

DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

ÍNDIX

1. QUÈ SÓN ELS NANOMATERIALS	3
2. EFECTES SOBRE LA SALUT	6
3. EFECTES SOBRE LA SEURETAT	8
4. VALORS LÍMIT AMBIENTALS	9
5. AVALUACIÓ DE RISCOS	9
5.1. Identificació de perills	9
5.2. Valoració dels riscos.	10
5.3. Actualització i revisió de l'avaluació de riscos	11
6. MESURES PREVENTIVES	11
6.1. Prevenció en la fase de disseny	12
6.2. Mesures preventives	12
7. EQUIPS DE PROTECCIÓ INDIVIDUAL	14
8. VIGILÀNCIA DE LA SALUT	16
9. GESTIÓ DE RESIDUS	17
10. PAUTES DE TREBALL	18
10.1. Què cal fer en cas de vessament	18
10.2. Recomanacions per a l'emmagatzematge de nanomaterials	19
10.3. Pautes de treball al laboratori	19

1. QUÈ SÓN ELS NANOMATERIALS

La nanotecnologia es descriu com la ciència aplicada al disseny, fabricació i manipulació de la matèria a escala atòmica i molecular, en el rang d'1 a 100 nanòmetres ($1 \text{ metre} = 1.000 \text{ mm} = 1.000.000 \text{ micres} = 1.000.000.000 \text{ nanòmetres}$). Si parlem en termes comparatius, un full de paper té una grossària aproximada de 100.000 nanòmetres.

La característica més important dels nanomaterials és que canvien les seues propietats segons se'n redueix la grandària, és a dir, alguns incrementen la seua conductivitat elèctrica i calòrica tot millorant-la, uns altres incrementen la seua resistència, poden presentar diferents propietats magnètiques i fins i tot poden canviar de color i el reflex de la llum quan se'n redueix la grandària a aquesta escala. A més a més, els nanomaterials presenten una major superfície en relació amb la seua massa, propietat que els confereix una major capacitat d'interacció amb altres materials i una major reactivitat.

Per tant, els nanomaterials difereixen en les seues propietats dels mateixos materials a una escala major. A causa d'aquestes diferències, els nanomaterials ofereixen oportunitats noves i apassionants en àmbits com l'enginyeria, la tecnologia de la informació i la comunicació, la medicina i els farmacèutics, per esmentar-ne només alguns. No obstant això, aquestes mateixes característiques que els confereixen les seues propietats singulars són també responsables dels seus efectes en la salut humana i el medi ambient.

Les principals organitzacions coincideixen en la definició que donen dels nanomaterials:

"són materials que contenen partícules amb una o més dimensions en la nanoescala, és a dir: des d'aproximadament un nanòmetre fins a 100 nanòmetres. El nanòmetre (nm) equival a una mil·lionèsima part d'un metre ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)".

Segons la Comissió Europea:

"un nanomaterial és un material natural, incidental o fabricat, que conté partícules en un estat no unit o com a agregat o aglomerat i on, per 50% o més de les partícules en la distribució de grandàries numèriques, una o més dimensions externes està en l'interval de grandàries 1 nm - 100 nm."

"En casos específics i quan es justifiquen les preocupacions pel medi ambient, la salut, la seguretat o la competitivitat, el llindar de distribució de la grandària numèrica del 50% pot ser substituït per un llindar entre l'1 i el 50%"

DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

A més a més, la recomanació de la Comissió Europea també indica que els ful·lerens, els flocs de grafè i els nanotubs de carboni de paret simple amb una o més dimensions externes inferiors a 1 nm han de ser considerades com a nanomaterials.

La Comissió Europea recomana utilitzar aquesta definició de nanomaterial quan s'adopten i apliquen legislació, polítiques i programes de recerca sobre productes de nanotecnologies.

Els nanomaterials es poden classificar en 3 grans categories:

- **D'origen natural:** existeixen nanopartícules d'origen biològic (virus), d'origen mineral (pols de sorra) o d'origen mediambiental (boires i fums derivats de focs forestals o activitat volcànica).
- **Generades per l'activitat humana de forma involuntària**, com a subproducte no intencionat d'un procés industrial, per exemple els fums de soldadura o els productes de combustió.
- **Generades per l'activitat humana de forma voluntària:** inclou els nanomaterials manufacturats dissenyats intencionadament amb unes propietats específiques (mecàniques, elèctriques, òptiques, catalítiques, etc.) molt diferents, en molts casos, de les que presenta el mateix material a grandària no nano. Aquests nanomaterials manufacturats poden presentar-se en forma de :
 - Nanoobjectes: són materials que es caracteritzen per tenir una, dues o tres dimensions externes en la nanoescala; o de material nanoestructurat, que es caracteritza per tenir l'estructura interna o l'estructura superficial en la nanoescala.

Els nanoobjectes es denominen:

- nanoplaca
- nanofibra
- nanopartícula

en funció de si tenen una, dues o tres dimensions externes, respectivament, en la nanoescala. Normalment, durant el procés de producció dels nanoobjectes, les partícules primàries, que són aquelles que es generen inicialment en el procés, tendeixen a unir-se les unes amb les altres per donar lloc a aglomerats o agregats en els quals les dimensions externes poden aconseguir grandàries superiors a 100 nm. En els aglomerats, les partícules estan feblement unides, i la superfície externa resultant és propera a la suma de les àrees superfícials dels components individuals. Per contra, en els agregats, les partícules estan fortament enllaçades o fusionades, i la superfície externa resultant pot ser significativament menor que la suma de les àrees superfícials calculades dels components individuals.

DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

- Materials nanoestructurats: es caracteritzen per tenir l'estructura interna o l'estructura superficial en la nanoescala. Aquests materials poden presentar una distribució de grandària de gra en la qual una fracció significativa del material està en la nanoescala, o tenir espais i porus en la nanoescala o precipitats en la nanoescala (normalment, nanoobjectes incorporats en una matriu sòlida). També s'inclouen en aquest grup les superfícies que han estat intencionadament modificades per tenir heterogeneïtats morfològiques o químiques en la nanoescala.
- Els nanomaterials nanoestructurats poden presentar-se en forma de :
 - pols nanoestructurada,
 - nanocompost,
 - nanoespuma sòlida,
 - material nanoporós
 - nanodispersió fluïda.

Alguns dels tipus de nanomaterials manufacturats més comuns, si ens basem en la classificació proposada en el document de treball de la Comissió de la Unió Europea, són:

1. **Nanomaterials inorgànics no metàl·lics:** principalment són òxids d'elements no metàl·lics.
2. **Metalls i aliatges:** La majoria dels metalls i els seus aliatges poden produir-se en dimensions nanomètriques (per exemple, nanofilms, nanopartícules). Les de major producció són les d'or, les de plata i els aliatges de platí i pal·ladi.
3. **Nanomaterials amb base de carboni:**
 - **Ful·lerens:** estan constituïts únicament per àtoms de carboni i tenen un nombre parell variable d'àtoms de carboni, que pot oscil·lar des de 28 fins a més de 100 àtoms, i adopta la forma d'una esfera buida. Tenen una estructura d'anells hexagonals de carboni similar al grafit, encara que també tenen anells pentagonals i heptagonals que són els que permeten que es formen estructures tridimensionals. La forma més coneguda dels ful·lerens és la que conté 60 àtoms de carboni. Els ful·lerens són materials químicament estables i insolubles en dissolucions aquoses.
 - **Grafè:** és un material amb estructura bidimensional que es presenta en forma de nanoplaques. Les nanoplaques són làmines constituïdes per una xarxa hexagonal d'àtoms de carboni disposats en un mateix pla, com en el grafit, l'espessor del qual és de l'ordre del nanòmetre.
 - **Nanotubs de carboni:** posseeixen estructura cilíndrica i estan composts per una o més làmines tubulars similars al grafè, i es denominen nanotubs de carboni de paret simple (*SWCNT*) o de paret múltiple (*MWCNT*). El diàmetre pot variar entre aproximadament 1 nm per als de paret simple fins a més de 100 nm pels de paret múltiple, mentre que la

longitud pot sobrepassar alguns centenars de micròmetres. Presenten una gran resistència a la deformació i a l'estirament.

- **Nanofibres de carboni:** estan formades per làmines de grafè. Presenten una estructura en forma de copa per la qual cosa algunes propietats mecàniques i elèctriques seran diferents a les dels nanotubs de carboni.
 - **Negre de fum:** és pràcticament carboni pur elemental en forma de partícules que es produeixen per combustió incompleta o descomposició tèrmica dels hidrocarburs en condicions controlades. Les partícules primàries del negre de fum són de grandària inferior a 100 nm, encara que tendeixen a agrupar-se donant lloc a aglomerats i agregats de grandària superior a aquest valor.
4. **Nanopolímers:** són materials polimèrics que poden presentar una o diverses dimensions en l'escala nano.
 5. **Dendrímers:** són macromolècules de grandària nanomètrica que es caracteritzen per tenir una estructura ramificada tridimensional composta per un nucli, unes ramificacions que formen la matriu dendrítica i la perifèria constituïda per un gran nombre de grups funcionals.
 6. **Punts quàntics:** són nanocristalls de materials semiconductors amb grandàries de 2 nm a 10 nm. Son semiconductors amb propietats electròniques, òptiques, magnètiques i catalítiques.
 7. **Nanoargiles:** són materials ceràmics de silicats minerals en forma de làmines. Poden existir de forma natural o ser sintetitzades perquè tinguen propietats específiques.

2. EFECTES SOBRE LA SALUT

Les dades científiques dels efectes sobre la salut i seguretat dels nanomaterials sobre els treballadors són escassos. Per això, s'ha de considerar si la partícula nanomètrica suposa un risc diferent al de les partícules de la mateixa composició de grandària no nano.

A mesura que disminueix la grandària de les partícules, augmenta l'àrea superficial específica i per tant la seua reactivitat. A causa d'aquest augment, les partícules de grandària nanomètrica poden ocasionar en l'organisme efectes adversos per a la salut diferents als ocasionats per les partícules de grandària no nano amb la mateixa composició química, ja que poden interaccionar en l'organisme de forma diferent.

Si les nanopartícules presenten propietats fisicoquímiques noves, a diferència de les mateixes partícules de major grandària, existeix la possibilitat que això vaja acompanyat de noves propietats toxicològiques. Per tant, els riscos associats als nanomaterials estan principalment relacionats amb la grandària de partícula.

Algunes de les propietats toxicològiques dels nanomaterials, són:

1. **Translocació:** Donada la seua dimensió nanomètrica, els nanomaterials poden atènyer parts dels sistemes biològics que no són normalment accessibles a partícules més grans. Això inclou una major possibilitat de travessar els límits cel·lulars, o de passar des dels pulmons al corrent sanguini i des d'allà a tots els òrgans del cos, o fins i tot a través de la seua deposició en el nas, de passar directament al cervell. Aquest procés es coneix com a translocació i, en general, els nanoobjectes poden translocar-se molt més fàcilment que altres estructures majors.
2. **Toxicitat:** els nanoobjectes tenen una àrea superficial molt major que la mateixa massa de partícules grans. En la mesura en què l'àrea superficial és un factor de toxicitat, això implica clarament un possible augment dels efectes tòxics de les partícules a escala nanomètrica.
3. **Biopersistència:** alguns nanoobjectes (per exemple, els nanocables), mostren una elevada ràtio d'aspecte biopersistent, amb morfologia i durabilitat similar a la de les fibres d'amiant, per la qual cosa és probable que persistisquen en els pulmons si són inhalats, i causen inflamació i en últim terme malaltia.
4. **Solubilitat:** s'ha demostrat que la reducció de grandària en alguns nanoobjectes està relacionada amb un augment de la solubilitat. Aquest efecte podria conduir a un augment de la biodisponibilitat de materials que es consideren insolubles o poc solubles en la grandària de partícula gran.

Els **efectes toxicològics dels nanomaterials** en l'organisme depenen principalment de:

1. **Factors relacionats amb l'exposició:** vies d'entrada en l'organisme, durada i freqüència de l'exposició i concentració ambiental.

Les vies d'entrada a l'organisme poden ser:

- La *via inhalatòria*: és la principal via d'entrada dels nanomaterials en l'organisme, com ho és en general per a la gran majoria dels agents químics i, des del punt de vista de salut laboral, és la més preocupant. Depenent de la seua grandària, forma i composició química, els nanomaterials són capaços de penetrar i dipositar-se en els diferents compartiments de l'aparell respiratori.
- La *via dèrmica*: és una possible via d'entrada dels nanomaterials en l'organisme. Els factors a considerar són la zona i les condicions de la pell exposada així com les propietats fisicoquímiques del nanomaterial.
- La *via digestiva* és la via d'entrada menys probable i principalment està associada a la falta de mesures higièniques durant la manipulació de nanomaterials.

DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

2. **Factors relacionats amb el treballador exposat:** susceptibilitat individual, activitat física en el lloc de treball, lloc de dipòsit i ruta que segueixen els nanomaterials una vegada que penetren en l'organisme.
3. Factors relacionats amb els nanomaterials: toxicitat intrínseca.

La informació de la qual es disposa sobre els efectes dels nanomaterials per a la salut de l'ésser humà és limitada. Els estudis realitzats, indiquen que els efectes més importants sobre la salut s'han observat als pulmons. El sistema cardiovascular també pot veure's afectat. A més, els nanomaterials poden atènyer altres òrgans i teixits, com són el fetge, els ronyons, el cor, el cervell, l'esquelet i diversos teixits tous.

El Comitè Científic dels Riscos Sanitaris Emergents i Recentment Identificats (CCRSEI) va determinar que existeixen riscos comprovats per a la salut vinculats a diversos nanomaterials manufacturats. No obstant això, no tots els nanomaterials exerceixen necessàriament un efecte tòxic, i convé adoptar un enfocament d'actuació «cas per cas» sobre aquest tema.

3. EFECTES SOBRE LA SEURETAT

Encara que existeix molt poca informació respecte als perills per a la seguretat que poden suposar els nanomaterials. Se sap que els riscos que més preocupen són els d'incendi i d'explosió.

La grandària de la partícula o àrea superficial específica és un dels factors implicats en la facilitat d'ignició i violència explosiva d'un núvol de pols. A causa de la seua grandària, poden **romandre en l'aire durant llargs períodes de temps**, de manera que s'augmenta la possibilitat de crear núvols de pols potencialment explosius. A més a més, a causa de **la seua major àrea superficial**, les nanopartícules poden ser fàcilment **carregades electrostàticament**, i això fa que augmente el risc d'ignició.

No obstant això, els nanomaterials particulats en forma de pols poden plantejar riscos d'explosió, mentre que els seus corresponents materials pot ser que no. Per regla general, les **quantitats** que es manipulen són **petites**, per la qual cosa el risc d'explosió es redueix considerablement.

Cal tenir en compte que alguns nanomaterials tenen la potencialitat de causar explosió i que, per tant, requereixen condicions especials de treball (atmosfera inerte).

4. VALORS LÍMIT AMBIENTALS

Els valors límit ambientals (VLA) són valors de referència per a les concentracions dels agents químics en l'aire i representen condicions a les quals es creu que la majoria dels treballadors poden estar exposats dia rere de dia, durant tota la seua vida laboral, sense patir efectes adversos per a la salut. Els VLA establerts per a alguns agents químics (per exemple: grafit, sílice, diòxid de titani, certs òxids, etc.) no haurien d'utilitzar-se per a les formes nano, ja que, encara que es tracte de la mateixa composició química, les característiques de perillositat poden ser diferents, tal com s'ha indicat en el punt anterior.

La dificultat per a l'establiment de VLA per nanomaterials radica en la seua gran heterogeneïtat, en el continu desenvolupament de nous nanomaterials i, sobretot, en la falta d'informació toxicològica adequada procedent d'estudis epidemiològics i estudis a llarg termini amb animals. A més, la comunitat científica encara no ha arribat a un consens sobre quina és la mètrica (nombre de partícules, àrea superficial, massa de les partícules) que millor es relaciona amb els efectes toxicològics causats pels nanomaterials.

5. AVALUACIÓ DE RISCOS

L'avaluació de riscos es realitza per a estimar la magnitud dels riscos derivats del treball; per a això, s'identifiquen els perills i se'n valoren els riscos. **El Servei de Prevenció i Medi Ambient de la Universitat de València realitzarà la corresponent avaluació de riscos.**

5.1. Identificació de perills

Davant l'escassa informació que existeix en l'actualitat, la recollida d'informació per identificar els perills s'ha de centrar en la cerca de dades sobre les seues característiques i propietats fisicoquímiques. La informació es pot obtenir de les etiquetes (pictogrames), fitxes de dades de seguretat, recomanacions de la Comissió Europea i altres fonts com a bases de dades o literatura científica.

Pot succeir que en la fitxa de dades de seguretat no hi haja dades de la substància en l'escala nanomètrica, o bé que manque o siga insuficient la informació sobre les característiques fisicoquímiques. En aquests casos, els **investigadors haurien de sol·licitar als proveïdors** la informació necessària i suficient per a permetre almenys una caracterització parcial dels nanomaterials i el seu perfil de risc potencial.

Es recomana obtenir la següent informació:

- Classificació de la forma nano,
- Distribució de grandària en nombre de partícules,
- Superfície específica,
- Informació morfològica (forma i grandària, especialment en el cas de fibres i en relació amb l'aplicabilitat dels criteris de l'OMS),
- Modificació en superfície dels nanomaterials,
- Biopersistència, solubilitat en aigua o mitjans biològics,
- Dades sobre capacitat d'emissió de pols del producte
- Dades sobre inflamabilitat.

Sempre, en cas de dubte o falta d'informació, cal adoptar un enfocament basat en el "principi de precaució", és a dir: els nanomaterials s'han de considerar perillosos tret que n'hi haja informació suficient que demostre el contrari.

Si l'avaluació de riscos es realitza tenint en compte exclusivament les dades de la substància en la forma no nano, aquesta circumstància haurà de quedar clarament reflectida en l'avaluació de riscos.

D'altra banda, la informació recollida sobre els perills potencials dels nanomaterials ha de ser avaluada en termes de quantitat i qualitat, però s'admet i és raonable suposar que tots els nanomaterials identificats tenen un perill potencial igual o major que el de les presentacions no nano. Per tant, si la forma no nano d'una substància està classificada com a cancerígena, mutagènica, tòxica per a la reproducció o qualsevol altra toxicitat significativa, s'ha de suposar que la forma nano mostrarà també aquestes propietats tret que es demostre el contrari. S'ha de considerar que, actualment, les propietats i característiques dels nanomaterials no sempre es poden predir a partir d'una substància igual o semblant

5.2. Valoració dels riscos.

Per a l'estimació dels riscos que poden danyar la salut és necessari conèixer l'exposició potencial dels treballadors. La informació que s'ha de recaptar per a caracteritzar aquesta exposició seria:

- Quins són els processos que poden conduir a l'alliberament de partícules nanomètriques en l'aire o a la seua deposició sobre les superfícies de treball (han de considerar-se operacions el tall, la trituració, abrasió o un altre alliberament mecànic de nanopartícules o materials que continguen nanopartícules)
- Las tasques en les quals pot haver-hi una exposició

DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

- Las quantitats manipulades
- Quin és l'estat físic dels nanomaterials en cada etapa del procés (pols, suspensió o líquid, vinculat a altres materials)
- Qui poden estar exposat en cada tasca i els factors individuals (com ara l'estat de salut i susceptibilitat personal, el sexe, la situació d'embaràs i lactància natural en les treballadores)
- Quines són les possibles vies d'entrada
- Quina és la freqüència de la probable exposició
- A quines concentracions i durant quant temps hi estan exposats
- Las mesures de control existents.

Les situacions de treball amb risc d'exposició dependran sobretot de la forma en què es presente el nanomaterial (pols, dissolució,...) i de la tipologia de procés (equips, variables de procés, etc.).

En el cas d'identificar nanomaterials que puguin presentar risc d'incendi i d'explosió, és necessari analitzar cada part dels diferents processos per poder estimar la possibilitat que es generen núvols de pols inflamables així com atmosferes explosives quan les nanopartícules es dispersen en l'aire. En aquest cas, es designaran les àrees de risc i es classificaran per zones en funció de la freqüència i durada de la possible atmosfera explosiva.

En qualsevol cas, en moltes aplicacions els nanomaterials s'utilitzen en quantitats tan petites que no s'aconseguiria la concentració mínima d'explosió.

5.3. Actualització i revisió de l'avaluació de riscos

Una vegada establertes les mesures preventives, cal comprovar la seua adequació mitjançant verificacions periòdiques. Les conclusions obtingudes en l'avaluació de riscos hauran de quedar documentades i registrades.

És important que **els usuaris informen el Servei de Prevenció i Medi Ambient dels canvis** que duen a terme, com ara la incorporació de nous nanomaterials i de noves activitats i processos, per dur a terme una revisió i actualització adequades de l'avaluació de riscos.

6. MESURES PREVENTIVES

L'exposició a nanomaterials pot suposar un risc per al personal exposat, per la qual cosa s'han de prendre les mesures preventives adequades a fi d'eliminar o reduir el risc d'exposició.

Les mesures preventives que s'han d'establir s'hauran d'adaptar a cada situació laboral segons els nanomaterials emprats i la informació disponible relativa a l'exposició. Per a seleccionar aquestes mesures de manera adequada s'haurà de conèixer el tipus de procés, les

característiques dels nanomaterials presents, les exposicions potencials (freqüència i durada d'operacions), els procediments, les característiques del lloc de treball, etc.

Quan prioritzem la mesura preventiva que cal aplicar s'ha de tenir en compte la gravetat del dany per a la salut, el nombre de treballadors que hi podrien estar exposats, els riscos que es poden materialitzar en un termini breu i els riscos que poden ser tractats més fàcilment. L'establiment de les mesures preventives s'haurà de realitzar conforme als principis generals de l'acció preventiva, triant en primer lloc mesures que combaten el risc en l'origen, és a dir, en la font d'emissió; posteriorment, mesures per a evitar-ne la transmissió i dispersió; finalment, mesures de protecció sobre el treballador.

Una vegada establertes les mesures preventives, se n'haurà de comprovar l'adequació mitjançant **verificacions periòdiques per part del *Servei de Prevenció i Medi Ambient***.

6.1. Prevenció en la fase de disseny

Aquesta és la fase inicial en la qual és possible evitar i reduir el risc, fins i tot abans d'iniciar-se les activitats on s'empraran nanomaterials. És necessari conèixer exactament quin tipus d'exposicions es podrien produir segons l'activitat per a poder incorporar-hi les mesures més adequades. Algunes de les mesures que es poden plantejar quan es dissenya el procés són:

- Limitar les quantitats de nanomaterial
- Disminuir l'alliberament del nanomaterial per reduir els processos abrasius, i treballar a pressions més baixes emprant temperatures mitjanes,...
- Dissenyar processos tancats per a evitant la càrrega i descàrrega manual i el transport del nanomaterial al llarg del procés
- Aïllar i automatitzar els processos d'utilització que puguin suposar alliberament de nanomaterials.

6.2. Mesures preventives

L'exposició a substàncies perilloses ha de ser evitada sempre que siga possible, eliminant preferiblement la substància i evitant-hi l'exposició, o substituint el material per un altre que comporte un menor risc. Si la utilització i la generació de nanomaterials no pot eliminar-se ni substituir-se per materials i processos menys perillosos, l'exposició dels treballadors s'haurà de reduir al mínim mitjançant mesures tècniques de control en origen, mesures organitzatives i, com a últim recurs, els equips de protecció personal.

DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

En l'aplicació de les mesures preventives, és recomanable seguir una jerarquia de control ben establerta:

1. Eliminació/substitució: els riscos potencials dels nanomaterials poden eliminar-se bé si evitem el seu ús, o si reemplacem el nanomaterial per un de menys perillós, tenint en compte les característiques i condicions d'ús per assegurar-se que el risc s'ha reduït. Ha de buscar-se informació sobre substituïts i alternatives possibles. La guia de la Comissió Europea *Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterial at work* indica que, si el material està classificat com a cancerigen o mutagen, tant en l'escala nano com en la macro, la seua eliminació o substitució hauria de ser prioritària.
2. Modificació del procés: amb la finalitat de minimitzar l'exposició es poden realitzar canvis en els procediments de treball, com poden ser reduir la quantitat de nanomaterial en determinades activitats o substituir els nanomaterials en forma de pols per una altra forma de presentació en la qual el nanomaterial estiga en un medi líquid o embegut en una matriu sòlida.
3. Aïllament/confinament: les operacions que impliquen un alliberament potencial de nanomaterials en el lloc de treball s'hauran de dur a terme en instal·lacions independents o en instal·lacions en les quals la manipulació es realitze des d'una àrea protegida.
4. Mesures tècniques de control: estan dirigides a reduir l'emissió del contaminant en la font d'emissió, ja que creen una barrera física entre el treballador i el nanomaterial. Entre les mesures tècniques de control es troben els sistemes d'extracció localitzada.

El disseny de la vitrina i el cabal de treball són fonamentals per a un correcte funcionament. En relació amb aquests sistemes de control, és important considerar els aspectes següents:

- Cal utilitzar vitrines que tanquen el focus al màxim i que hi estiguen situades tan prop com siga possible
 - S'han d'emprar sistemes de recollida per filtració amb filtres d'alta eficàcia HEPA de classe H14 o ULPA.
 - Els conductes del sistema d'extracció han de ser resistents als nanomaterials manipulats, ja que aquests poden ser més reactius que els seus equivalents en l'escala no nano, i prestar especial atenció a les juntes per a evitar possibles fuites.
 - S'han d'emprar catifes adherents fora de les àrees d'ús per a evitar la dispersió dels nanomaterials.
5. Mesures organitzatives:
- Reduir al mínim el nombre de treballadors exposats.

DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

- Reduir el temps d'exposició.
- Delimitar i senyalitzar les zones de treball amb pictogrames que indiquen la possible presència de nanomaterials i les mesures de protecció que cal adoptar. *NOTA: Malgrat que no existeix un senyal harmonitzat per a indicar la presència de nanomaterials, algunes organitzacions europees han proposat una senyalització de la presència de nanomaterials en els llocs de treball.*
- Minimitzar la quantitat de nanomaterial particulat que s'usa en un moment donat.
- Formar i informar regularment els treballadors exposats sobre els riscos potencials, així com també sobre les mesures preventives a adoptar-hi. A més, cada treballador ha d'informar el Servei de Prevenció i Medi Ambient de qualsevol defecte o deficiència en les mesures de control.
- Mantenir el local de treball en correctes condicions d'ordre i neteja. Netejar regularment sòls, equips, eines i superfícies de treball utilitzant draps humits o aspiradora equipada amb filtre "absolut" d'aire de molt alta eficàcia grup H (HEPA) de classe H14 o superior (ULPA). No s'ha d'utilitzar aire a pressió, escombres, raspalls ni dolls d'aigua potents.



6. Altres mesures:

En el cas d'un nanomaterial que puga generar un risc d'incendi i/o d'explosió, caldria tenir en compte les disposicions del Reial decret 681/2003 sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors exposats als riscos derivats de la formació d'atmosferes explosives en el lloc de treball i les consideracions que s'hi descriuen. Amb la finalitat de reduir el risc d'incendi i explosió, s'hauran d'adoptar mesures tècniques de protecció adequades com: disposar d'instal·lacions elèctriques antiexplosives i equips elèctrics protegits enfront de la pols i, si escau, amb tancaments estancs de vapors; utilitzar equips intrínsecament segurs; evitar situacions en les quals es puga generar electricitat estàtica; evitar les fonts d'ignició; utilitzar roba i especialment calçat antiestàtic; manipular i emmagatzemar els nanomaterials en atmosferes controlades, així com mesures encaminades a atenuar els efectes d'una potencial explosió.

7. EQUIPS DE PROTECCIÓ INDIVIDUAL.

Els equips de protecció individual (EPI) han d'utilitzar-se com a últim recurs. Tots els EPI han de tenir marcat CE, i han d'utilitzar-se de conformitat amb les instruccions del fabricant, sense cap modificació. La protecció efectiva només s'aconsegueix mitjançant l'EPI apropiat, correctament ajustat i usat, i mantingut adequadament.

DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

Les exigències mínimes de seguretat i salut relatives a la utilització d'EPI pels treballadors estan recollides en el Reial decret 773/1997 sobre disposicions mínimes de seguretat i salut relatives a la utilització pels treballadors d'equips de protecció individual. Aquesta normativa indica, en l'article 5.3, que els EPI que s'utilitzen en el lloc de treball han de complir els requisits legals relatius al disseny i fabricació que els siguen aplicables.

Segons un informe del Projecte Europeu Integrat al Sisè Programa Marco (PM6) «Nanosafe», publicat al gener de 2008, sobre l'eficiència de determinats materials i equips de protecció individual, les recomanacions i els materials següents serien els més adequats per utilitzar-los quan existeix exposició a nanomaterials:

- ✓ Roba de protecció:
 - Bata cordada que no siga de cotó, sense butxaques ni plecs.
- ✓ Protecció respiratòria:
 - Màscares autofiltrants contra partícules de tipus FFP3 perfectament ajustades.
- ✓ Protecció dèrmica:
 - Els guants seleccionats han de complir els requisits de la norma EN 374.
 - Se sap que els guants de làtex, nitril o neoprè són eficaços per a la manipulació de nanomaterials. Es recomana també la utilització de doble guant per aconseguir una protecció apropiada
 - L'eficàcia dels guants per a un nanomaterial específic depèn de la forma física del nanomaterial present en el lloc de treball (pols, líquid, etc.); aquest extrem ha de verificar-se i confirmar-se amb el proveïdor dels guants. El grossor del material dels guants és un factor essencial per a determinar l'índex de difusió del nanomaterial.
 - Si es treballa amb altres productes químics (p. ex. dissolvents), cal triar el guant específic per a aquests productes.
 - S'ha d'augmentar la freqüència de substitució quan es detecte desgast per l'ús o la tasca requerisca operacions manuals continuades.
 - Cal llevar-se els guants sempre de forma asèptica.
- ✓ Protecció ocular: La protecció ocular que s'ha d'utilitzar depèn de la tasca que es duga a terme i de la forma de presentació dels nanomaterials:
 - Quan es manipulen sòlids o es realitzen operacions que generen pols, es recomana l'ús d'ulleres de muntura universal per a evitar el risc de contacte accidental mà-ull.



DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

- si es manipulen líquids que contenen nanomaterials (per exemple: dissolucions o partícules en suspensió en un líquid), es recomana l'ús de pantalles facials amb protecció contra esquitxades, per a evitar exposicions frontals a aquests líquids.
- les pantalles facials i les ulleres de muntura universal no protegeixen adequadament quan hi ha exposició a nanomaterials en forma d'aerosols. En aquest cas, és aconsellable l'ús d'ulleres de muntura integral juntament amb la mitja màscara.



S'haurà de prestar especial atenció a la compatibilitat d'ús simultani de protecció ocular i respiratòria, a fi que la utilització d'un no interferisca en l'ajust de l'altre minvant d'aquesta manera la seua capacitat de protecció.

8. VIGILÀNCIA DE LA SALUT

Es coneix la vigilància de la salut com una mesura preventiva més i contribueix a:

- identificar els problemes de manera individual (detecció precoç d'efectes sobre la salut, identificació de treballadors sensibles, adaptació de la tasca a l'individu) i col·lectiva (diagnòstic de situació i detecció de nous riscos);
- planificar l'acció preventiva establint les prioritats d'actuació;
- avaluar les mesures preventives existents, ja que l'aparició de danys en els treballadors alertaria sobre la ineficàcia de les esmentades mesures

En el cas dels nanomaterials, a causa de la incertesa actual sobre els seus efectes en la salut, és important aplicar mesures de control amb una vigilància periòdica de la salut dels treballadors exposats, la qual cosa permetrà detectar de forma precoç qualsevol efecte advers, disfunció o símptomes que aquests puguin presentar.

La vigilància haurà d'extremar-se en el cas de persones especialment sensibles o de treballadores embarassades i mares lactants. A més de la vigilància periòdica obligatòria, quan tinga lloc un incident per vessament, emissió accidental, etc., és aconsellable la realització d'exàmens de salut a les persones potencialment afectades.

Els coneixements actuals són insuficients per recomanar exàmens mèdics específics per als treballadors exposats a nanomaterials; tot i així, s'ha de prestar especial atenció als òrgans que es conega o sospite que poden veure's afectats pels materials nanomètrics als quals els treballadors estan potencialment exposats, com poden ser el sistema respiratori, els òrgans

DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

diana o la pell i, si escau, realitzar exàmens complementaris que incloguen proves de funció pulmonar, renal, hepàtica o hematopoètica. NIOSH va publicar l'any 2009 una guia provisional, *Guidance for Medical Screening and Hazard Surveillance for Workers Potentially Exposed to Engineered Nanoparticles*, per als exàmens mèdics i la vigilància de riscos per als treballadors potencialment exposats a nanopartícules manufacturades.

En qualsevol cas, i sabent que no hi ha garantia que les proves actuals de detecció mèdica siguen les més apropiades per als treballadors exposats a nanomaterials, sempre que existisquen protocols per a les mateixes substàncies de grandària no nano es recomana seguir les pautes establertes en aquests protocols de vigilància de la salut.

S'ha de tenir en compte que, perquè un coneixement integral dels nanomaterials permeta avançar cap a un treball segur, és important recordar que el reconeixement mèdic ha de formar part d'un programa complet de gestió de la prevenció en l'empresa. Així mateix, és recomanable, de cara a facilitar futurs estudis epidemiològics, establir un registre d'exposició de tots els treballadors que treballen amb nanomaterials tot indicant el tipus o els tipus de nanomaterials així com la fase del procés en la qual poden estar-hi exposats.

9. GESTIÓ DE RESIDUS

La falta de coneixement sobre els possibles efectes que els nanomaterials tenen sobre el medi ambient és encara major que per als efectes sobre la salut humana. No s'han elaborat normes ni estratègies de gestió de residus, ni sobre la manera de procedir sobre aquest tema.

S'ha de dur a terme una gestió adequada dels residus generats en les activitats que impliquen l'ús de nanomaterials. No han de barrejar-se amb un altre tipus de residus. En aquest sentit, s'han de gestionar com a perilloses les restes de nanomaterials purs, les suspensions líquides o les matrius amb nanomaterials, els objectes o envasos contaminats, els filtres de ventilació, les bosses de l'aspiradora, els equips d'un sol ús de protecció respiratòria i de la pell, etc., tret que es tinga absoluta certesa que no presenten perills potencials.

Per a això, s'haurà de procedir a:

- Classificar-los segons compatibilitat per a poder segregar-los. S'han de gestionar com a *grup 13: Altament perillosos*. Ha d'anar acompanyats de la seua Fitxa de Dades de Seguretat o, en defecte d'això, de la informació disponible. [Més informació](#).
- Situar contenidors per als residus tan prop com siga possible de la zona on es generen.

DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

- Col·locar els residus en contenidors estancs o hermètics que no permeten que el nanomaterial pugua ser alliberat. A més, han de ser etiquetats amb una descripció del material que conté i tota la informació rellevant sobre les seues propietats i característiques.
- Emmagatzemar-los en locals ben ventilats evitant fonts de calor, ignició i productes inflamables.
- Recollir els materials que hagen estat en contacte amb nanopartícules en bosses de plàstic estanques: recollir tots els draps, papers, mascaretes, roba de treball d'un sol ús i altres articles contaminats amb nanomaterials en bosses que es puguin segellar (tot això realitzat dins d'una campana d'extracció) i quan la borsa estiga plena, introduir-la en una altra bossa o contenidor per a contaminació exterior i etiquetar-ho de la mateixa forma que els contenidors.
- Gestionar la retirada i el transport per un gestor autoritzat. Per a l'elaboració del procediment intern de gestió de residus caldrà tenir en compte les indicacions aportades pel gestor contractat.
- Acordar amb el gestor la retirada dels residus de l'emmagatzematge provisional amb una periodicitat no superior a sis mesos.

10. PAUTES DE TREBALL

10.1. Què cal fer en cas de vessament

El control de vessaments ha de basar-se en les bones pràctiques de treball juntament amb la reducció del risc d'exposició i en el fet de valorar la importància de les diferents rutes d'entrada en l'organisme.

En cas d'un alliberament accidental per un vessament de pols, totes les persones han de ser-ne evacuades i la zona del vessament estarà restringida fins que s'haja procedit a la neteja per part de personal format i protegit amb els EPI adequats: ulleres de seguretat, mascaretes de partícules P3 i FFP3, guants i bata cordada.

Les pautes que cal seguir són:

- Utilitzar un aspirador equipat amb filtre HEPA.
- Humitejar la pols.
- Emprar baietes humitejades
- Utilitzar adsorbents si el vessament és d'un líquid.
- Gestionar el material generat en la recollida del vessament com un residu. (Grup 13)
- Avaluar la necessitat de la utilització d'EPI. L'exposició per inhalació i dèrmica serà probablement el major risc.

10.2. Recomanacions per a l'emmagatzematge de nanomaterials

En l'emmagatzematge de nanomaterials s'han de tenir en compte els suggeriments següents:

- Tant si estan en dissolució com en forma de pols els productes s'han d'emmagatzemar en contenidors, preferiblement rígids, impermeables, tancats i etiquetats.
- A l'etiqueta s'indicarà la presència de nanomaterials i els perills potencialment associats.
- L'emmagatzematge ha de realitzar-se en locals frescos, ben ventilats i lluny de fonts de calor, ignició o productes inflamables.

10.3. Pautes de treball al laboratori

Algunes normes de treball com les que es detallen a continuació poden ajudar a minimitzar l'exposició a nanomaterials:

- Ordre i neteja
- Bones pràctiques de laboratori.
- No s'ha de guardar o consumir menjar i begudes en el lloc de treball, i cal seguir unes estrictes mesures d'higiene personal.
- Cal separar les zones de treball.
- S'ha de restringir l'entrada a l'àrea de treball només a personal autoritzat,
- S'hi ha de posar senyals
- Cal guardar la roba de carrer i de treball separatament en taquilles o vestuaris;
- Cal garantir la neteja de la roba de treball.
- Cal llevar-se la roba de protecció o bates per a accedir a altres àrees de treball com administració, cafeteria, sala de relaxació, etc.
- S'ha de reduir el temps d'exposició
- Cal emprar els EPI establerts.
- Cal rentar-se les mans després de llevar-se els guants i abans de sortir del laboratori.
- El personal ha d'evitar tocar-se la cara o altres parts del cos exposades amb els dits contaminats. L'ús d'EPI, com ara màscares, pot ajudar a evitar el potencial de transferència dels nanomaterials. L'exposició per ingestió pot ser conseqüència del contacte entre mà i boca; per tant, totes les estratègies per reduir l'exposició dèrmica també reduiran l'exposició per ingestió.
- Cal recomanar el treball sempre en forma de suspensió líquida, en gel, en forma d'agregats, aglomerats o en pastilles.

DIRECTRIUS DE TREBALL AMB NANOMATERIALS

- S’han de netejar regularment les zones de treball i, com a mínim al final de la jornada laboral, tant el sòl com les superfícies de treball amb mitjans humits (baieta humida) o amb aspiració d’alta eficàcia. S’ha d’evitar l’ús d’aire comprimit raspalls, escombra...
- Si no és possible aconseguir un tancament complet per a l’àrea de treball es poden emprar sistemes d’extracció localitzats, habilitant recintes o cabines de pressió negativa equipats amb ventilació d’extracció localitzada. Com a última alternativa, se suggereix utilitzar durant aquestes manipulacions vitrines de gasos o dispositius de flux laminar.