtoniano y un fluido magnetoreológico; γ^* representa el esfuerzo de cizalla, σ_y el esfuerzo umbral y η_p la viscosidad de la fase plástica. c) Ley fenomenológica para un plástico de Bingham; G representa el módulo de elasticidad en la fase elástica.

electro- o magneto-reológico es el siguiente [1]:

Para esfuerzos de cizalla pequeños, el material se comporta como un sólido elástico, adquiriendo una deformación estacionaria dependiente del esfuerzo de cizalla aplicado.

Por encima de un cierto valor umbral del esfuerzo de cizalla, el material “cede” y se comporta como un fluido viscoso cuya viscosidad depende del campo aplicado.

Esta fenomenología se suele denominar comportamiento “plástico de Bingham”. Es importante destacar que con una selección apropiada del fluido soporte y de las partículas en suspensión se pueden alcanzar valores muy altos del esfuerzo umbral para que el material ceda (hasta 100 kPa) y de la viscosidad, que puede llegar hasta un

millón de veces el valor de la viscosidad del fluido soporte.

La causa última de estos cambios reside en la modificación que experimenta la micro-estructura de la suspensión bajo la acción de la interacción dipolar entre las partículas. En efecto, dadas dos partículas con dipolos inducidos idénticos m , en la configuración que se ve en la figura 3, su interacción vendrá dada por una fuerza tal como la expresada en la misma figura.

Es fácil ver que la componente azimutal de dicha fuerza tiende a colocar a las dos partículas alineadas en la dirección del campo externo y que, en tal posición, la componente radial de la fuerza es atractiva. Por lo tanto, si la energía de interacción dipolar en esa configuración es mayor que la energía de las fluctuaciones térmicas, las partí-

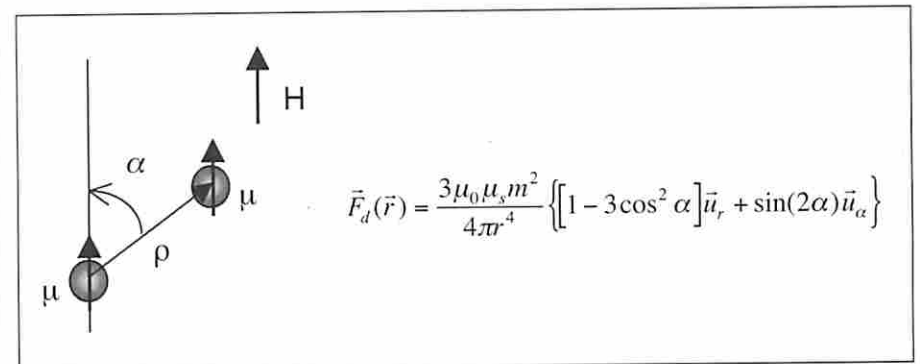


Figura 3. Fuerza de interacción dipolar entre dos partículas magnéticas de momento dipolar igual y alineado con el campo.

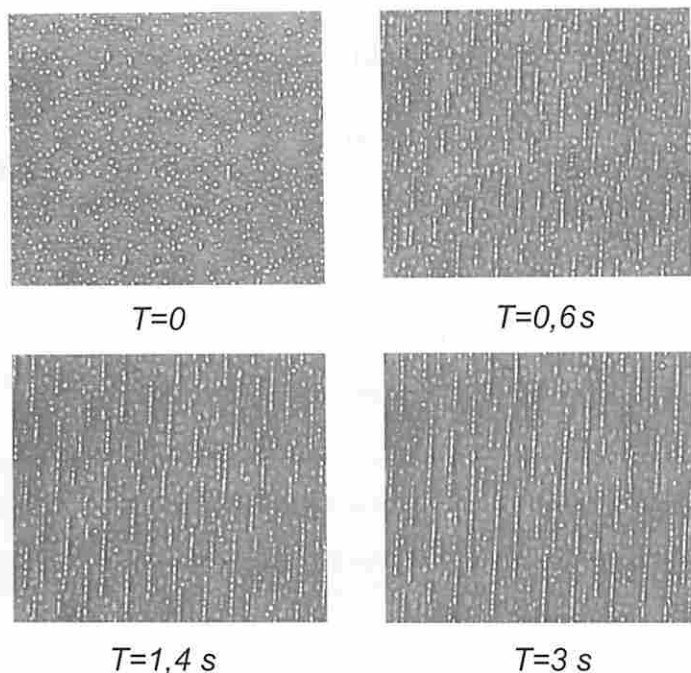


Figura 4. Imágenes de microscopía del proceso de agregación al aplicar el campo magnético. Fracción de volumen de la suspensión 0,0005; $H=12,4$ kA/m.

culas se agregarán formando estructuras en la forma de collares de perlas alineados con el campo [6]. Estas estructuras son las que producen el sorprendente cambio en las propiedades mecánicas de estos materiales. En la figura 4 se ilustra este cambio en la microestructura de una suspensión acuosa de partículas super-paramagnéticas de aproximadamente una micra de diámetro; las imágenes han sido obtenidas por medio de una técnica de videomicroscopía.

APLICACIONES

Es evidente que la posibilidad de, por la simple aplicación de un campo externo, cambiar las características del material, de forma que pase de ser un fluido prácticamente newtoniano a un sólido elástico, ofrece innumerables posibilidades tecnológicas. Por ejemplo, en sistemas en los que se requiera controlar de manera on/off un flujo, o sistemas en los que se desee controlar el movimiento relativo de dos piezas sólidas entre las que hay un fluido.

También es obvia la utilidad en posibles aplicaciones del régimen

de flujo viscoso con una viscosidad controlable por medio de un campo externo (en el fondo, una corriente eléctrica). Además, la respuesta de estos fluidos a la aplicación del campo externo puede ser bastante rápida, particularmente en el caso de los magneto-reológicos que pueden tener tiempos de respuesta del orden de milisegundos.

La mayor parte de las aplicaciones industriales de estos materiales se basan en fluidos magneto-reológicos, dado que presentan grandes ventajas sobre los electro-reológicos, mientras que los electro-reológicos solamente ofrecen la ventaja de necesitar para su activación menor consumo energético. Algunas de las ventajas de los magneto-reológicos son:

- Valores del esfuerzo umbral al menos diez veces mayores, lo que permite trabajar con materiales más “rígidos”.
- Tiempos de respuesta entre 10 y 100 veces menores, lo que facilita su utilización en sistemas de control de procesos más rápidos.
- Mayor estandarización de los procesos de producción¹.

- Mayor estabilidad a tiempos largos.

Seguidamente comentaremos algunas de las aplicaciones prácticas de estos materiales. Una buena parte de ellas puede encontrarse en las páginas Web de la compañía Lord Corporation [7] y se pueden clasificar en tres campos distintos: Automoción, Construcción y Bioingeniería.

En el campo de la *Automoción* podemos distinguir dos tipos de aplicaciones muy recientes:

Frenos y embragues magnéticos: Evidentemente ésta ha sido la primera aplicación industrial y normalmente funcionan en términos de excitación on/off. Básicamente estos dispositivos se construyen sustituyendo las superficies de fricción de frenos y embragues por un fluido magnetoreológico, que puede tener baja o alta viscosidad, dependiendo de que se active o no el circuito eléctrico de pilotaje del dispositivo.

Sistemas de amortiguamiento y suspensiones activas: Los amortiguadores de los automóviles incluyen de manera habitual la utilización de un fluido (gas o líquido) en sus cavidades internas. La sustitución de dicho fluido por otro magneto-reológico permite un control, por medio de un sistema electrónico de las prestaciones del amortiguador, ya que permiten controlar la viscosidad del fluido interno. Es de destacar que este tipo de suspensión activa ya se ofrece como opción de fábrica en determinados modelos americanos [8].

Las aplicaciones en *Construcción* son, probablemente, las más espectaculares que se han realizado hasta ahora de estos materiales. Como ejemplo podemos citar la protección anti-sísmica de edificios, finalidad para la que se han construido amortiguadores *activos* que pueden ejercer fuerzas de hasta 500 kN (equivalentes a un peso de 50 Tm). Otra de las aplicaciones “estrella” de estos dispositivos es el control acti-

¹ En el caso de los fluidos electro-reológicos, pequeñas cantidades de agua adsorbida en la superficie de las partículas pueden cambiar muy fuertemente las propiedades de polarización dieléctrica.

vo de vibraciones en los cables de puentes colgantes. Probablemente no hay estudiante universitario de Física que no haya visto la filmación del hundimiento del puente colgante de Tacoma Narrow debido a las vibraciones inducidas por un fuerte vendaval. Hoy en día esta posibilidad se evita de forma efectiva por medio de la instalación de amortiguadores activos en los cables del puente.

Finalmente, en *Bio-ingeniería* se están usando ya amortiguadores activos para aumentar el confort de marcha en prótesis artificiales de rodilla. Otra vía, aún en estado de estudio preliminar es la de utilizar materiales compuestos, en los que el fluido soporte se sustituye por

un gel elástico, como “músculos artificiales”.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R.G. Larson, *The Structure and Rheology of Complex Fluids*, Oxford University Press, Nueva York, 1999.
- [2] G. Strobl, *The Physics of Polymers*, Springer, Berlin, 1997.
- [3] W.B. Russel, D.A. Saville y W.R. Schowalter, *Colloidal Dispersions*, Cambridge University Press, 1989.
- [4] R.E. Rosensweig, *Ferrohydrodynamics*, Dover Publications, Nueva York, 1985.
- [5] E. Riande, R. Díaz-Calleja, M.G. Prolongo, R.M. Masegosa y C.Salom, *Polymer Viscoelasticity*, Marcel Dekker, Nueva York, 2000.

- [6] S. Melle, *Estudio de la dinámica en suspensiones magneto-reológicas sometidas a campos externos mediante el uso de técnicas ópticas: Procesos de agregación, formación de estructuras y su evolución espacio-temporal*; Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, UNED, 2002.

- [7] Lord Corporation, Cary, North Carolina, E.E.U.U. URL:

<http://www.lordcorp.com/>

<http://www.cadillac.com/cadillacjsp/models/gallery.jsp?model=srx>

Miguel Ángel Rubio Álvarez

Dpto. de Física Fundamental (UNED)

Sonia Melle y Pablo Domínguez

Dpto. de Óptica, Fac. de Física (UCM)

COLABORACIONES

Las proteínas de estrés. La respuesta de las células a los cambios ambientales

Una de las características más llamativas de los seres vivos es su habilidad para detectar los cambios en el medio ambiente y adecuarse continuamente a las nuevas situaciones; de ella dependen la supervivencia de los individuos y la evolución de las poblaciones. También las células, tanto de vida libre como las que componen un organismo pluricelular, son capaces de adaptarse a los cambios en las condiciones ambientales. Existe un complejo entramado de sensores y mecanismos de transducción de señales que logran un continuo ajuste del crecimiento, la proliferación, la expresión de los genes y las actividades metabólicas de la célula a pequeñas y graduales variaciones en su entorno. Pero en determinadas ocasiones las células se enfrentan a unas condiciones ambientales demasiado adversas, que pueden ser críticas y llegar a poner en peligro su propia supervivencia. Entonces decimos que la célula se encuentra en una situación de estrés. Hoy sabemos

que ante estas situaciones se activa un mecanismo defensivo que afecta a la propia expresión del genoma.

La palabra *estrés* se ha convertido en un comodín de nuestro vocabulario ya que constituye una experiencia casi cotidiana en nuestro estilo de vida actual. Pero ¿qué es exactamente el estrés para una célula? Resulta difícil dar una definición precisa, ya que, al igual que en los humanos, la percepción de una situación de estrés es totalmente dependiente del tipo de célula. En términos generales, se trata de un cambio brusco y repentino en algún parámetro ambiental, que puede ser de naturaleza física o química (temperatura, presión, radiación, concentración de sales, pH, presencia de metales pesados, sustancias tóxicas, etc.), de manera que se aleje de las condiciones habituales fisiológicas y que puede provocar daños en algunos de los componentes de la célula, sin llegar a alcanzar una situación claramente letal para la misma. Puesto que las condiciones “norma-

les” difieren según el tipo de célula, lo mismo ocurre con las condiciones que perciben como anormales. Por ejemplo, una temperatura de 37°C es normal para una célula de mamífero, pero solo dos o tres grados más, a partir de 40°C empieza a ser crítica y se activa la respuesta de estrés, mientras 37°C resulta muy comprometida para las células de un organismo acuático que normalmente se encuentran entre 15°C y 25°C.

No obstante, aunque en la percepción del estrés hay diferencias entre las células podemos decir que todas ellas responden de una forma muy parecida ante situaciones estresantes muy diversas. Por eso hoy día podemos hablar de la “**respuesta celular al estrés**” en términos genéricos, ya que hay unos elementos clave que la caracterizan. Implica una reprogramación rápida del genoma, de manera que se activa un pequeño grupo de genes que codifican las denominadas proteínas de estrés, cuya síntesis es muy rápida y muy eficiente, incluso en condiciones en que toda la maquinaria celular está en una situación crítica. Se trata de un mecanismo de defensa y la función