

PERSPECTIVA

AMBIENTAL 28

La física de la bicicleta



Setembre 2003

P E R S P E C T I V A
A M B I E N T A L 28

Edició:

Associació de Mestres Rosa Sensat
Drassanes , 3 • 08001 Barcelona
• Tel: 934 817 373 • Fax: 933 017 550

Fundació TERRA

Avinyó, 44 • 08002 Barcelona
• Tel: 936 011 636 • Fax: 936 011 632

<http://www.ecoterra.org>. En aquesta web podeu trobar la col·lecció sencera de tots els quaderns d'educació ambiental PERSPECTIVA AMBIENTAL en format PDF Acrobat d'ADOBE que es publica des de l'any 1995.

Redacció i adaptació de l'original:

Carme González Bello

Original: La física de la bicicleta

José Sánchez Real.

Foto portada:

Detall del plat dissenyat per l'empresa ROTOR, un dels grans invents per a la bicicleta del segle XXI

Fotos interiors i il·lustracions:

Fundació Terra i altres

Imprès sense fotalits amb el sistema Computer to Print. Autoedició feta en ordinadors alimentats amb energia solar fotovoltaica. Maquetat amb Adobe Page Maker 7.0

Impressió:

Romanyà-Valls

Imprès en paper ecològic

Dipòsit Legal: B. 2090-1975

La física de la bicicleta

La ciència de cada dia
La mecànica de la bicicleta
L'estàtica i els seus principis
La història de la bicicleta
Idees per promoure la bicicleta a la ciutat
Tipologies de bicicletes
Estalvis energètics en la bicicleta de ciutat
Beneficis per a la salut
L'equilibri
Estudiem la dinàmica
La bicicleta com a màquina
Parts de la bicicleta
La bicicleta de cada dia
Quin treball realitza una bicicleta?
El cicloturisme
El rendiment de la bicicleta com a màquina
L'electromagnetisme en la bici
El risc de no anar en bicicleta
Quatre idees per no oblidar la bicicleta com a vehicle
La dinamo, que és i com funciona?
Producció de bicicletes
L'òptica com a font de seguretat
L'acústica
La bicicleta més eficient i còmode
Rotor
La pressió dels gasos
El calor i la temperatura en la bicicleta
L'elasticitat de la bicicleta
La bici en el tercer món
Recursos, bibliografia i internet

La física de la bicicleta vol ser un homenatge al professor valencià enamorat de les ciències, José Sánchez Real, que per explicar els conceptes de la física va entrar a classe amb una bicicleta. En va publicar un llibre que va passar desapercebut i que considerem un exemple notori de la pedagogia moderna. Aquesta monografia és una adaptació del text original de l'any 1978 i complementada amb dades ambientals perquè la bicicleta és imprescindible en l'estratègia sostenible. El professor Sánchez és ja un home vell, però conserva la passió per la bicicleta, les ciències i la pedagogia com el primer dia. Perspectiva Ambiental li dóna gràcies pel seu mestratge.

La física de la bicicleta

Fundació TERRA*



* La Fundació TERRA és una fundació privada que té per objectiu canalitzar i fomentar iniciatives que afavoreixin una responsabilitat més gran de la societat en els temes ambientals.

La ciència de cada dia

La física és una ciència que estudia la matèria, les seves lleis i propietats, així com els fenòmens provocats per la natura. En aquesta monografia aprofitarem l'excusa de la bicicleta per introduir-nos a la física clàssica en els camps següents:

- *La mecànica*: que estudia les forces i els efectes que aquestes produeixen sobre els cossos. Ho centrem en l'estàtica i la dinàmica.
- *L'electromagnetisme*: que estudia els camps elèctrics i magnètics, així com les càrregues que es generen. Tot plegat gira al voltant de la dinamo com a estri per generar energia.
- *L'òptica i l'acústica*: les quals per a la major seguretat en la bicicleta tenen diferents mecanismes que funcionen gràcies als principis físics que determinen la propagació i el comportament de la llum i el so.

La mecànica de la bicicleta

La mecànica és la part de la física més tradicional i se centra en l'estudi del moviment de les partícules o dels objectes, a través de dues grans vessants: la cinemàtica i la dinàmica. La primera es limita a estudiar el moviment de qualsevol cos o partícula, prescindint de les causes que originen el seu moviment. Per tal que això sigui possible, utilitza uns sistemes de coordenades que permeten situar els cossos en un lloc i temps concret, per facilitar així l'estudi del moviment que descriu: moviment rectilini uniforme o accelerat.

Tot el contrari succeeix amb la dinàmica. Gràcies a aquesta, la física passa a ser una ciència que no es limita simplement a descriure el moviment dels objectes, sinó que estudia la implicació de les forces en els canvis de moviment

Els experiments de Galileu al segle XVI, així com els de Newton el XVII, o els d'altres científics posteriors, constitueixen un fet fonamental en la història de la física, ja que, a partir d'observacions i treballs experimentals i teòrics, arribaren a formular unes lleis que van permetre comprendre el moviment de qualsevol cos.

L'estàtica i els seus principis

L'estàtica és un cas específic de la dinàmica, ja que estudia l'equilibri dels cossos. Aquest és molt important, a causa de la força que exerceix el planeta que habitem: la gravetat, que cal tenir en compte en qualsevol de les activitats que fem diàriament, des de caminar fins a la construcció d'edificis.

Les lleis de l'estàtica tenen com a principi fonamental que tota força que actua sobre

Història de la bicicleta

Hi ha evidències que el geni Leonardo da Vinci va dibuixar les bases del que podria ser la primera bicicleta. Tanmateix, els orígens de la bicicleta que actualment coneixem se situen poc després de 1800, tot i que els primers artefactes que més tard originaren la bicicleta se situen poc abans de la Revolució Francesa. En aquesta època un membre de la reialesa, el comte Sivrac, tingué la genial idea de col·locar les rodes una davant de l'altra, i no de costat com es feia en aquell moment, i batejà aquest giny amb el nom de *célérifère*. Tal fou l'èxit d'aquest senzill artefacte (dues rodes unides per una fusta) que passaren quasi vint anys abans no s'introduí la direcció mòbil. A partir d'aquest moment la *célérifère*, que fou millorada per un noble alemany, donà origen a la *draisiana*, més semblant a la bicicleta actual però sense pedals, de tal manera que l'impuls es feia amb les cames sobre el terra: un mecanisme semblant al dels caminadors actuals dels nens petits.

Els pedals de la bicicleta no aparegueren fins al 1851 quan uns francesos –Pierre Michaux i el seu fill Ernest– tingueren la idea d'incorporar aquest sistema, a través del qual era possible fer girar la roda del davant, semblant al mecanisme que tenen molts tricicles actuals. D'aquesta manera, fent 30 voltes de pedal per minut s'obtenia una velocitat de 5 km/h, velocitats que sense aquesta innovació no es podien aconseguir amb la *draisiana*. Aquest nou vehicle fou batejat amb el nom de



Bicicle del 1855, la roda del davant podia tenir fins a 2 m.

un cos li produirà un canvi d'estat del moviment o una deformació, en cas que ens trobem davant d'un cos elàstic. Si cap d'aquests efectes succeeix, aleshores significa que existeix, com a mínim, una segona força que ha anul·lat la primera. Així, per tal que es compleixi la condició d'equilibri, és necessària la concurrència, com a mínim, de dues forces iguals en mòdul o magnitud i direcció, però en sentits contraris per tal que s'anul·lin entre elles.

Així doncs, un cos està en equilibri sempre i quan es compleixen els dos principis de l'estàtica, que són:

- Que la suma de forces que actuen sobre un cos sigui igual a zero ($\Sigma F = 0$)
- Que la suma de moments també sigui igual a zero ($\Sigma M = 0$)

D'aquesta manera, quan tenim una bicicleta a les mans i intentem buscar el seu equilibri, cal que les forces així com els

moments de les forces s'anul·lin. A continuació s'expliquen què són cadascun d'aquests components, forces i moments, i quins són principalment els que actuen sobre la nostra bicicleta.

La força és...

La força és qualsevol acció o influència capaç de provocar un canvi d'estat en el moviment o el repòs o bé de deformar un cos. Es representen com a vectors que es poden sumar o restar. Per mesurar la seva intensitat s'utilitza un aparell que s'anomena dinamòmetre.

Existeixen diferents tipus de forces? En el cas de la bicicleta hi actuen principalment dos tipus de forces: les concurrents i les paral·leles.

Les forces concurrents són aquelles que per, sumar-les, és necessari dibuixar un

velocíped. Poc després, cap al 1880, el Regne Unit havia posat en circulació una nova paraula per aquest artefacte: *bicycle*, que més endavant els francesos traduïren per *bicyclette*.

L'invent que comportà el llançament de la bicicleta com a artefacte per cobrir les necessitats de desplaçament de les persones va ser la transmissió per cadena, plat i pinyó. Aquesta nova incorporació va ser obra del francès Guilmet i del britànic Lawson aproximadament cap al 1880. El 1893 es venen els primers models de fre de sabata. Gràcies a això, abans del 1900 ja s'havien desenvolupat tots els elements que configuren la bicicleta actual: la dinamo, els pneumàtics de goma, el tensor del canvi, els materials utilitzats en la fabricació, etc. Els progressos posteriors es limiten al canvi de forma i materials que fessin la bicicleta més lleugera. Val a dir, però, que el 1996 un enginyer de Màlaga, Pablo Carrasco, introduí l'última millora tècnica de la bicicleta: un plat que elimina els punts morts del pedaleig i que permet aconseguir més velocitat.

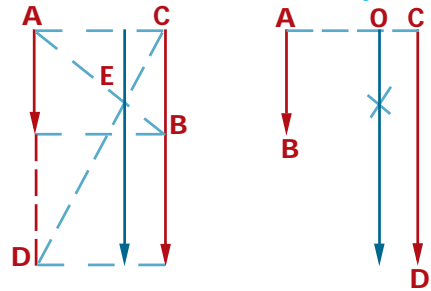
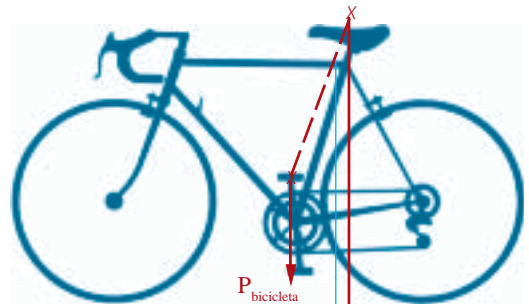
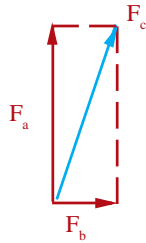
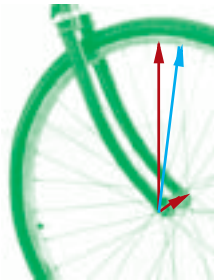
En les dècades de 1960 i 1970, la contaminació atmosfèrica, causada pels gasos dels automòbils, per un costat, i la crisi mundial del petroli durant nombrosos anys, per un altre, incrementaren l'interès per la bicicleta. De tal manera que en moltes ciutats es començaren a establir carrils bici i rutes pròpies no només per als aficionats a la bicicleta, sinó també per a aquelles persones amb afany d'aconseguir una millor forma física i contribuir a la millora del medi ambient.



Bicicleta dissenyada pels germans Wright el 1897

paral·lelogram, de tal manera que la resultant equival a la diagonal d'aquesta figura geomètrica. Un exemple d'aquesta tipologia de forces són les que actuen sobre els radis de la roda de la bicicleta que eviten la seva deformació i l'aixafament.

En segon lloc, actuen les forces paral·leles,



on les característiques de la resultant són: 1. igual direcció i 2. el sentit depèn de les característiques de les forces que sumem. Un exemple d'aquesta tipologia de forces són el

Idees per promoure la bicicleta a la ciutat

- *Park and ride*: consisteix en un pàrquing o punt d'intermodalitat entre el cotxe que hom hi aparca i el tren o la bici que hom agafa per arribar al destí final.
- Carrils bici. Les vies urbanes i interurbanes perquè hi circulin només bicicletes és una de les mesures més esteses per garantir la seguretat dels usuaris.
- Pàrquings de bicicleta. Una de les actuacions més populars en els municipis que aposten per la bicicleta com a mitjà de transport.
- Lloguer de bicicletes. El préstec de bicicletes és molt popular en indrets amb interessos turístics i també per enllaçar universitats amb estacions de tren.
- Informació. Les campanyes de sensibilització per usar la bicicleta com un mitjà segur s'ha revelat com una mesura imprescindible per promoure la implantació de la bicicleta.
- Guies de servei. Les guies amb tot el que es necessita per reparar la bicicleta, fer sortides i passeigs, assegurar la bicicleta, clubs d'usuaris, etc són imprescindibles per aficionar-se a usar-la.
- Bicicletes plegables. Dissenyar bicicletes de menys de 10 kg i que es puguin plegar per entrar-les fàcilment en els mitjans de transport pot ser decisiu per fer que la bicicleta sigui una eina per a l'ecologia i per pacificar el trànsit.

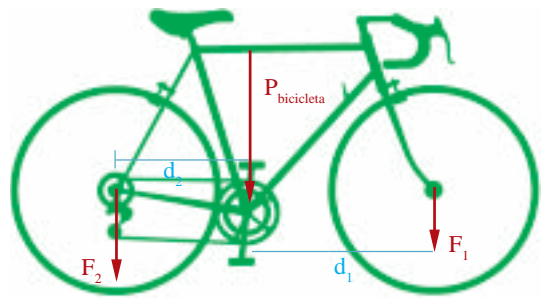


L'accés de la bicicleta als transports col·lectius és una mesura clau per facilitar la seva implantació a la ciutat.

pes del ciclista i la bicicleta; ambdues són paral·leles, així doncs la resultant també serà una força paral·lela a les dues primeres que són perpendiculars a la superfície terrestre, i en aquest cas amb igual sentit.

Quines forces suporten les rodes?

Per conèixer les forces que suporten les rodes, cal desglossar el pes de la bicicleta sobre cadascuna de les rodes, de tal manera que la suma d'aquestes dues forces serà igual al pes (P) de la bicicleta.



Tipologies de bicicletes



Bicicleta de passeig: bicicleta per recórrer distàncies curtes i fer passejos pel camp i desplaçar-se per la ciutat. N'hi ha molts dissenys, però sempre es prioritza la comoditat.



Bicicleta de pedaleig assistit: bicicleta que incorpora un motor elèctric alimentat per una bateria i un sensor que el posa en marxa quan hem de fer un esforç extra; el motor és una ajuda, però no un element per guanyar velocitat.



Trixi: bicicleta taxi en forma de tricicle que incorpora un petit motor elèctric; dissenyada per transportar dos passatgers en un trajecte urbà.



Bicicleta plegable: bicicleta que es plega pel quadre per ocupar menys espai i poder-la agafar com si fos una maleta. Hi ha models de poc pes (10 kg) fets de materials lleugers com ara l'alumini. Útil per combinar la bicicleta amb els transports públics.



Tàndem: dissenyada per ser utilitzada per dues persones a la vegada, útil perquè els invidents puguin gaudir de la bicicleta.



Tricicle: bicicleta de tres rodes tradicionalment utilitzada per la mainada i útil per a la gent gran o amb problemes de mobilitat. S'empra per transportar mercaderies.



Bicicleta de muntanya o *mountain-bike*, de característiques més resistents, amb pneumàtics amples i suspensió per suportar els camins de muntanya.



Bicicleta reclinable: es caracteritza pel fet que el ciclista s'asseu amb l'esquena recolzada en un seient abatut; amb el centre de gravetat més baix respecte a una bicicleta tradicional, la fa molt estable, més ràpida i més còmoda.



Bicicleta de competició: bicicleta lleugera i ràpida, amb un disseny aerodinàmic que permet al ciclista aconseguir grans velocitats; tenen el manillar encorbat i els pneumàtics molt prim.

La composició de dues forces paral·leles és el producte de cadascun dels components per la seva distància que les separa al lloc on actua la força del pes. Si anomenem F_1 i F_2 els components i d_1 i d_2 , les seves distàncies corresponents, aleshores tenim que:

$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$$

I com que el pes (P) serà igual a la suma de forces:

$$P = F_1 + F_2$$

si aïllem el valor de F_1 en la primera equació obtenim que:

$$F_1 = (F_2 \cdot d_2) / d_1$$

Si ara el substituïm en l'equació del pes, tenim:

$$P = [(F_2 \cdot d_2)/d_1] + F_2 ; P = F_2 \cdot [(d_2/d_1) + 1]$$

En aïllar el valor de F_2 resulta

$$F_2 = P/[(d_2/d_1) + 1] = P[(d_2+d_1)/d_1] = P \cdot (d_1/d)$$

On d equival a la suma de d_1 més d_2 , que és igual a la distància que separa les dues forces, en el nostre cas la distància que separa els dos eixos de les rodes.

Parell de forces que actuen sobre la bici

Fruit de disposar de dos peus i dues mans, i com que volem utilitzar-los per aplicar forces i que l'efecte que produïm de manera independent se sumi, utilitzarem una carac-

Estalvis energètics en la bicicleta de ciutat

«Quan es compara l'energia consumida en el moviment en funció del pes de diferents animals i màquines, resulta que una persona caminant és bastant eficient (consumeix aproximadament 0,75 cal/g/km), però no ho és tant com un cavall, un salmó o un avió. Amb l'ajuda d'una bicicleta, el consum es redueix a una cinquena part (aproximadament 0,15 cal/g/km). Així, a més d'incrementar la velocitat del vianant per un factor de tres o quatre, el ciclista millora la seva eficiència fins arribar a situar-se al capdamunt de les criatures mòbils o les màquines». (Stuart Wilson, 1973)

Així, l'energia consumida per una persona de 70 kg de pes és de 52,5 kcal/km si va caminant, i de 12,5 kcal/km si es desplaça en una bicicleta de 12 kg de pes. De tal manera que si un ciclista es desplaça durant 5 km el seu consum energètic és l'equivalent al contingut calòric d'un iogurt. Per tant, recórrer una distància determinada pedalejant pot ésser tres o quatre vegades més eficient que fer-ho caminant. Si analitzem el transport des d'una visió global, és a dir, analitzant l'eficiència energètica com la suma dels consums energètics en les fases de fabricació del vehicle, gestió de residus, construcció i gestió de circulació, la bicicleta presenta un consum energètic centesimal en relació amb els consums propis de vehicles motoritzats. Per exemple, en la fase de fabricació l'energia necessària per a un automòbil permetria la fabricació de 70 a 100 bicicletes.

Si comparem el consum d'energia necessària per al desplaçament dins d'una ciutat amb bicicleta respecte al del vehicle privat, podem veure que necessitem 25 vegades menys energia. Així doncs, la bicicleta és un mitjà de transport senzill i eficaç i que, a la vegada, necessita menys superfície d'infraestructures per circular: en cotxe i en un espai de 3,5 m d'ample en un medi urbà durant una hora hi poden circular 2.000 persones, mentre que en bicicleta és de set vegades més (14.000 persones en una hora). A la ciutat la bicicleta és un vehicle més ràpid que el cotxe en distàncies inferiors a 5 km i difereix poc en la velocitat que pot aconseguir fins als 10 km de recorregut urbà. Per això, els missatgers en bicicleta són competitiu en els centres de grans ciutats.

terística que ens facilita la física: el parell de forces, de tal manera que podrem aprofitar al màxim l'esforç muscular. Alguns exemples en la bicicleta on apliquem els parells de forces són en els pedals i en el manillar.

L'efecte de la força que fem depèn del valor de la seva magnitud i de la distància en què actua del punt fix o eix. Així per efectuar l'operació de dirigir i moure la bicicleta amb el mínim esforç possible, s'haurà d'intentar aplicar les forces tan lluny com sigui possible de l'eix fix, utilitzant manillars grans, amples i pedals llargs; aquest fet queda demostrat quan comprovem la variació de força necessària per moure el manillar segons on col·loquem les mans. Val a dir,



Beneficis per a la salut

Anar en bicicleta, com qualsevol altre exercici físic aeròbic (ja que permet que el múscul tingui l'oxigen necessari), és una pràctica saludable per a l'organisme ja que, per una part, millora la forma física i, per l'altra, ens proporciona benestar. A més, aquest esport és classificat, després de la natació, com el més complet. Els experts recomanen practicar algun esport com a mínim tres cops per setmana, per compensar l'estil de vida actual que es caracteritza per ser més aviat sedentari.

Els beneficis d'utilitzar la bicicleta diàriament són principalment:

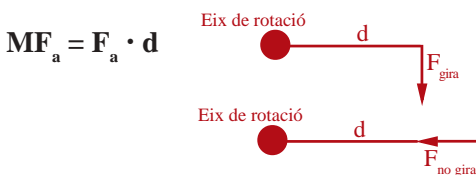
- 1. Millora del to muscular:** fer sortides llargues i progressives augmenta el volum de la nostra musculatura. En canvi, si fem sortides més curtes, però amb un ritme molt elevat, fa créixer un múscul voluminós i de gran potència. La bicicleta fa músculs de fibres més llargues i més gruixudes i, a més, s'enforteixen i es flexibilitzen, fet que evita les lesions quan fem un esforç inesperat.
- 2. Disminueix la pressió arterial:** les fibres musculars del cor es fan més gruixudes i les contraccions més potents i així pot bombar més quantitat de sang; si l'esforç és prolongat fa que la tensió arterial s'estabilitzi. Quan els ciclistes no fan cap esforç, tenen la tensió arterial menor que la de les persones que no practiquen cap esport.
- 3. Augment de la capacitat pulmonar:** una persona en repòs necessita uns 9 litres per minut d'oxigen; en canvi un ciclista, durant l'exercici, consumeix com a mitjana uns 80 litres d'oxigen per minut. Un ciclista en repòs necessita menys volum d'oxigen que una persona que no practica cap esport.
- 4. Millora de la circulació sanguínia:** moure rítmicament les cames fa que els músculs demanin més oxigen i així el cor bomba més sang per portar la quantitat d'oxigen que necessiten els músculs i activa la circulació sanguínia.
- 5. Equilibra el nostre pes:** amb l'exercici eliminem greixos i amb la suor toxines. Amb un ritme lleugerament superior al d'un passeig en bicicleta, es produeixen efectes importants per perdre greixos.
- 6. Reforça les articulacions:** les articulacions es mantenen més flexibles i es redueix el risc de patir lesions i dolors articulars.
- 7. Augmenta el calci dels ossos:** fent exercici físic s'incrementa el dipòsit mineral que contenen els ossos, gràcies a l'augment de la circulació sanguínia, i es disminueix el risc de desenvolupar osteoporosi.

però, que aquesta possibilitat queda limitada per diferents raons: el manillar no pot ser gaire ample, la longitud dels braços i la comoditat obliguen a donar-li unes dimensions que siguin les apropiades a l'edat del ciclista. Pel que fa als pedals, a la raó de les mesures anatòmiques, la longitud de les extremitats inferiors, s'uneix la de la distància des de l'eix del plat al terra, valor que no pot superar-se, ja que en girar, el pedal tocaria a terra.

El moment d'una força és...

L'efecte d'una força que actua sobre un cos que tingui un eix fix, al voltant del qual pugui moure's o girar, depèn a més de la magnitud de la força, de la distància que la separa fins a l'eix de rotació. Cal destacar també que, si la força actua en direcció perpendicular a l'eix de rotació, l'efecte de gir serà nul. D'aquesta manera quan apliquem una força perpendicular a una porta la podem obrir (força paral·lela a l'eix de rotació), mentre que si la fem paral·lela a aquesta la porta no s'obre ni es tanca (força perpendicular a l'eix de rotació).

A aquest efecte, se'l coneix com a moment d'una força, i es calcula de la manera següent:



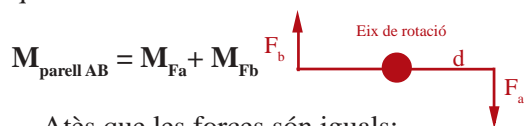
On F_a és mòdul de la força i d és la distància que la separa perpendicularment de l'eix de rotació.

En moltes parts de la bicicleta es poden observar l'acció de forces sobre peces que tenen un punt o eix fix. Un exemple és el pedal de la bicicleta: suposant que la càrrega de prova és d'uns 150 quilograms (1470 Newtons) i la seva distància a l'eix és de 0,06 m, el moment de força que s'aplica en aquest cas és de:

$$M = 1470 \text{ N} \cdot 0,06 \text{ m} = 88,2 \text{ N m}$$

Com es calcula el moment d'un parell de forces?

Si suposem que per cadascun dels costats d'un punt fix o eix de rotació actuen un parell de forces o dues forces paral·leles, és a dir, d'igual mòdul i direcció, però de sentit contrari, l'efecte de les forces se sumarà i serà el doble del que produiria una sola força. Així el moment d'un parell de forces serà igual a la suma de moments de les dues forces que el formen:



Atès que les forces són iguals:

$$F_a = F_b$$

$$M_{\text{parell AB}} = 2 F_a \cdot d$$

(equivalent al doble del moment d'una sola força)

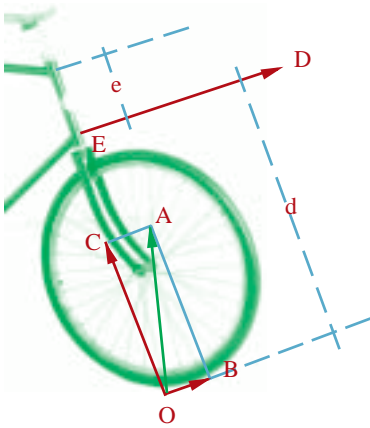
En el cas del nostre cos, com que disposem de dos peus i dues mans, utilitzem aquest fenomen físic del parell de forces: per controlar la direcció del manillar i per a la marxa dels pedals.

Quins moments equivalents actuen sobre la bicicleta?

Hi ha, però, un segon tipus de moment: l'equivalent. Aquest tipus de moment s'origina quan diferents forces, actuant a diferents distàncies d'un punt fix, poden donar lloc a un mateix moment. Aquest és el cas de les forces que actuen sobre la forca de la bicicleta quan baixem la vorera.

La força **OB** a la distància **d** dona lloc a un moment que val:

$$M F_{OB} = F_{OB} \cdot d$$



I que té com a equivalent el de la força **ED**, que tindrà d'intensitat el valor que sigui necessari perquè el producte d'aquesta força per la distància sigui igual al moment de la força **OB**.

$$M_{F_{ED}} = F_{ED} \cdot e = F_{OB} \cdot d = M_{F_{OB}}$$

L'equilibri

L'equilibri és aquell estat en el qual les forces i els moments que actuen sobre un cos s'anul·len. La condició de màxim equilibri es compleix quan més gran sigui la força que actua (en el nostre cas el pes), més superfície tingui la base de sustentació i més baix se situï el centre de gravetat.



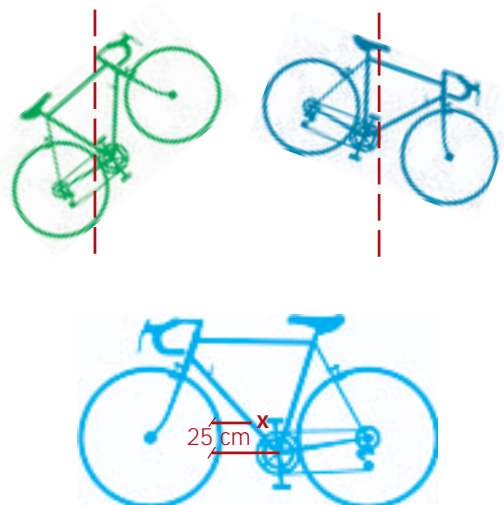
Fer 16 km en bicicleta consumeix 350 calories d'energia, la quantitat que conté un bol d'arròs. El mateix viatge en cotxe consumeix 18.600 calories.

Per aquesta raó en el cas de la bicicleta no és fàcil d'aconseguir l'equilibri i, si s'aconsegueix, dura poc: és inestable. A causa de la petita superfície de sustentació que donen els pneumàtics sobre el terra, hi ha una baixa probabilitat que les dues forces que actuen sobre la bici es trobin i es compensin.

El centre de gravetat

El pes que actua sobre la bicicleta equival a la força que exerceix la gravetat terrestre sobre seu. Aleshores, per tenir la bicicleta en equilibri necessitem una segona força d'igual mòdul i direcció que el pes, però en sentit contrari per així anul·lar-la. Per conèixer el valor del mòdul del pes que actua sobre la bicicleta, només és necessari utilitzar un dinamòmetre, i sol oscil·lar entre 6 i 8 quilograms (58,8 i 78,4 Newtons). El punt on actua el pes s'anomena centre de gravetat, ja que aquí és on suposem que hi ha la concentració de tota la massa de la bicicleta; des d'aquest punt la força del pes és vertical i en el sentit del centre de la Terra.

Per determinar la situació del centre de gravetat, cal penjar la bicicleta per un punt qualsevol d'un dels seus extrems, en el



moment que s'estigui quieta; el pes es contraresta amb la força de la corda de què penja. Aleshores el centre de gravetat es troba sobre la direcció que marca la corda, de manera que hem de marcar la direcció d'aquesta sobre el quadre de la bicicleta. A continuació hem de penjar la bicicleta per l'altre extrem, en el moment que estigui quieta obtindrem la segona direcció, marcada per la corda, on es troba el centre de gravetat. En el punt on es tallin ambdues direccions és on es situa el centre de gravetat de la nostra bici: aproximadament a uns 25 cm per sobre de l'eix del plat.

L'equilibri de la bici en repòs i en moviment

Es pot aconseguir incrementar l'equilibri de la bicicleta en repòs fent que el pes sigui més gran, que actui més a prop de la base de suport o fent més gran la superfície de contacte amb el terra. Aleshores, com que no ens interessa fer la bicicleta més pesada, ni el quadre més baix, si volem que la bicicleta estigui en equilibri serà necessari augmentar la base de suport o sustentació. Aquest augment de la superfície es pot aconseguir recolzant-la sobre un tercer punt, així l'àrea de sustentació seria un triangle. Aquesta és, doncs, la finalitat dels peus o el de les rodes petites que ens posen quan volem aprendre a utilitzar la bicicleta.

Ara bé, per què aconseguim mantenir l'equilibri de la bicicleta quan ens desplacem i no utilitzem les rodes petites? Doncs bé, si movem el manillar quan la bicicleta està parada o en marxa, podem comprovar que és més difícil moure el manillar quan la roda està en moviment que no pas quan aquesta està parada. Una altra experiència similar l'obtenim quan col·loquem la bicicleta en posició invertida, és a dir, recolzant en el terra el manillar i el seient. La força necessària per



El número de sèrie en el quadre de la bicicleta ajuda a recuperar-la en cas de robatori.

inclinat la bicicleta cap a un costat és més gran si les rodes estan girant que no pas si les rodes estan parades.

D'aquestes experiències es dedueix que les rodes en moviment estabilitzen el conjunt. Amb això descobrim que una altra manera d'aconseguir l'equilibri estable és mantenint en gir un objecte, en aquest cas les rodes. Un cos girant tendeix a mantenir o conservar el seu pla de gir; així, l'eix de gir només es mourà amb facilitat quan es mogui paral·lelament a aquest. Aquesta força de gir depèn de les característiques de la roda, és a dir, que l'estabilitat s'incrementa com més gran sigui el pes de la part externa de la roda (el pneumàtic i la llanta), el radi i la velocitat de gir, de tal manera que l'estabilitat és més gran quan a més velocitat es vagi; per això és més fàcil conduir la bicicleta sense mans a grans velocitats.

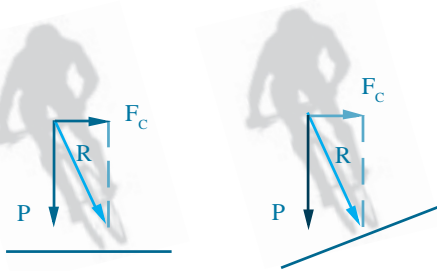
L'equilibri en els revolts

Un altre cas d'equilibri en moviment és en els revolts. En aquest moment actua una nova força fictícia, anomenada força centrífuga, que actua en la direcció del radi de gir i en sentit oposat al centre de gir. El mòdul de la força centrífuga depèn del pes i la velocitat

del conjunt i també del radi de curvatura:

$$F_c = (P/g)w^2r \quad F_c = (Pv^2/gr)$$

On P és el pes, g la gravetat, w la velocitat angular, v la velocitat lineal i r el radi de la curvatura, així el quocient de P/g és la massa de la bicicleta.



Així, per equilibrar les forces que actuen sobre el conjunt bicicleta-ciclista en un revolt, és necessari que el conjunt s'inclini cap a la part interior d'aquest.

Quan la nostra velocitat és baixa, mantenim l'equilibri gràcies al moviment que fem amb el manillar d'un costat a un altre. Gràcies a aquest senzill moviment apareix una força centrífuga en sentit contrari al que podem caure, la qual ens estabilitzarà.

Tal i com indica la segona fórmula, a baixes velocitats, el desequilibri és gran. D'aquesta manera la força estabilitzadora ha de ser gran, així el radi de curvatura ha de ser molt petit, d'aquesta manera necessitem donar un cop de manillar gran.

Estudiem la dinàmica

La física no es limita simplement a descriure el moviment dels objectes o dels sistemes, ni a les transformacions ener-

gètiques que aquests experimenten en els fenòmens físics. La física va més enllà gràcies a la dinàmica, buscant i analitzant les causes dels fenòmens físics, no limitant-se només a observar i descriure els fets.

Les lleis de la dinàmica

Aquestes lleis són conegudes com les lleis de Newton, ja que el 1686 va ser ell mateix qui va recollir els experiments de Galileu i els seus propis sobre el moviment en tres grans lleis.

- *Primera llei de Newton.* La primera llei de la dinàmica és coneguda com la llei de la inèrcia i diu que tot cos tendeix a conservar el repòs o el moviment rectilini uniforme en el qual es troba, sempre i quan la resultant de les forces sigui zero. Així, si el fregament no existís, un ciclista seria capaç de mantenir el seu moviment sense afegir cap esforç extra.

- *Segona llei de Newton o equació fonamental de la dinàmica.* La segona llei de la dinàmica ens explica per què els ciclistes professionals són persones no només de poc pes, sinó que també utilitzen bicicletes lleugeres. Això és perquè la força és igual a



La bicicleta és una bona màquina per valorar el treball i quantificar-lo amb unitats energètiques.

la massa per acceleració; així per a una força igual amb un pes més petit, més gran serà l'acceleració del conjunt home-bicicleta.

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$$

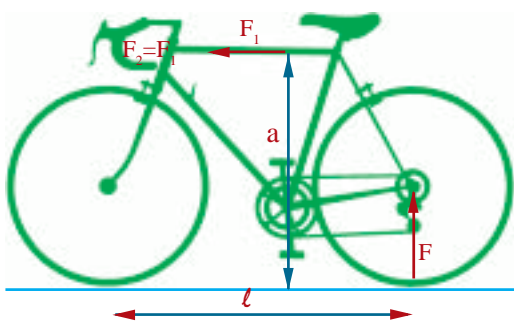
On \mathbf{F} equival al mòdul de la força, \mathbf{m} és el pes i \mathbf{a} l'acceleració.

• *Tercera llei de Newton o principi d'acció i reacció.* La tercera llei de la dinàmica diu: si un cos exerceix una força (acció) sobre un altre, aquest últim exercirà sobre el primer una nova força (reacció) de la mateixa magnitud i direcció, però de sentit contrari.

Exemple d'aplicació d'aquestes lleis en la bicicleta

Quan frenem només amb la roda del davant apareix una força \mathbf{F}_1 que actua en el punt de contacte de la roda posterior amb el terra, que tindrà un moment equivalent al de la força \mathbf{F} que existeix en la roda posterior. De tal forma que:

$$\mathbf{F}_1 \cdot \mathbf{a} = \mathbf{F} \cdot \ell \qquad \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 \cdot (\mathbf{a}/\ell)$$



On \mathbf{a} és la distància des de \mathbf{F}_1 fins al centre de gravetat (funció de l'alçada de la bicicleta) i ℓ és la distància que separa les dues rodes (distància entre els eixos).

Així la tendència que té la bicicleta a gi-

rar quan frenem només amb el fre del davant ve marcada per la constant \mathbf{a}/ℓ , com més gran sigui l'alçada de la bicicleta i menor la distància entre els eixos. Per aquesta raó quan frenem és recomanable utilitzar simultàniament els dos frens.

Transmissió del moviment en la bicicleta

El moment de gir dels pedals o del manillar s'ha de poder transmetre per provocar el moviment de la bicicleta el qual s'inicia des dels pedals cap a les rodes a través dels punts d'unió que siguin necessaris per a una transmissió eficient. Si observem la bicicleta podrem trobar dos tipologies d'unió: la directa (l'existent entre el manillar i la roda davantera) i la indirecta (unió dels pedals i la roda posterior mitjançant cadenes).

Ara cal estudiar la transmissió del moviment del plat a la roda posterior. La cadena es fixa per una part a través del plat i per una altra a través del pinyó de la roda, mitjançant unes dents que contenen tant l'un, com l'altre. D'aquesta manera els pedals, en moure's, fan girar el plat i aquest arrossega la cadena, que a la vegada fa girar el pinyó i amb això fa girar la roda.

Així el pinyó i el plat, en estar units,



Amb l'energia i els materials necessaris per fer un cotxe utilitari es poden fabricar 100 bicicletes

recorren la mateixa longitud d'arc, però com que tenen diferents radis, l'angle girat per un o l'altre no és igual. A major radi, menor angle, conservant-se la igualtat de recorregut. La relació que manté el plat i el pinyó és d'un quart, és a dir per cada volta que fa el plat el pinyó en fa 4:

$$A \cdot R = a \cdot r$$

angle x radi Plat = angle x radi Pinyó.

$$A/a = r/R$$

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ dents pinyó}}{\text{N}^\circ \text{ dents plat}} = \frac{\text{N}^\circ \text{ voltes plat}}{\text{N}^\circ \text{ voltes pinyó}}$$

La bicicleta com a màquina

Una màquina, en física, és qualsevol dispositiu utilitzat per canviar la magnitud i la direcció d'una força que hi apliquem. Existeixen quatre gran tipus de màquines: la palanca, la politja, el torn i el pla inclinat, és a dir, un pendent.

La utilitat de les màquines simples radica

en el fet que permet exercir una força més gran que la que una sola persona podria aplicar només amb els seus músculs (és el cas del torn, la palanca o la inclinació), o aplicar-la d'una manera més eficaç (la politja).

Així doncs, la bicicleta és una màquina composta, ja que és resultat de la combinació de màquines senzilles entre les quals abunden les palanques, els torns, rodes dentades i, fins i tot, una politja formada per la unió del plat amb els diferents pinyons.

Parts de la bicicleta

A continuació es desglossaran les principals màquines simples que hi ha en la bicicleta i que fan possible el seu moviment, quan pedalegem, així com que sigui possible frenar-la.

Plats i pinyons: són una bona politja

Una politja és un disc que pot girar al voltant d'un eix central, i que té un canal en la seva vora on s'acobla l'element transmissor de la força: la corda. Si



Janice M. Toji. (Media/Materials Clearinghouse)

Nois joves a Ruanda arrossegant una pinya de platans sobre una bicicleta de fusta de fabricació casolana. La bicicleta és un vehicle clau en la mobilitat dels països del Tercer món.

substituïm el canal de la vora per dents, i si l'element transmissor és una cadena que uneix les dents, aleshores el plat i els pinyons poden considerar-se unes politges fixes, complint-se:

$$F_m = F_r$$

On F_m equival a la força màxima que apliquem i F_r la força que actua sobre la cadena.

És important estudiar la relació que mantenen el plat i el pinyó a l'hora de

La bicicleta de cada dia

Les ciutats, al llarg del temps, han vist créixer d'una manera accelerada el número de desplaçaments motoritzats i, a la vegada prolongar la distància dels desplaçaments. En les ciutats espanyoles es fan com a mitjana uns 2,6 viatges per persona i dia. La distribució de la tipologia dels desplaçaments internes en el cas de Barcelona (dades del 2002) és: un 36 % a peu i en bicicleta, el 24,5 % en transport privat i un 39,5 % en transport públic. Val a dir, però, que des de la segona meitat dels anys vuitanta s'han posat en marxa algunes experiències pilot referents a la gestió de la demanda de transports en diferents països, tenint en compte les necessitats de treballadors i estudiants.

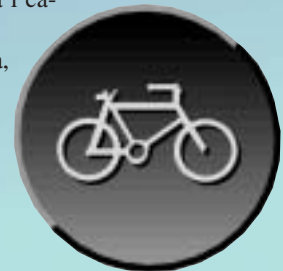
Entre totes les estratègies alternatives al transport privat per fer els desplaçaments diaris, cal destacar la bicicleta. Gràcies a ella és possible estalviar gran quantitat de temps en els desplaçaments fins al nostre lloc de treball o estudi, fins i tot en comparació amb el temps necessari per desplaçar-nos amb transport públic (temps de caminar + temps d'espera + temps de trajecte amb transport públic). Val a dir, però, que és necessari tenir en compte un conjunt de consells, no només per a garantir la nostra seguretat com a ciclistes en el dia a dia, sinó també per respectar els altres usuaris de la via com són els vianants.

Consells generals per circular amb bicicleta a la ciutat

- Per fer maniobres: feu les maniobres d'avançament o de canvi de direcció progressivament i amb seguretat, indicant-les amb anterioritat i assegurant-vos que us han vist.
- Circuleu amb prudència i respecte les normes de circulació.
- Utilitzeu sempre que pugueu el carril de la dreta més proper a la vorera. Si aquest estigués reservat per a taxi i bus, circuleu pel següent.
- Mantingueu una distància prudencial amb la vorera i els cotxes aparcats. Una porta que s'obre o un vianant que baixa de la vorera us poden obligar a fer un moviment bruscat. Per a la seguretat de tots, circuleu sempre pel centre del vostre carril.
- Quan us atureu en un semàfor, ocupeu l'espai central del carril. Si us arrambeu a la dreta, pot ser que els vehicles que arrenquin al darrere vostre no us vegin. Si no voleu empassar-vos el fum dels automòbils aturats, avanceu a poc a poc fins al primer lloc de la fila.
- Si circuleu darrere d'un cotxe, heu de mantenir la distància de seguretat, ja que pot frenar de manera sobtada. Així també podem evitar ensopegar amb els possibles desperfectes de la via.

Consells generals per respectar els vianants

- Quan circuleu per les voreres amples, illes de vianants i passeigs, respecte la preferència de pas dels vianants i adequieu la vostra velocitat, segons l'afluència de persones, sense sobrepassar els 10 km/h.
- Respecteu rigorosament la preferència de pas dels vianants, tant en els passos de zebra i cruïlles senyalitzades, com en aquelles que no ho estan. Penseu també que en qualsevol moment pot aparèixer un vianant d'entre els cotxes aparcats.
- Quan circuleu per la vorera o per una zona de vianants, eviteu passar a tocar dels vianants. Si us heu de creuar amb ells, feu-ho sempre per darrere.
- Si hi ha molta densitat de vianants, no dubteu a baixar de la bicicleta i caminar empenyent-la.
- Anant amb bicicleta, el respecte pels vianants és la millor fórmula per a una bona convivència a la via pública.



transmetre el moviment, ja que en les pujades interessarà aprofitar al màxim la força aplicada a la cadena a través del pedaleig. Perquè això sigui possible serà necessari disminuir el radi del plat i augmentar el radi del pinyó. Així doncs, és per aquesta raó que els ciclistes tenen un joc de diferents plats i pinyons.

Per establir la relació existent entre la força que fa el ciclista i la que la roda posterior aplica al darrera, anomenarem F_m (força motriu) a la força que fa el ciclista sobre el pedal, F_t a la força de la tensió de la cadena i simplement F a la força que fa la roda del darrera per impulsar la bicicleta (que és paral·lela al terra); aleshores, els moments d'aquestes forces implicades sobre els eixos del plat i el pinyó, es calcularà:

$$F_t = F_m \cdot \ell / R \quad \text{i} \quad F_t = F \cdot R_d / r$$

Atès que la tensió de la cadena entre el plat i el pinyó en la zona superior, per on es realitza la transmissió de la força motriu, és la mateixa en l'extrem del plat, aleshores serà en l'eix del pinyó on:

$$F \cdot R_d / r = F_m \cdot \ell / R$$

Aïllant F queda:

$$F = F_m \cdot \ell / R \cdot r / R_d \quad \text{o} \quad F = F_m \cdot \ell / R_d \cdot r / R$$

F és més petita que el pes. R_d , és el radi de la roda i r el radi del pinyó, ℓ és la longitud de la biela, r radi del pinyó i R radi del plat.

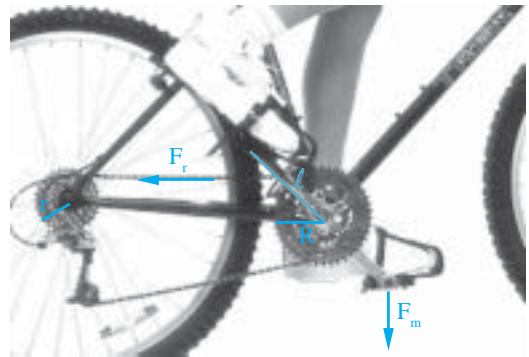
Com que el radi del plat és sempre més petit que el radi de la roda i també, en gene-

ral, el radi del pinyó és menor que el radi del plat, la força que impulsa la bicicleta és sempre més petita que la motriu que fa el ciclista. La força que fa la roda contra el terra impulsa el terra enrere. Com a reacció el terra impulsa la bicicleta endavant. El que fa avançar la bicicleta és la força horitzontal contra el terra.

El canvi de marxes de les bicicletes actuen sobre la relació r/R (radi del pinyó versus radi del plat). Per augmentar la F al màxim cal triar el plat més petit i el pinyó més gran. En terreny pla la força F de la roda del darrera contra el terra en direcció paral·lela al terra s'igualava al fregament equivalent si es vol mantenir la velocitat constant. En general, en aquestes condicions es recomana un plat gran i un pinyó petit que és quan es pot aconseguir la màxima velocitat.

Per comprovar-ho, considerem que la potència màxima que el ciclista transfereix als pedals de la bicicleta és el producte de:

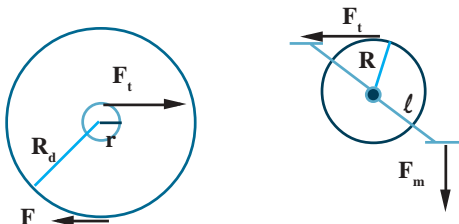
$$F_m \cdot v_p \quad \text{essent } v_p \text{ la velocitat del pedal}$$



Per la conservació de l'energia, aquesta potència ha de ser també

$$F \cdot v_b \quad \text{essent } v_b \text{ la velocitat de la bicicleta}$$

Per aconseguir la màxima velocitat hem de minimitzar F disminuint el quocient r/R ,



és a dir, pinyó petit i plat gran mentre F sigui suficient per contrarestar la fricció. S'ha de tenir en consideració que la resistència exercida per l'arbre creix amb la velocitat.

Les palanques més importants: els frens

Els frens de la bicicleta són una combinació de palanques a través de les quals s'arriba a la roda. Les forces que actuen sobre aquest sistema són:

$$F_m \cdot d_m = F_c \cdot d_c$$

$$F_c \cdot d_c = F_p \cdot d_p$$

On F_m és la força que fa el ciclista per accionar el fre, d_m la llargada de la palanca, F_c la força que tensa el cable accionat pel ciclista, d_c la llargada de la peça, F_p la força que frena la roda i d_p la llargada del braç del fre.

Si substituïm el valor de $F_c \cdot d_c$ pel de $F_m \cdot d_m$, obtindrem que el valor de F_p :

$$F_p = F_m [(d_m \cdot d_c)/(d_c \cdot d_p)]$$

Això ens diu que la força que actua sobre la llanta (F_p) depèn de la força aplicada pel ciclista (F_m) i de la relació de les longituds dels braços de les palanques que formen els frens.

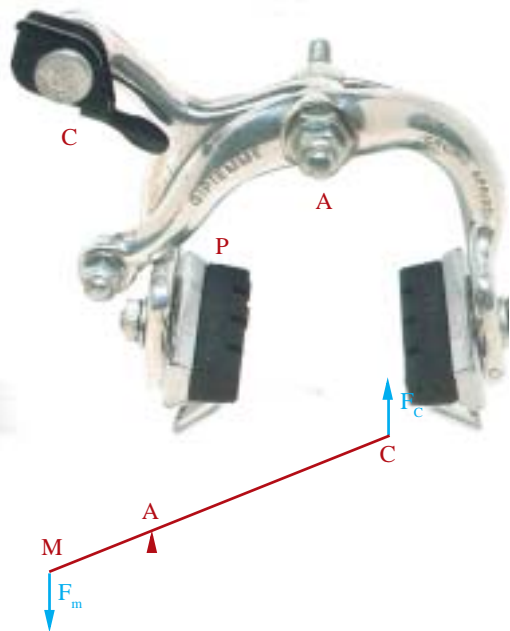
Quin treball realitza una bicicleta?

Les forces quan actuen sobre un cos fan un determinat treball (W) que depèn de la intensitat de la força i del recorregut que faci el cos, com a resultat de l'acció de les forces:

$$W = F \cdot s$$

On W és el treball, F és el vector de la resultant de les forces que actuen sobre el cos i s és el vector que indica el desplaçament del cos.

En el cas dels pedals de la bicicleta, el



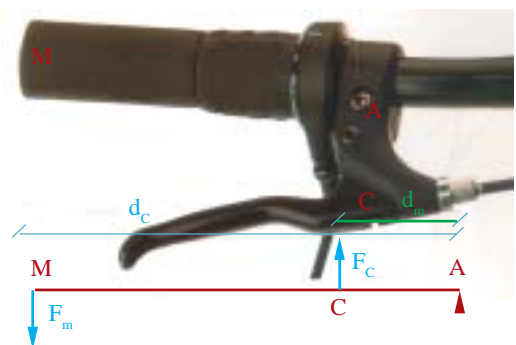
treball que en la força que apliquem fan pedalar coincidirà amb la circumferència descrita pel plat; així doncs:

$$W = F \cdot s = F \cdot 2\pi r = F \cdot \pi \cdot D$$

On D és el diàmetre de la circumferència de la biela.

Si, per exemple, la força aplicada sobre el pedal és de 10 kg (98 N) i el diàmetre de gir de la biela és de 0,34 m, en cada volta el treball realitzat serà de:

$$W = 98 \text{ N} \times 3,14 \times 0,34 \text{ m} = 104,6 \text{ J}$$



Val a dir, però, que hi ha dues excepcions: *La potència*

- Utilitzem dos pedals; aleshores si suposem que les forces són iguals el treball realitzat seria el doble, i podrem parlar de treball realitzat per un parell de forces i que equivaldrà a:

$$W = 2 F \times \pi \times D$$

- La força que hem considerat de 98 N és un valor mitjà, ja que en realitat la força que apliquem en pedalejar és variable depenent de la fatiga del ciclista.

Estrictament relacionada amb el treball es defineix una nova magnitud coneguda com a potència. La potència mitjana d'una força qualsevol en un interval de temps es defineix com el treball realitzat per aquesta força per unitat de temps:

$$P = W/\Delta t$$

On **P** és la potència, **W** el treball realitzat per una força qualsevol i **t** l'interval de temps que considerem.

El cicloturisme

Actualment, una manera d'anar de viatge que s'ha fet molt popular és el cicloturisme, classificat com a ecoturisme pel seu baix impacte sobre el territori. No és tan sols una forma de fer una activitat física, també permet conèixer el món a través d'un contacte molt més directe amb la natura i les persones de l'indret.

La bicicleta només necessita unes condicions mínimes de paviment per circular. A més, es pot combinar amb el transport ferroviari per recórrer distàncies d'aprofament.

Alguns estudis francesos han demostrat que el 60 % de la població associa la bicicleta amb el temps lliure. Per això la bicicleta s'ha convertit arreu d'Europa en un mitjà valorat per a l'activitat turística. S'han concebut vies o rutes turístiques pensades especialment per a la bicicleta. Una d'aquestes és la xarxa d'itineraris de llarg recorregut europea anomenada «EuroVelo» que, a més, és una forma d'establir la comunicació entre diferents països amb un baix impacte ambiental.

A l'Estat espanyol s'ha fet un esforç important per reconvertir antics traçats ferroviaris abandonats en vies cicloturístiques. Avui hi ha 30 itineraris senyalitzats, coneguts com a «Vies Verdes». Si tenim en compte que resten més de 6.500 km de vies abandonades, no hi ha dubte que la bicicleta té en les vies verdes una opció molt interessant per apropar-se a diferents realitats territorials de manera respectuosa amb l'entorn. A Catalunya hi ha tres rutes, de les quals destaquem per la seva espectacularitat l'anomenada via de la Terra Alta i el Baix Ebre entre Tortosa i Arnes.

També hi ha unes altres rutes per a bicicletes conegudes com a Centres BTT. Aquestes ofereixen més de 100 km d'itineraris i senders perfectament senyalitzats, reservats per a bicicletes tot terreny (BTT o *mountain bike*). En aquestes rutes, tal com s'esdevé en els senders excursionistes de Gran Recorregut, la senyalització ens indica la traça a seguir i els serveis que podrem trobar.



Així doncs, podem suposar que donem 80 voltes al pedal per minut ($n=80$ i $t = 60$ s) i prenent les dades de l'exemple anterior del càlcul del treball, obtindrem que la potència de la bicicleta en aquests moments és:

$$P = W/t = (F \times \pi \cdot D \cdot n)/t = (98 \text{ N} \times 3,14 \times 0,34 \text{ m} \times 80 \text{ voltes})/60 \text{ s} = 139,4 \text{ wats}$$

L'energia que transmetem

El treball que fem quan pedalem en la bicicleta no només s'inverteix en moure el conjunt bicicleta-ciclista, sinó que també varia l'energia cinètica:

$$W = \Delta E_c$$

On **W** és el treball que fem en pedalejar i **E_c** l'energia cinètica.

Hi ha dos tipus d'energia cinètica: la de translació i la de rotació. En el primer cas, l'energia cinètica de translació equival a:

$$E_c = 1/2 m \cdot v^2$$

On **m** és la massa i **v** la velocitat.

La manera d'obtenir més energia cinètica de translació i així incrementar la velocitat de la bicicleta, serà una menor massa del conjunt bici-ciclista. Per aquesta raó els ciclistes professionals no només són persones de baix pes, sinó que utilitzen bicicletes molt lleugeres.

L'energia cinètica de rotació, equival a:

$$E_c \text{ rot.} = 1/2 m \cdot r^2 \cdot \omega^2$$

On **m** és la massa de les parts que giren en la bicicleta, **r** el radi de gir i **w** la velocitat angular.

De totes les parts que giren en la bicicleta les més importants són les rodes, en les quals interessa que la major part de la seva energia

es gastin en el desplaçament i no pas en la rotació o moviment de gir. Això s'aconsegueix reduint la massa de les rodes, i per aquesta raó la llanta i els pneumàtics han de ser lleugers. Aquest mateix raonament s'aplica al plat i al pinyó, de tal manera que el primer té els pedals lleugers i en el segon el diàmetre dels engranatges és més reduït.

El rendiment de la bicicleta com a màquina

Quan parlem de màquines, és necessari parlar també de rendiment. En una màquina no tot el treball que s'aplica és aprofitable, ja que hi ha una bona part que es perd:

$$\text{Treball motor} = \text{treball aprofitat} + \text{treball perdut}$$

D'aquesta manera, el rendiment es defineix com la relació que es dona entre el treball aprofitat o útil i el treball motor o aplicat. Així:

$$\text{Rendiment} = W \text{ aprofitat} / W \text{ motor} = (W \text{ motor} - W \text{ perdut}) / W \text{ motor} = 1 - (W \text{ perdut} / W \text{ motor})$$

On **W** és el treball

Així doncs el rendiment serà més gran com menys pèrdues de treball tinguem. En el cas de la bicicleta el treball que es perd és a través de: energia cinètica de rotació, fregament, vibracions, cadena i resistència de l'aire.

Algunes de les maneres per evitar aquestes pèrdues de treball són:

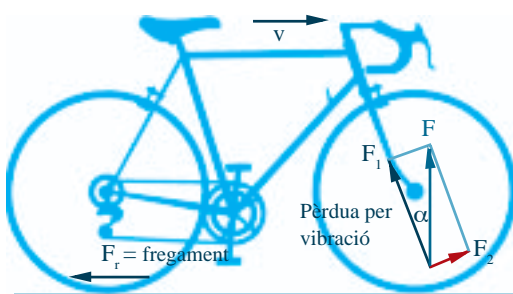
- En el cas de l'energia cinètica per rotació, cal que totes aquelles parts que giren (rodes, plat i pinyó), i principalment les rodes, siguin lleugeres.

El fregament amb el terra és necessari per tal que les rodes no llisquin. No intervé com

a pèrdua de l'energia aportada pel ciclista abans que es generin forces contra del moviment.

- Hi ha una altra pèrdua per fregament, el que es crea entre la cadena i les dents del plat i pinyó. Aquesta és una pèrdua important, ja que pot arribar a ser del 2,5 fins al 5 % del treball que hem aplicat. L'única manera de disminuir aquesta pèrdua tan important és mantenint en bon estat la cadena: netejant-la i posant-li oli sovint.
- Pel que fa a la vibració, correspon al treball perdut quan baixem d'una vorera. En aquest moment la roda del davant, la forquilla i els braços del ciclista absorbeixen les vibracions que es produeixen amb el moviment, sense que es pugui aprofitar per al desplaçament del conjunt. Així doncs, no hi ha cap manera de poder evitar aquesta pèrdua, ja que és impossible aprofitar les vibracions absorbides per l'estructura de la bici sempre que baixem un esgló.
- L'última resistència que ens fa perdre treball és la de l'aire. Quan ens desplaçem en bicicleta la resistència que ofereix la secció vertical de la bicicleta i el ciclista és de:

$$R = k \cdot s \cdot v^2$$



On k és la constant aerodinàmica que depèn de la manera en què el cos es mou, mentre s és la superfície de la secció i v és la velocitat del conjunt.

L'única manera de disminuir aquesta resistència també important és reduint la

secció vertical, inclinant-nos sobre el manillar. Així doncs, ara ja sabem per què els corredors ciclistes s'inclinen sobre el manillar per tal de disminuir la resistència de l'aire i augmentar la seva velocitat.

L'electromagnetisme en la bici

L'electromagnetisme és una part de la física que estudia els camps elèctrics i magnètics, com també les relacions que s'estableixen entre aquests dos.

L'electricitat és el conjunt de fenòmens físics originats per l'existència de càrregues elèctriques i per la interacció que pateixen entre elles. Quan una càrrega elèctrica es troba estacionària, produeix forces elèctriques sobre les altres càrregues pròximes a ella; quan està en moviment, produeix a més efectes magnètics. Les forces magnètiques són produïdes pel moviment de les partícules carregades, com per exemple els electrons; això ens indica l'estreta relació que hi ha entre l'electricitat i el magnetisme. La manifestació més popular del magnetisme és la força amb la qual s'atrauen o es repel·len entre ells els materials magnètics com els imants.

Una mica d'història...

A finals del segle XVIII i principis del segle XIX es van investigar simultàniament les teories de l'electricitat i el magnetisme. El 1819, el físic danès Hans Christian Oersted duguè a terme un important descobriment en observar que el corrent elèctric influeix en l'orientació d'una agulla magnètica que s'hi situï a prop. Aquest descobriment mostrava la relació entre l'electricitat i el magnetisme: un corrent elèctric crea un camp magnètic.

El 1831 el científic britànic Michael Faraday descobrí que el moviment d'un imant en les proximitats d'un cable induïx en aquest un corrent elèctric, aquest efecte

era el contrari del descobert per Oersted. Així doncs, Faraday demostrà que pot utilitzar-se un camp magnètic, o un imant que gira, per crear un corrent elèctric.

El magnetisme

Els materials naturals que tenen propietats magnètiques com és per exemple la magnetita, un mineral, creen al seu voltant unes línies de força, que uneixen els dos pols de

l'imant i amb les quals atrauen metalls. Cal dir, però, que hi ha un altre tipus d'imants artificials, coneguts com a electroimants. Aquests s'obtenen quan a un metall, per exemple el ferro, el sotmetem a un camp elèctric; en aquest moment no sols té la mateixa capacitat dels imants d'atraure petits trossos de metalls, sinó que també crea aquestes línies de força. Aquestes línies que uneixen el pol nord amb el sud de l'imant són conegudes com el camp magnètic.

El risc de no anar en bicicleta

Un informe elaborat per l'Associació Mèdica Britànica, que analitza totes les formes d'exercici físic que poden practicar els ciutadans regularment com a part de la vida diària, retreu a les autoritats que no promoguin l'ús de la bicicleta. L'informe acusa el govern de posar en perill la salut del país i refuta la vella excusa, que sovint expressen els polítics, que és un vehicle perillós. L'informe conclou que els avantatges d'anar en bicicleta per a la salut pública (vida sana fent exercici) superen amb escreix els seus desavantatges (riscos d'accidents). Els anys d'esperança de vida guanyats per anar en bicicleta són vint vegades més grans que els anys de vida perduts per ciclistes accidentats.

Una estadística holandesa mostra com el risc de patir accident de cotxe per cada milió de quilòmetres recorregut, entre els 18 i 29 anys, és el doble del que pateixen els ciclistes d'edat igual. En determinades edats el cotxe representa un risc global molt més important que la bicicleta. S'estima que cada any unes 250.000 persones arreu del món moren en accidents automovilístics i milions de persones en resulten lesionades. La dependència del cotxe ha esdevingut un assumpte de salut pública en la mesura que estem atrapats per la tirania de la gasolina.

Qualsevol política que promogui l'ús de la bicicleta com a mitjà de transport diari ha de minimitzar els riscos per als ciclistes: moderar la velocitat dels vehicles que circulen, una bona senyalització i mantenir en bon estat les vies, serien algunes mesures a tenir en compte.

Davant l'intent de protegir les víctimes dels accidents de trànsit, l'Administració pública ha elaborat un nou reglament amb el qual es vol implantar l'obligatorietat que els ciclistes usin el casc. Les entitats defensores de la bicicleta argumenten que dóna una imatge de perillositat irreal a la bicicleta. Resulta que els països amb un nivell d'ús de la bicicleta més gran i amb menys risc per quilòmetre recorregut són els que han sabut crear un entorn viari pacífic i molt més segur que no pas promoure el casc ciclista. Un casc que tot sigui dit no està homologat per a velocitats superiors als 23 km/h. Un cotxe que impacti contra un ciclista a una velocitat de 46,5 km/h l'envesteix amb una força equivalent per enviar-lo a l'alçada del pis tretzè d'un edifici. Per això, a la ciutat, la reducció de l'accidentalitat de la bicicleta depèn de les facilitats perquè els ciclistes circulin més protegits dels cotxes.



Anar al treball en bicicleta és bo per la persona, per a l'empresa i per a la salut pública i la societat en general. El cotxe és una xacra social.

En el moment que una càrrega elèctrica travessa aquestes línies del camp magnètic, apareix una força que influeix en la trajectòria que estava descrivint la partícula. Aquesta força es calcula a partir de la fórmula següent:

$$\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{B} \cdot \sin \theta$$

Si estem parlant d'un fil conductor, aleshores hem de multiplicar el resultat de la

fórmula anterior pel número de càrregues i el volum del conductor; aleshores tindrem que:

$$\mathbf{F} = n \cdot A \cdot v \cdot q \cdot l \cdot \mathbf{B} \cdot \sin \theta$$

On n equival al número de càrregues del conductor, A és l'àrea vertical del fil i l és la longitud del fil.

Si la intensitat del corrent que passa pel fil conductor és equivalent al producte de:

Quatre idees per no oblidar la bicicleta com a vehicle

«És poc probable que la gent s'animi a escollir la bicicleta com a mitjà de transport mentre tingui el risc de perdre la vida en els atribolats carrers.» *Martia Lowe (Worldwatch Institute)*

Si les persones tinguessin l'opció d'escollir la bicicleta en una ciutat dissenyada perquè aquest vehicle estigués protegit dels automòbils ben segur que l'ús de la bicicleta s'incrementaria. Al capdavant és un transport eficient, econòmic, ràpid i no contaminant

«Per més inversions que fem per construir vies ràpides per als vehicles, mai no podran allotjar la quantitat creixent d'automòbils.»
Lee Kuan Yu (President de Singapur)

L'urbanisme per ell mateix no pot resoldre la demanda creixent d'espai per als vehicles, atès que és una qüestió de consciència col·lectiva i de fer més segures les vies per als transports alternatius al cotxe privat.

«No hi ha més sord que aquell que no vol escoltar.» *Adagi popular*

Tot i saber que l'automòbil genera entre el 20 al 25 % del diòxid de carboni que pot ser la causa de l'efecte hivernacle; tot i així no sembla que ningú vulgui assumir que posem en perill la supervivència de les futures generacions que tan altívimament manifestem estimar. Es calcula que la contaminació causada pel cotxe és culpable de més de 20.000 morts anuals a França, Suïssa i Austràlia.

«Només els peixos i els ocells migratoris són més eficients per transportar-se que una persona amb bicicleta.» *Martia D. Lowe (Worldwatch Institute)*

Les bicicletes, que sovint no es tenen en compte en les planificacions de transport, resulten molt adequades per a les zones urbanes. Consumeixen només un 2 % de l'energia dels cotxes per passatger/km, costen entre un 2 i un 3 % del que val el cotxe, no contaminen gens, són saludables per als qui les utilitzen.



$$\mathbf{I} = \mathbf{n} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{q}$$

aleshores la força que actua sobre la carga \mathbf{q} que travessa el camp magnètic és equivalent a:

$$\mathbf{F} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{l} \cdot \mathbf{B} \cdot \sin \vartheta$$

Aquesta fórmula equival a la segona *lleï de Laplace*, la qual diu: un conductor rectilini indefinit on circula una intensitat de corrent \mathbf{I} , perpendicular a un camp magnètic, experimenta una força (\mathbf{F}) que en mòdul és equivalent al producte del camp magnètic (\mathbf{B}) per la intensitat (\mathbf{I}).

Un altre concepte important en les lleis de l'electromagnetisme va ser introduït per Faraday el segle XIX. Segons aquest físic, els fenòmens de la inducció magnètica es produeixen a partir dels canvis que experimenten aquestes línies del camp magnètic. Arran d'això introduí el concepte de *flux* com una mesura del nombre de línies de força que

travessen una determinada superfície. Actualment aquest concepte de flux es pot calcular com:

$$\phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S}$$

On \mathbf{B} és el vector del camp magnètic i \mathbf{S} és un vector perpendicular a la superfície de la qual calculem el flux que la travessa.

La llei que regeix la producció d'electricitat és la coneguda *lleï de Faraday-Henry*, la qual diu: la força electromotriu induïda per una variació de camp magnètic pot calcular-se mesurant la variació respecte al temps del flux magnètic que travessa la superfície d'un circuit elèctric:

$$\mathbf{Fem} = - (\Delta\phi/\Delta t)$$

On \mathbf{Df} equival a la variació de flux magnètic i \mathbf{Dt} és el temps

Val a dir, però, que la **Fem** del generador d'electricitat necessitarà més intensitat de corrent com més càrregues elèctriques es moguin per unitat de temps i per la resistència que oposi el circuit (\mathbf{R}). Aquesta expressió és coneguda com la *lleï d'Ohm*:

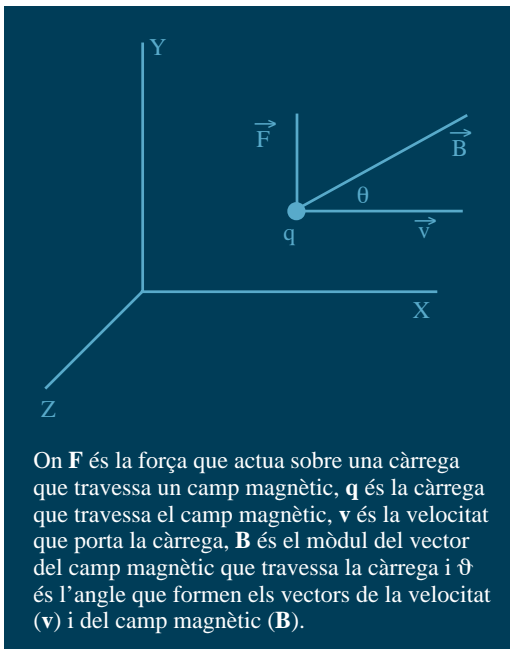
$$\mathbf{Fem} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{R}$$

On \mathbf{I} és la intensitat del corrent elèctric i \mathbf{R} la resistència del circuit elèctric.

En últim lloc, cal recordar que l'electricitat produïda només circularà si s'estableix un circuit tancat a través del qual les càrregues elèctriques puguin desplaçar-se.

El corrent altern, què és?

El corrent altern es caracteritza pel fet que el moviment dels electrons canvia de sentit un nombre determinat de vegades per segon, i ho fa d'una manera peculiar: la tensió i la



intensitat canvien contínuament de valor, d'acord amb una funció sinusoidal. Això és degut al fet que el generador que la produeix inverteix periòdicament els seus dos pols elèctrics, transformant-se el positiu en negatiu, i viceversa.

El magnetisme induït

Aquest fenomen físic ve descrit per les lleis de Faraday-Henry, els quals descobriren que un camp magnètic variable indueix un camp elèctric. És aquest el principi que fa funcionar la dinamo.

Si recordem la llei del flux:

$$\phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S}$$

que també es pot escriure:

$$\phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \cdot \cos \alpha$$

On α és l'angle que formen els vectors \mathbf{B} i \mathbf{S} , aleshores la variació del flux magnètic es pot produir a través de les variacions de la intensitat del camp magnètic (\mathbf{B}), que van ser les primeres experiències de Faraday. O bé, tal i com funciona la dinamo, a través de la variació de l'angle α .

Si tenim en compte que la dinamo està formada per un imant i una bobina, aleshores la llei de Farady-Henry aplicada sobre una bobina ens ajuda a calcular el valor de la força electromotriu que es pot generar per la variació del camp magnètic:

$$\mathbf{Fem} = - \mathbf{n} \cdot (\Delta\Phi/\Delta t)$$

On \mathbf{n} són el número de voltes que té la bobina, $\Delta\Phi$ és el flux i Δt el temps.

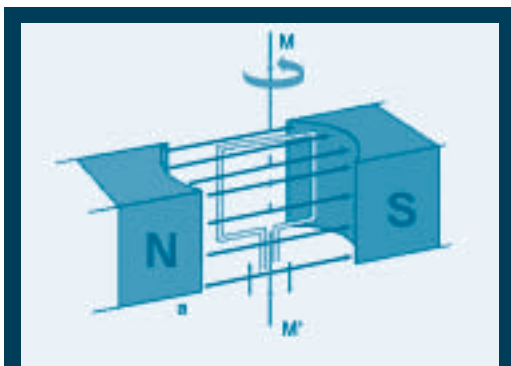
Transformació del corrent en llum

El corrent que es produeix en la dinamo és el que arriba a la bombeta; en aquesta, en passar el corrent pel filament es troba amb una resistència, per vèncer la qual les càrregues han de fer un treball que es manifesta en forma de calor.

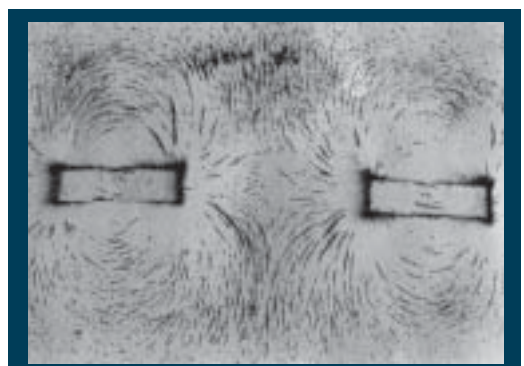
La calor produïda en passar el corrent pel filament és:

$$\mathbf{Q} = 0,24 \cdot \mathbf{I}^2 \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{t}$$

On \mathbf{I} és la intensitat del corrent, \mathbf{R} la resistència dels filaments i \mathbf{t} el temps durant el qual circula corrent. El **0,24** és l'equivalent per transformar les unitats de treball en calories.



Un imant donant voltes entremig d'un camp magnètic genera un corrent per causa de la variació de càrregues en el magnetisme.



Les línies o forces establertes entre els diferents pols d'un imant visualitzen la capacitat de produir corrent elèctric amb imants en moviment.

L'energia consumida per les càrregues elèctriques en vèncer la resistència de pas del conductor augmenta la seva energia interna i eleva així la temperatura del filament fins a posar-lo incandescent i emetre llum, atès que tots els cossos a temperatures elevades emeten llum.

Com que l'energia emesa per l'elevació de la temperatura serà més gran com més gran sigui la resistència que trobin les càrregues elèctriques per moure's, és convenient fer que el filament ofereixi molta resistència. Cal tenir en compte que aquesta depèn:

$$R = \rho \cdot (l/s)$$

On ρ és una constant que depèn de cada metall, l és la longitud del filament i s la secció.

Aleshores, per tal que R sigui molt gran, serà convenient que el filament sigui molt llarg i molt prim, i d'un material que es mantingui sòlid a altes temperatures.

La dinamo, què és i com funciona?

La dinamo és un mecanisme que té la nostra bicicleta gràcies al qual a partir del fregament podem generar l'electricitat per



La dinamo de la bicicleta s'hauria d'anomenar magneto ja que l'origen del corrent és el magnetisme permanent de l'imant, mentre que el substantiu dinamo s'aplica quan el magnetisme el produeix un corrent elèctric.

il·luminar el camí quan és de nit. Aquesta és la màquina dinamoelèctrica més senzilla; va ser desenvolupada per Faraday i consisteix en una peça metàl·lica en forma de U que té enrotllat un fil prim i llarg de coure. En l'extrem superior de la dinamo hi ha un eix que gira quan entra en contacte amb la roda, i del qual penja un imant que se situa entre els extrems del metall en forma de U.

Per a la generació d'electricitat és necessari que l'imant de la dinamo es mogui tan a prop com sigui possible dels enrotllaments; per aquesta raó s'aprofita la propietat que tenen els metalls de transformar-se en un imant en situar-se a prop d'un imant. Així els extrems metàl·lics en forma de U de la dinamo, com que tenen l'imant permanentment davant, es converteixen en els pols de signes contraris dels que tenen al davant.

Com que la producció de corrent elèctrica és deguda a la variació del camp magnètic segons la llei de Faraday-Henry, en girar l'imant i allunyar-se i apropar-se alternativament els pols dels extrems de la peça fixa, es compleix la condició de la variació del camp magnètic.

D'aquesta manera els enrotllaments estaran immersos en un espai on canvia el



Aplicació de la capacitat de producció energètica de la dinamo en una bicicleta per generar l'electricitat necessària per carregar un telèfon mòbil mentre pedalem. Es tracta d'un producte suec conegut per *Pedal & Power*.

magnetisme amb gran rapidesa, i amb això s'origina el moviment de les càrregues elèctriques. Com que les càrregues elèctriques van canviant de sentit de la marxa segons la polaritat de l'imant, el corrent que es produeix és corrent altern. Es podria dir que l'imant fa variar el flux magnètic d'acord amb la funció:

$$\phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \cdot \cos \omega t$$

essent ω la velocitat de l'imant uniforme que dona lloc a una variació periòdica del flux magnètic.

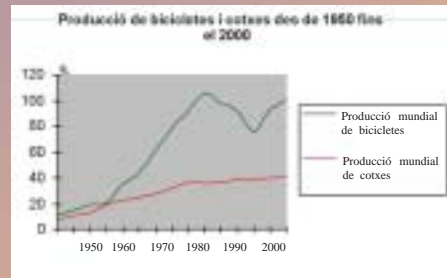
Aleshores la **Fem** induïda en la bobina varia periòdicament amb l'orientació i amb el temps, passant de ser positiva a negativa, i viceversa, d'una forma alterna. Així, segons la llei de Faraday-Henry, en variar el flux magnètic per unitat de temps, s'indueix una força electromotriu, és a dir, es genera electricitat alterna, que si la representéssim gràficament en funció del temps tindria una forma sinusoidal.

$$\mathbf{Fem} = - \mathbf{n} \cdot (\Delta\Phi/\Delta t)$$

Així doncs, en fer girar l'imant quan col·loquem la dinamo sobre la roda, es pot ob-

Producció de bicicletes

De la mateixa manera que sembla que els automòbils i els camions aparten el ferrocarril per als qui fan viatges de llarga distància, en els desplaçaments curts les motocicletes i els cotxes sembla que desplacin les bicicletes. Val a dir, però, que si comparem les xifres de producció mundial d'automòbils podem veure com al 2001 es fabricaren en el món 39,8 milions de cotxes (això elevarà el parc mundial fins a 531 milions de vehicles per al 2002); durant aquest mateix any, es fabricaren 97 milions de bicicletes, i només entre 1990 i 2001 es fabricaren més de 1.000 milions de bicicletes.



El 1997 la producció de bicicletes va disminuir molt, fins i tot a l'Àsia, el continent capdavanter en producció i utilització. Però la producció tornà a augmentar l'any següent i ara es manté estabilitzada

al voltant dels 100 milions d'unitats. La producció i vendes de bicicletes elèctriques es van remuntar de manera espectacular, principalment al Japó, que n'és el principal productor. Els observadors del mercat calculen que la producció i venda de bicicletes elèctriques continuarà creixent fins arribar a situar-se, el 2010, a més de 2 milions. Les bicicletes elèctriques impulsades per una bateria permeten als ciclistes arribar a velocitats superiors als 22 quilòmetres per hora sense pedalar, i superiors quan es pedala i es fa servir alhora la bateria, convertint-se així en un bon substitut dels ciclomotors i els escúters, que en general són sorollosos i molt contaminants.



servar com el corrent generat produeix en la bombeta llum que es fa molt més intensa com més gran sigui la velocitat a què fem girar la roda.

Tal i com s'ha dit abans, només circula corrent per un circuit quan aquest sigui tancat; en el cas de la bicicleta, la dinamo té un cable a través del qual surt el corrent cap a la bombeta, i el camí de tornada de la corrent l'estableix la mateixa estructura metàl·lica de la bicicleta, tancant-se així el circuit elèctric.

L'òptica com a font de seguretat

L'òptica de la bicicleta es divideix en dos apartats: la bombeta i els catadiòptrics.

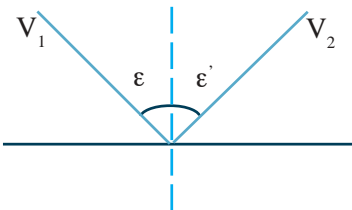
La llum es propaga en línia recta en el buit i, quan es troba un obstacle en la seva propagació, el penetra, queda absorbida o reflectida. La llum en reflectir-se, compleix dues lleis. En primer lloc la reflexió: la llum quan arriba a una superfície rebota. En aquest cas l'angle amb què incideix el raig de llum sobre una superfície respecte a la perpendicular a la superfície és igual a l'angle que forma el raig de llum reflectit per la superfície.

La llei de la física que descriu la reflexió diu:

$$\epsilon = \epsilon'$$

On ϵ és l'angle que forma la llum en incidir sobre la superfície i ϵ' és l'angle que forma la llum reflectida, v_1 és la velocitat d'incidència de la llum i v_2 la velocitat amb què surt reflectida la llum.

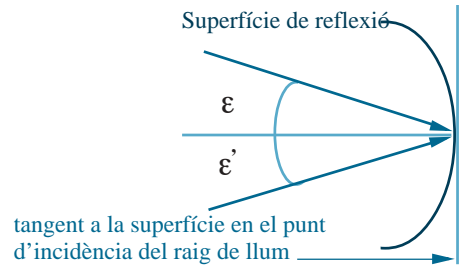
Si la superfície, en lloc de ser plana, és



convexa la llum divergeix en totes direccions, mentre que si la superfície és còncaua la llum es pot concentrar.

Per facilitar que la llum generada per una

bombeta il·lumini de manera òptima la part del davant del camí de la bicicleta, la bombeta

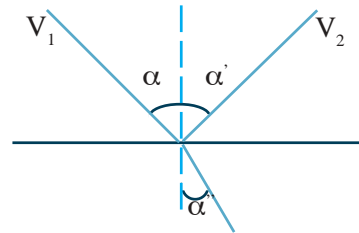


es col·loca a la part central d'una superfície reflectora còncaua que projecta endavant la llum que aniria en direccions on no compliria cap funció positiva.

La segona llei que compleix la llum és la de la refracció. Aquest fenomen es dona quan la llum passa d'un medi a un altre. La llei de la física que descriu aquest fenomen és:

$$n_1/n_2 = \sin \alpha' / \sin \alpha$$

On n_1 i n_2 corresponen als índexs de refracció dels



medis 1 i 2 que travessa la llum i α i α' són els angles que formen la llum incident i la refractada respecte a la perpendicular.

Aquest fenomen de la refracció, que fa que variïn les direccions dels rajos que arriben en continuar a l'interior del cos en el qual han tocat, és el que fa que ens semblin més alts els fons de les piscines, i que quan s'introdueix una cullereta en un got d'aigua, segons com es miri, sembla que la cullera estigui doblegada per un punt que correspon al nivell de l'aigua.

En el cas de la bicicleta els catadiòptrics

no sols utilitzen la llum reflectida, sinó que també s'aprofiten de la llum refractada, és a dir, la que ha experimentat una desviació penetrant en la matèria (fenomen de refracció).

Existeix, però, un angle d'incidència de la llum sota el qual la llum refractada és de 90°, anomenat angle límit. Així per a valors superiors a aquest angle d'incidència no hi haurà refracció de la llum sinó només reflexió.

L'acústica

Quan una superfície material oscil·la en l'aire, produeix una ona que anomenarem sonora. L'ona sonora a l'aire consisteix en una alternança periòdica de pressions en cada punt del mig. En una conversa en veu alta l'amplitud de la pressió sonora és aproximadament una milionèsima part de l'atmosfèrica. La pressió sonora està íntimament lligada a la velocitat d'oscil·lació de les partícules de l'aire.

El so es propaga en l'aire, encara que és possible propagar-lo en altres medis sòlids o líquids. Pel fet de ser una ona de pressió no es pot transmetre en absència d'un medi de

suport, és a dir, no es transmet en el buit. La velocitat de propagació del so depèn del medi en què es propaga, però per exemple en l'aire és d'uns 340 m/s, en l'aigua d'uns 1500 m/s i en l'acer de 5000 m/s.

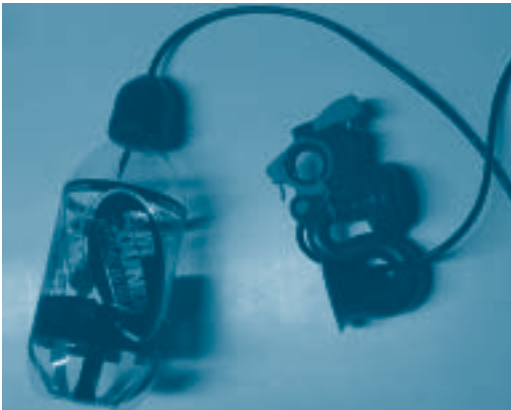
L'oïda humana només pot percebre les oscil·lacions compreses entre els 20 Hz i els 20.000 Hz. Les ones sonores que queden per sobre d'aquest rang són anomenades ultrasons, tot i que hi ha animals, com per exemple els gossos, que poden sentir els sons fins a 30.000 Hz.

Les propietats característiques del so són les següents:

- La *intensitat*, que ens permet diferenciar entre un soroll fort i un altre de dèbil. Lògicament ha d'estar relacionat amb l'amplitud de l'ona: com més gran sigui la seva amplitud més intensitat tindrà el soroll.
- El *to*, que està caracteritzat per la freqüència de l'ona sonora. Es dirà que és greu quan la seva freqüència sigui baixa, i agut quan sigui elevada.
- El *timbre*, ja que el so no és només una ona harmònica pura, sinó la superposició de diferents ones al voltant d'una principal. Dos sorolls de la mateixa intensitat i del mateix to poden estar diferenciats.

Els mitjans acústics utilitzats per a la seguretat dels ciclistes foren en el seu dia les bocines, substituïdes actualment per timbres. Aquests són muntatges senzills d'una palanca amb un braç dentat i dos torns, l'últim dels quals, quan gira, separa unes peces que xoquen contra la tapa del timbre.

Així, quan en un lloc concret fem vibrar el timbre de la nostra bicicleta, o un oscil·lador mecànic qualsevol, les vibracions s'estenen per l'aire propagant-se en totes direccions. Quan les ones de pressió arriben a la nostra oïda posen en vibració el nostre timpà. La vibració es propaga a través de la cadena d'ossos auditus cap a l'òrgan de Corti, on provoca l'excitació de les neurones, la



Interessant accessori per fer de botzina en una bicicleta. Es compon d'una bombona que emmagatzema aire comprimit, la força expansiva del qual es tradueix en so a través de la trompeta; aquesta incorpora una vàlvula per poder recarregar la bombona d'aire comprimit.

La bicicleta més eficient i còmoda

Les bicicletes reclinables van ser desenvolupades no només per fer incrementar la velocitat en el ciclisme de competició, sinó també per a la comoditat dels ciclistes quotidians, tot apostant per una estructura més aerodinàmica i segura.

Les bicicletes reclinables conegudes en anglès com a *recumbent bicycles* deuen el seu nom a la paraula *recumbere*, reclinar, i tenen aquest nom ja que el ciclista recolza totalment l'esquena durant la conducció. Aquest i altres vehicles impulsats per la força humana s'agrupen en la IHPVA (*Intenational Human Powered Vehicle Associations*) ubicada, des de finals de 1997, a San Luis Obispo, Califòrnia.

En un ciclista que circuli a 28,8 km/h, un 80% de la força que exerceix és frenada per la resistència de l'aire, una part causada pel moviment de les cames del ciclista en pedalejar. I en l'altra part, i la més important, la gran àrea que ocupa el conjunt bicicleta-ciclista.

Una manera per reduir la resistència de l'aire pot ser disminuint l'àrea frontal del conjunt bicicleta-ciclista o bé incorporant una carcassa aerodinàmica. La bicicleta reclinable és una aposta per la primera mesura.

Gràcies a la peculiar col·locació del ciclista es redueix la secció que s'oposa a l'aire, i el fet d'emprar quadres aerodinàmics permet assolir grans velocitats amb poc esforç (el 1995 un americà va arribar als 110 km/h en un esprint de 200 m).

Per calcular la secció que crea un ciclista sobre la bicicleta, els models matemàtics més utilitzats simplifiquen el cos del ciclista en un rectangle que, quan el mirem de perfil, conté dos mitges circumferències en la part superior i inferior. Aquestes dues mitges circumferències són necessàries per imitar l'alçada de l'àrea frontal del ciclista que depèn de la inclinació del cos. L'alçada de l'àrea frontal s'encongeix si el ciclista s'inclina sobre el manillar. L'angle d'inclinació del rectangle està relacionat amb els angles de les extremitats: braços i cames.

La bicicleta reclinable, tot i ser un giny molt més evolucionat quant a eficiència, és un aparell molt poc conegut i emprat.



La bicicleta perfecta per fer exercici

Les bicicletes *rowingbikes* foren dissenyades per Derk Thijs, una persona preocupada per l'esport i la salut. A partir del disseny d'una bicicleta reclinable va muntar un sistema de propulsió basat en una molla que es tensa i es destensa i un manillar amb moviment basculant coordinat amb un moviment complementari dels pedals endavant i enrera que li dona impuls. N'hi ha una versió comercial des de 1998.



Més informació: http://www.bcbikes.com/about_row_bikes.html

Rotor: un invent per revolucionar la tracció a la bicicleta

El 1995 Pablo Carrasco, un enginyer de Màlaga, va idear la manera d'eliminar els punts morts del pedaleig, és a dir, quan els pedals estan en posició vertical (formen un angle de 180° entre ells) cap de les dues cames del ciclista pot transmetre potència. Aquest fet es tradueix en una reducció del rendiment del pedaleig, a causa de la discontinuïtat de la transmissió de la potència i, en alguns casos, origina tendinitis i lesions de genoll. L'objectiu de Pablo era aconseguir un pedaleig més natural que, per tant, eliminés els punts morts. Així, s'aprofitaria al màxim la força aplicada sobre els pedals, incrementaria el rendiment de la bicicleta i milloraria la salut del ciclista.

Pablo, i altres socis, fundaren el 1996 ROTOR Componentes Tecnológicos, S.L. i després de diferents prototips es van associar amb Enrique Del Rey, un prestigiós fabricant de components de bicicletes. En els següents anys es van fer estudis fisiològics a les Universitats de Ferrara i Valladolid en els quals es demostraven científicament els beneficis del sistema i, finalment, el 2000 fou homologat per l'UCI per a les competicions ciclistes. Així nasqué l'última innovació tècnica de la bicicleta.

El nou plat desenvolupat per Rotor optimitza el rendiment del conjunt bicicleta-ciclista en aconseguir transmetre tota la potència que exerceixen les cames del ciclista sobre els pedals.

Les característiques d'aquest plat, que permeten incrementar la potència fins a un 16 % (equivalent a tres minuts per hora), és que independitza les bieles de manera que mai no puguin estar alineades a 180° fixos, sinó que l'angle entre aquestes varia durant el pedaleig. Així el pedal a dalt no coincideix amb el de baix i s'eviten els punts morts. D'altra banda, el pes de Rotor, que és lleugerament superior al d'un plat convencional, queda compensat per l'increment de la velocitat en eliminar els punts morts.

Els beneficis de Rotor no només es redueixen a la millora de la eficiència de la bicicleta com a màquina. La salut del ciclista també en surt beneficiada respecte al model convencional. En primer lloc, l'àcid làctic que desprèn el múscul a la sang durant l'exercici físic, com a conseqüència de la producció anaeròbica d'energia en el teixit muscular, en prolongar-se pot arribar a acidificar la sang. Si l'exercici físic es prolonga, l'àcid làctic pot acumular-se en el múscul i és el responsable de l'escurrimient muscular. En cas que l'exercici s'aturi, l'àcid làctic present en la sang es degrada sense arribar a acumular-se al múscul. Quan un ciclista utilitza el plat Rotor, la concentració d'àcid làctic en la sang és un 15 % més baixa que si s'empra el plat convencional. D'aquesta manera el múscul no necessita tanta producció anaeròbica d'energia. Si el ciclista té menys concentració d'àcid làctic a la sang, la vasodilatació del múscul és menys important i per això no es necessita tanta aportació d'oxigen. El resultat és una disminució del 5% de les pulsacions. En darrer lloc, el benefici més remarcable és que disminueix les lesions de genoll ja que en el pedaleig convencional el genoll es sotmet a una gran tensió articular quan la cama està fent força en el punt mort superior. Pel fet que el mecanisme de Rotor elimina aquest punt mort, l'estrès que pateix aquesta articulació és menor i, per tant, disminueix les lesions de genoll.



Seqüència dels moviments del pedaleig amb el plat de Rotor.

qual es tradueix en una sensació sonora.

Pressió dels gasos

La pressió és la força que actua per unitat de superfície; és necessari tenir-la en compte principalment en el moment d'inflar els pneumàtics.

Pressió = força/superfície

La pressió que s'origina a l'interior de la cambra serà proporcional a la quantitat d'aire introduït:

$$P = c \cdot n \cdot v$$

On v és el volum del cos de la bomba, n és el número d'embolades, c una constant i P la pressió.

La pressió d'un gas, en relació amb les seves molècules, depèn del número d'aquestes, de la seva massa i de la seva velocitat, la qual es troba relacionada amb la temperatura. Així, quan volem variar la pressió es fa variant la magnitud, cosa que és equivalent a variar el número de molècules d'acord amb de les embolades que haurem donat.

La influència de la temperatura també és important, ja que a més temperatura més pressió s'exerceix en les molècules sobre les parets de la cambra i més inflats són els pneumàtics.

La calor i la temperatura en la bicicleta

L'energia que es manifesta com a calor en els llocs de la bicicleta on hi ha més fricció es propaga i passa a l'aire o al material que envolta la zona de fricció.

La propagació d'aquesta energia d'un punt a un altre pot fer-se de tres maneres: per conducció, per convecció i per radiació. En el cas de la bicicleta té molta més importància



Una persona quan camina consumeix 0,75 cal/g/km mentre que, a un ciclista, li costa només 0,15 cal/g/km i a més aconsegueix una velocitat de tres a quatre vegades la d'un vianant.

la conducció, ja que la bicicleta està formada per metalls, el quals permeten la propagació de la calor.

Les parts que adquireixen més temperatura per fricció cedeixen calor a les més fredes en la quantitat Q

$$Q = m \cdot c (t_2 - t_1)$$

On m és la massa del cos, c és la calor específica, Q el número de calories i t_2 i t_1 és la diferència de temperatures entre els dos extrems del cos.

Un altre efecte de l'augment de la temperatura és la variació de les distàncies que hi ha entre les molècules i, per conseqüent, les variacions de les dimensions dels cossos. Aquesta variació és coneguda com a dilatació tèrmica dels cossos. Això és el que succeeix amb les llantes metàl·liques quan s'escalfen.

Es poden calcular les variacions que poden tenir les llantes aplicant la fórmula de la dilatació lineal:

$$L_t = L_0 (1 + \lambda (t - t_0))$$

On L_t i L_0 són les longituds a la temperatura final i inicial respectivament, t és la temperatura a la qual arribem i λ és el valor del coeficient de dilatació lineal.

L'elasticitat de la bicicleta

La comoditat en l'ús de la bicicleta requereix els amortiments de les sotragades i els cops que podem rebre com a conseqüència de les irregularitats de la superfície. És cert que el cos humà és flexible i té el seu propi sistema d'amortiment, però de poc serviria si la bicicleta no contribuís en part a evitar o disminuir els efectes de les sotragades.

Es coneix per elasticitat la propietat dels cossos de deformar-se quan se sotmeten a forces externes, i recuperar la forma primitiva quan la causa deformadora desapareix.

En dos punts de la bicicleta és on s'aprofita aquesta propietat física dels cossos: en la suspensió del selló (sòlida) i en la utilització dels pneumàtics (aire).

En el cas del selló poden utilitzar-se fins a tres tipologies de molles. La primera serien les molles verticals que, situades en la part posterior, treballen en la compressió, generalment n'hi ha dos. Uns altres que solen

anar muntats de davant cap al darrera i treballen en la torsió, i unes terceres de mida més petita, que es troben per tota la superfície interior del selló, i treballen en la tracció.

En tots ells es pot comprovar que la deformació de les molles depèn del pes del ciclista, i que es dona una proporcionalitat entre la deformació que pateixen i la força deformadora, segons la llei:

$$F = K \cdot D$$

On F és la força deformadora, D és la deformació que pateix la molla i K és una constant.

Els pneumàtics de les rodes, flexibles, per ells mateixos estan omplerts amb aire suficient per treballar a una pressió determinada. La sobrepressió exercida per una irregularitat del terra provoca deformacions del pneumàtic que impliquen increments de pressió de l'aire del seu interior. Aquests, alhora, causen un petit increment del volum del pneumàtic, que fa l'efecte d'amortir el sobre esforç de la roda.

Els canvis sobtats de relleu, com en els graons, són perillous per a la bicicleta. Les deformacions dels pneumàtics causades per un impacte sobtat sobre una superfície cantalluda pot fer tocar la llanta, provocar una falta d'amortiment i deformar la roda.

La bici en el tercer món

Menys d'un 1 % de la població del Tercer Món pot tenir un vehicle motoritzat; per això pedalar s'ha convertit en el mitjà més econòmic de les famílies. Així doncs, la bicicleta és una necessitat en el Tercer Món, fet que ha propiciat que algunes organitzacions no-governamentals recollissin bicicletes velles, les quals un cop reparades envien a països on recuperen la seva funcionalitat. Aquest és el cas de Pedals for Progress que en els seus 12 anys de funcionament ha tramès més de 64.000 bicicletes. L'activitat d'aquesta entitat americana és incessant i compta amb l'ajut d'escoles i associacions civils que en faciliten la recollida perquè siguin recuperades i enviades a països no desenvolupats. La seva pàgina web (www.p4p.org) recull més aspectes d'aquesta iniciativa a favor de la bicicleta solidària.

Recursos, bibliografia i internet

Entitats

- Coordinadora Catalana d'Usuaris/es de la Bici, coordinadora de diversos grups de promoció i defensa de la bicicleta a Catalunya. http://www.amicsdelabici.org/a_ccub.htm
- Amics de la bici: grup d'usuaris de Barcelona que defensen i promouen l'ús de la bicicleta. C. Demòstenes, núm. 19. CP. 08028 (Barcelona). Tel. i fax. 93 339 40 60. <http://www.amicsdelabici.org>
- Coordinadora en Defensa de la Bici (ConBici): coordinadora en territori espanyol per a la promoció de la bicicleta i la defensa dels interessos dels ciclistes. <http://www.conbici.org>
- Bicicleta Club de Catalunya (BACC): organització d'usuaris que col·labora amb el Gremi de Comerciants de Bicicletes de Catalunya per millorar el servei i defensar els interessos dels ciclistes. Mensualment edita una revista anomenada *Ciclo Times* on es publiquen tot tipus de notícies i articles relacionats amb el món de la bicicleta. C. de la Verneda, núm. 18. CP. 08018 (Barcelona) Tel. i fax. 93 307 71 00. <http://www.bacc.info>
- European Cyclists' Federation: federació europea d'entitats en defensa de la bicicleta la qual organitza el congrés bianual *Velocity* (el .

Bibliografia

- SÁNCHEZ REAL, José. *La física de la bicicleta*. Madrid: Ediciones la Torre, 1998.
- DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. *Anar en bicicleta: la solució capdavantera per a les ciutats*. Barcelona: 1999.
- MINISTERIO DE FOMENTO. *La bicicleta en la ciudad*. Madrid: 1999.
- AJUNTAMENT DE BARCELONA. *Libro de Ponencias: 10º Congreso Internacional de planificación para la bicicleta*. Barcelona: 1997.
- LOWE, Marcia D. *The Bicycle: Vehicle for a Small Planet*. Worldwatch Paper 90. Setembre del 1989.
- WORLDWATCH INSTITUTE. *L'estat del món 2001*. Centre Unesco de Catalunya, 2001.

Internet

- <http://www.bcn.es/bicicleta>; pàgina web de l'Ajuntament de Barcelona sobre la bicicleta, amb un mapa dels carrils bici de la ciutat.
- <http://www.ffe.es/viasverdes/viasverdes.htm>; vies verdes de tot Espanya.
- <http://www.gencat.es/turisme/btt>; Centres BTT de Catalunya.

- <http://www.kreuzotter.de/english/espeed.htm>; calculadora que compara velocitats de diferents tipologia de bicicletes.
- <http://www.readyssoft.es/home/mxicola/br.html#dddd>; pàgina web de bicicletes reclinables.
- <http://www.pro-bici.com>; diferents informacions sobre els avantatges de la bicicleta.
- <http://www.mundocaracol.com/bicicletos/historia.asp>; pàgina web d'aficionats a la bicicleta, on hi tenen una secció d'història de la bicicleta.
- <http://www.amigosdelciclismo.com>; pàgina web molt completa amb articles que defensen la utilització de la bicicleta com a font de salut i també amb una secció que ens ensenya la mecànica bàsica per resoldre qualsevol problema que tinguem amb la bicicleta.
- <http://www.rotorbike.com>; pàgina web de ROTOR des d'on diferents usuaris i experts expliquen els beneficis d'aquest nou invent.
- <http://www.iespana.es/platabicicordoba>; pàgina web de la Plataforma del Carril Bici de Córdoba, amb molts documents on compara la utilització de la bicicleta amb el cotxe, altres articles sobre els beneficis de la bicicleta, etc.
- <http://www.trixi.info>; pàgina web on s'explica què és un trixi, les seves característiques i en quina zona de Barcelona s'instalarà aquest sistema de transport.
- http://www.cicloruta.com/quienes_somos/index.htm
- <http://www.ecf.com/publications/Download/helmetes.doc>; interessant document sobre la posició de l'ús del casc a la bicicleta..
- <http://www.lapt.org/es/esindex.htm>; pàgina web de la PTP que recull tota la premsa sobre mobilitat i transport públic; també edita una revista *Mobilitat Sostenible* en paper que pots consultar també a través de la seva pàgina web.
- http://europa.eu.int/comm/environment/cycling/greenways_es.pdf; guia de les bones pràctiques de les vies verdes d'Europa.
- <http://www.gencat.net/mediamb/ea/mobilitat.htm>; pàgina web del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya sobre la mobilitat sostenible. Des d'aquesta mateixa pàgina pots consultar el llibre: *Anar en bicicleta: la solució capdavantera*.

