

Resumen

Las bacterias tienen la capacidad de crecer tanto en suspensión como asociadas a una superficie. El desarrollo bacteriano sobre superficies aumenta la resistencia de las bacterias frente a agentes externos, dificultando su eliminación y constituyendo un problema en diferentes áreas de la industria. Se han desarrollado superficies antimicrobianas que, en general, pueden clasificarse en anti-*fouling* y biocidas. Las primeras funcionan inhibiendo la interacción bacteriana con la superficie, mientras que las segundas matan bacterias adheridas. Una estrategia para el desarrollo de superficies antibacterianas toma ventaja de la fuerte absorción de luz de algunas nanopartículas metálicas. La energía absorbida es principalmente disipada en forma de energía térmica, incrementando la temperatura local y produciendo la muerte de las bacterias.

En esta tesis se desarrollaron superficies antibacterianas activadas por luz, fabricadas utilizando películas delgadas de zirconia mesoporosa infiltradas con nanopartículas metálicas, específicamente de oro y plata. Las películas de zirconia mesoporosa fueron preparadas utilizando el método de autoensamblaje inducido por evaporación, mientras que la incorporación de nanopartículas de oro y de plata fue realizada mediante el método de adsorción-reducción. Las superficies obtenidas se caracterizaron óptica y estructuralmente; y la cantidad de metal en las películas fue determinada mediante la combinación de dos técnicas.

El trabajo involucró el desarrollo y optimización de protocolos, metodologías y dispositivos para la caracterización de las superficies y para el estudio del crecimiento bacteriano sobre tales superficies.

El estudio de las superficies de Ag@mZrO_2 reveló que poseen un marcado efecto antibacteriano, que se incrementa cuando estas son irradiadas. Estos resultados fueron observados para *E. coli* y para *B. subtilis*, aunque en el segundo caso el efecto resultó menor que en el primero. La evidencia muestra que el efecto se da sobre bacterias que se encuentran en contacto directo con la superficie o en sus cercanías, limitándose a un entorno próximo a la superficie que no se extiende al seno del medio de cultivo. El mecanismo de acción principal de estas superficies resulta ser el biocida.

Las superficies de Au@mZrO₂ presentan un efecto antibacteriano que depende exclusivamente de la irradiación de las superficies con luz visible. El efecto sobre *B. subtilis* es ligeramente menor que sobre *E. coli*. Este efecto se observa para bacterias que se encuentran en contacto directo con la superficie, pero no se extiende a las bacterias que se encuentran en suspensión. La evidencia sugiere que el principal mecanismo de acción no es biocida, sino anti-adhesivo. Así, estas superficies evitan la etapa inicial de colonización bacteriana, pero resultan inefectivas una vez que las bacterias se encuentran adheridas. El mecanismo de acción no parece ser el reportado en otros sistemas que usan AuNPs como antibacterianos ya que, en este caso, no hay evidencia de muerte.

Palabras clave: films delgados mesoporosos, nanopartículas de oro, nanopartículas de plata, superficies antibacterianas.

Abstract

Bacteria can grow both in suspension and associated with a surface. Bacterial development on surfaces increases bacterial resistance to external agents, making their elimination difficult and constituting a problem in various industrial areas. Antimicrobial surfaces have been developed that, in general, can be classified as anti-fouling and biocidal. The first one works by inhibiting bacterial interaction with the surface, while the second one kills adhered bacteria. One strategy for the development of antibacterial surfaces takes advantage of the strong light absorption of some metal nanoparticles. The absorbed energy is primarily dissipated as thermal energy, increasing the local temperature, and causing bacterial death.

In this thesis, light-activated antibacterial surfaces were developed using thin films of mesoporous zirconia infiltrated with metal nanoparticles, specifically gold and silver. The mesoporous zirconia films were prepared using the evaporation-induced self-assembly method, while the incorporation of gold and silver nanoparticles was performed through the adsorption-reduction method. The resulting surfaces were optically and structurally characterized, and the amount of metal in the films was determined using a combination of two techniques.

The work involved the development and optimization of protocols, methodologies, and devices for characterizing the surfaces and studying bacterial growth on such surfaces.

The study of Ag@mZrO₂ surfaces revealed that they possess a marked antibacterial effect, which increases when irradiated. These results were observed for *E. coli* and *B. subtilis*, although in the second case the effect was less pronounced than in the first one. Evidence shows that the effect occurs on bacteria in direct contact with the surface or nearby, limited to an environment close to the surface that does not extend into the bulk of the culture medium. The main mechanism of action of these surfaces is biocidal.

The Au@mZrO₂ surfaces exhibit an antibacterial effect that depends exclusively on the irradiation of the surfaces with visible light. The effect on *B. subtilis* is slightly less than on *E. coli*. This effect is observed for bacteria in direct contact with the surface but does not extend to bacteria in suspension. The evidence suggests that the primary

mechanism of action is not biocidal but anti-adhesive. Thus, these surfaces prevent the initial stage of bacterial colonization but are ineffective once the bacteria are adhered. The mechanism of action does not appear to be that reported in other systems using AuNPs as antibacterials, as in this case, there is no evidence of bacterial death.

Keywords: mesoporous thin films, gold nanoparticles, silver nanoparticles, antibacterial surfaces.