

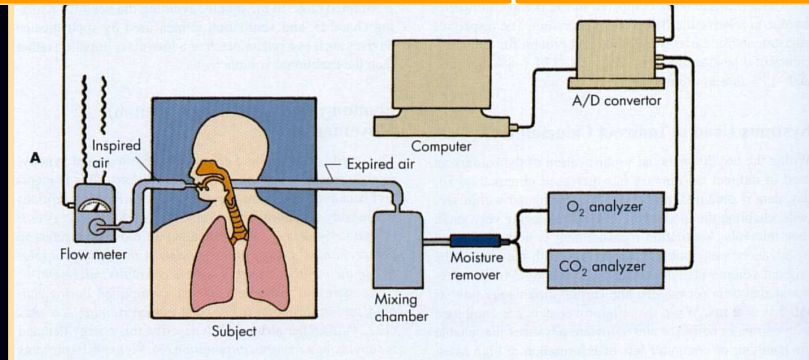
3. Gaia.- Energia-kostua

- 3.1. RER (respiratory exchange ratio):
arnasketako elkartrukearen kozientea.
- 3.2. Atsedendiko energia-gastua: oinarrizko
metabolismoa.
- 3.3. Mugimenduaren ekonomia eta
eraginkortasun mekanikoa.
- 3.4. Lasterketan zehar energia-gastua.

Arnasketako gasen elkar trukearen neurketa



Zirkuito irekiko espirometria



- Zeharkako kalorimetria: arnastutako gasen elkar trukearen neurketa.
- Denbora zehatz batean, biriketatik sartzen den eta ateratzen den O_2 - eta CO_2 -bolumenaren neurketa.
 - Hartutako arnasaren bolumena.
 - Botutako arnasaren bolumena.
 - Hartutako arnasaren O_2 eta CO_2 -frakzioa.
 - Botutako arnasaren O_2 eta CO_2 -frakzioa

RER (arnasketako elkartruke-kozientea) edo arnasketa-kozientea (RQ).

- Gorputzak erabiltzen duen energia estimatzeko, oxidatzen den jakiaren mota (KHO, gantza, edo proteina) jakitea beharrezkoa da.
- Metabolismoan erabiltzen den oxigeno kopurua erregaiaren menpe dago.
- Zergatik?
 - Molekula baten karbono eta hidrogeno atomoen oxidazio osoak (CO_2 eta H_2O sortzeko) O_2 -ren kantitate ezberdinak behar ditu; KHO, lipido eta proteinek konposizio kimiko ezberdinak dituztelako.
 - Metabolizatzen den substratuak (VO_2 -arekin erlazionatuta) VCO_2 zehazten du.
 - $RER = VCO_2 / VO_2$
- RER kalkulatu badugu, zer-nolako erregaia egoera egonkor batean oxidatzen ari den jakitea litekeena da.

RER

- Substratuaren erabilpenari buruz informazioa ematen du.
- **KHO**: glukosa-molekula baten oxidazio osoak O_2 -6 molekula behar ditu, eta CO_2 - eta ur-6molekula ekoizten ditu.
 - $RER = 6CO_2 / 6O_2 = 1,00$ (ekoiztutako CO_2 = kontsumitutako O_2)
 - $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \longrightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 38 ATP$
- **Lipidoak**: O_2 -atomo gutxiago dute, C eta H-atomoekin konparatuz. Horregatik, energia sortzeko O_2 gehiago behar du CO_2 -ekoizpenarekin lotuta.
 - $RER = 16CO_2 / 23O_2 = 0,70$ (azido palmitikoa)
 - $C_{16}H_{32}O_2 + 23 O_2 \longrightarrow 16 CO_2 + 16 H_2O + 129 ATP$
- **Proteinak**: gibelak aminoazidoaren molekula desaminatzen du (N kentzen). Geratzen den zetoazidoa CO_2 - eta ur bihurtzen da oxidazioan energia emateko.
 - $RER = 63CO_2 / 77O_2 = 0,82$ (albumina)

Ariketan zehar egoera egonkorrean erregai-erabilketaren estimazioa

- Arnasketako elkartruke-kozientea (RER)
 - VCO_2 / VO_2
 - Erregaiaren erabilpena zehazten du
 - 0,70 = gantza-%100
 - 0,85 = gantza-%50 gantza, KHO-%50
 - 1,00 = KHO%100

RER-aren kaloria-baliokidetasuna eta kcal-%

RER	ENERGIA	Kcal-%	
	Kcal/L O ₂	KHO	GANTZA
0,71	4,69	0,0	100,0
0,75	4,74	15,6	84,4
0,80	4,80	33,4	66,6
0,85	4,86	50,7	49,3
0,90	4,92	67,5	32,5
0,95	4,99	84,0	16,0
1,00	5,05	100,0	0,0

Erregai-erabilpenaren estimazioa jarduera fisikoan zehar

- Atsedendian eta jarduera aerobiko arinean RER-balioak nutriente-nahastea isladatzen du (0,78-0,80), KHO-en %40 eta gantzen %60, alegia.
- Jarduera fisikoan muskuluak KHO-etan gehiago konfiatzen dira, eta RER balioa handitzen da. Ariketaren intentsitatea gehitzen denean, RER 1 baliotik gertuago izango da.
- RER = 0,70 (gantza-%100)
- RER > 1 (Intentsitate handiko jarduera fisiko anaerobikoan ekoiztutako CO₂-k VO₂ gaintitzen duelako, hiperairezta-penagatik). Subjektua esfortzu maximora heltzen ari da.



TABLE 2. Exercise testing peak values of the study population.

Variable	AP (N = 97)	SHF (N = 50)	DHF (N = 47)	P Value
				SHF vs DHF
Workload (W)	50.9 ± 20.5	48.9 ± 22.5	52.9 ± 18.3	0.35
Exercise test time (s)	404 ± 151	398 ± 174	410 ± 128	0.70
Peak heart rate (bpm)	134 ± 19.5	132 ± 19.6	135 ± 19.6	0.55
Peak blood pressure (mm Hg)				
Systolic	178 ± 27.1	171 ± 28.6	185 ± 25.9	0.008
Diastolic	87 ± 11.7	86 ± 12.3	89 ± 10.2	0.36
VO _{2peak} (mL·min ⁻¹)	1070.6 ± 300.3	1079.8 ± 343.6	1060.8 ± 249.4	0.76
VO _{2peak} (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	13.5 ± 3	13.7 ± 3.3	13.4 ± 2.6	0.66
VCO _{2peak} (mL·min ⁻¹)	1178 ± 348.2	1191 ± 378	1165 ± 318.5	0.72
VE/VCO _{2peak}	43 ± 0.4	40 ± 0.7	47 ± 0.5	0.45
RER _{peak}	1.12 ± 0.10	1.11 ± 0.10	1.13 ± 0.09	0.44
VT (mL·min ⁻¹)	713.4 ± 154.2	714.6 ± 147.5	712.1 ± 162.1	0.94
VT (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	9.0 ± 1.5	9.2 ± 1.5	8.8 ± 1.5	0.32
6-MWT (m)	438.8 ± 111.2	432.2 ± 115.0	447.0 ± 108.7	0.53

Values are means ± SD. AP, all patients; SHF, systolic heart failure; DHF, diastolic heart failure; VO_{2peak}, peak oxygen uptake; VCO_{2peak}, peak carbon dioxide production; VE/VCO_{2peak}, ventilatory equivalent from carbon dioxide; RER_{peak}, respiratory exchange ratio; VT, ventilatory threshold; 6-MWT, 6-min walk test.

TABLE 2. Maximal performance and lactate threshold characteristics.

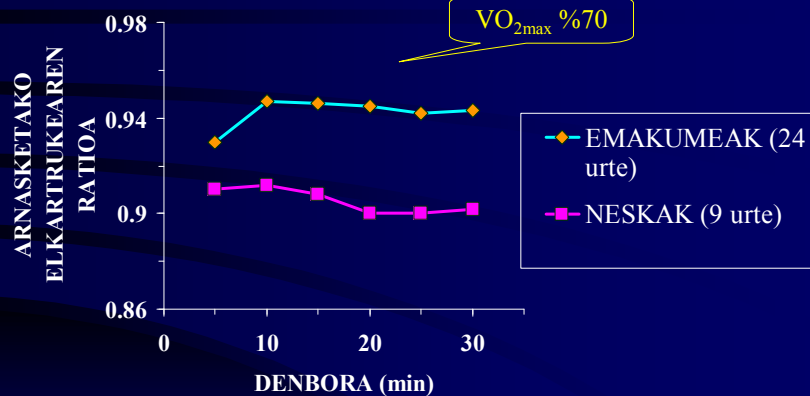
	Hypoxia Group		Control Group	
	Pre	Post	Pre	Post
VO _{2max} (L·min ⁻¹)	4.48 ± 0.6	4.59 ± 0.5	4.40 ± 0.5	4.39 ± 0.3
P _{max} (W)	331.5 ± 30.7	333.7 ± 29.7	317.1 ± 39.0	332.4 ± 29.9
V̇E _{max} (L·min ⁻¹)	133.3 ± 25.9	139.5 ± 29.5	137.6 ± 13.7	135.8 ± 15.0
RER _{max}	1.11 ± 0.05	1.12 ± 0.04	1.11 ± 0.07	1.13 ± 0.07
HR _{max} (bpm)	190.2 ± 9.0	189.4 ± 7.7	190.8 ± 6.2	191.7 ± 8.0
La _{max} (mM)	11.6 ± 1.9	11.8 ± 1.5	11.8 ± 3.5	12.1 ± 2.9
P _{4mmol} (W)	248.4 ± 50.1	252.4 ± 43.6	246.5 ± 44.8	251.9 ± 46.0
HR _{4mmol} (bpm)	171.4 ± 5.6	170.1 ± 7.6	172.9 ± 4.2	171.8 ± 6.2

Values are means ± SD. N = 10. Pre, pretest; post, posttest; VO_{2max}, maximal oxygen uptake; P_{max}, maximal power output during the cycle ergometer test; V̇E_{max}, maximal minute ventilation; RER_{max}, maximal respiratory exchange ratio; HR_{max}, maximal heart rate; La_{max}, maximal lactate concentration; P_{4mmol}, power output at the 4-mmol lactate threshold during the cycle ergometer test; HR_{4mmol}, heart rate at the 4-mmol lactate threshold during the cycle ergometer test.

Erregaien hautespena zuzentzen duten faktoreak

- Dieta
 - KHO-etan altua edo normala den dietak KHO-metabolismoa bultzatzen du.
 - Gantz asko eta proteina gutxiekin dietak gantz-metabolismoa bultzatzen du.
- Ariketaren intentsitatea.
 - Intentsitate baxuko ariketak gantza erregai moduan bereziki erabiltzen du.
 - Intentsitate altuko ariketak KHO-etan bereziki konfiatzen du.

Substratuaren erabilpena aurreko pubertaroan dauden neskeengan eta emakumeengan gorpildun zintan zehar



0,70: koipeen oxidazioa
 1,0: KHOen oxidazioa

(Martínez eta Haymes, 1992)

Indize metabolikoa

- Gorputzak bai atsedendian, bai ariketan zehar gastatzen duen energiaren proportzioa.
- Atsedendiko indize metabolikoa edo oinarriko metabolismoa funtzio fisiologiko beharrezkorako energia minimoa da.
- Eguneroko jarduera normalarako behar den energia minimoa 1.800tik 3.000ra kcal/24 orduko~ doa. Kaloria hauek aldatzen dira pertsonen arabera (1.200tik 2.400ra kcal/24orduko).



Energia-gastua atsedendian: oinarrizko metabolismoa (OM)

- Eguneko energia-gastua hiru faktoreren menpe dago:
 1. Atsedendiko metabolismoa: Oinarrizko baldintzak eta lotan + iratzarri-egoeraren kostu gehituta (%60-75).
 - ✓ Funtzio organikoen mantenimendua.
 - ✓ Gorputzaren homeostasia.
 - ✓ Nerbio sistema sinpatikoaren estimulazioa (katekolaminen askapena).
 - ✓ Gorputz-tenperaturaren mantenimendua.
 2. Hartutako jakiaren eragin termogenikoa (%10-15).
 - ✓ Janondoko bero-ekoizpena: digestioa, absortzioa eta nutrienteen metabolismoa.
 3. Energia-gastua jarduera fisikoan eta errekupeazioan zehar (%15-30).

Oinarrizko metabolismoa (OM)

- Baldintza estandarizatuak VO_2 neurtzeko:
 - Baraualdian, gutxienez 12 ordu (absortzio ondoko egoera).
 - Ariketa fisikorik ez, gutxienez neurketa egin baino 12 ordu lehenago.
 - 30-60 minutu etzanda gela lasai batean.

OM-an eragina duten faktoreak

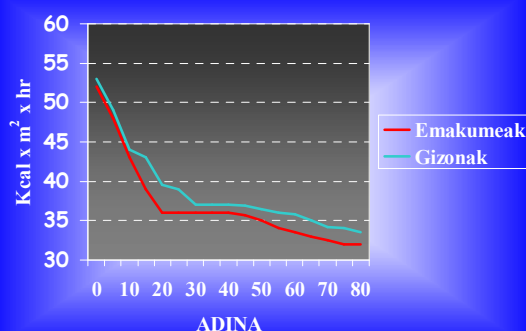
- Gorputz-azalera, adina, generoa, estresa, eta hormonak.
 - Zenbat eta handiagoa izan gorputz-gainazala, orduan eta OM altuagoa izango da.
 - Gizonak OM altuagoa dute.
 - Zenbat eta muskulu gehiago izan, orduan eta OM altuagoa izango da.
 - Estresak OM gehitzen du.
 - Tiroxinak VO_2 , zelula-arnasketa eta OM gehitzen du.
 - OM gradualki jaisten da adinarekin.

Gorputz-tamainaren eragina OM-an

- Pertsona bakoitzean, iratzarri-egoeran zehar, energia-behar minimo batzuek gorputz-funtzioak mantentzen dituzte.
- OM gorputz-tamainaren, sexuaren eta adinaren menpe izango da.

Emakumeen OM txikiagoa da gizonenarekin konparatuz

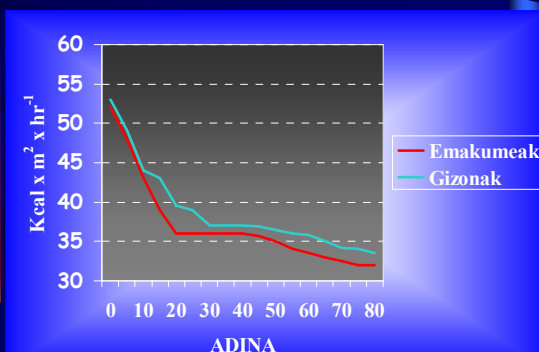
- Emakumeek gantza gehiago eta gihar-masa gutxiago (metabolismo txikiagoa).



Gorputz-tamainaren eragina OM-an

- Gizonen eta emakumeen batez besteko balioak.
- 20-40 urte tartean:
 - 38 kcal·m²·hr⁻¹ (gizonengan)
 - 36 kcal·m²·hr⁻¹ (emakumeengan)

- Atsedendaldiko metabolismoa estimatzeko (kcal · min⁻¹·m²):
 - ✓ OM balioa.
 - ✓ Gorputz-gainazaleko balioa.



Gorputz-gainazala (GG)

- Gorputz-tamainu ezberdina duten pertsonen arteko OM adierazteko **gorputz-gainazala** garrantzitsua da.
- GG gorputzeko kanpoko area da. Metro koadroetan adierazten da (m²).
- Kalkulatzeko (*The DuBois and DuBois formula*): garaiera (m) eta gorputz-masa (kg)

$$GG = 0,20247 \times \text{garaiera}^{0,725} \times \text{gorputz-masa}^{0,425}$$

ADIBIDEA:

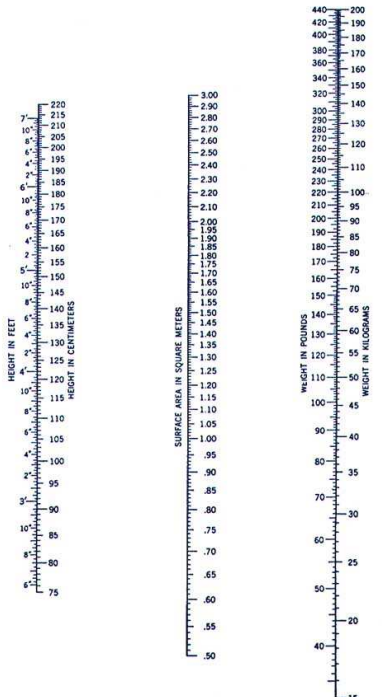
Gizona: 1,78 m, 75 kg

$$GG = 0,20247 \times 1,78^{0,725} \times 75^{0,425}$$

$$GG = 2,055 \text{ m}^2$$



Gorputz-gainazala



- **Nomograma:**
 - Garaiaren eta masaren artean zeharkatzen den puntua.
- **Interneteko web orriak:**
- [Superficie corporal](#)
- <http://www.semergen.es/semergen2/cda/documentos/calculadoras/ahcalc.htm>

Atsedendian energia-gastuaren kalkulua

- OM x Gorputz-gainazala (ordu batean)
- Bider 24 ordu (egunean jakiteko)
- **ADIBIDEA:** 55 urteko emakumea
 - OM = 34 kcal·m²·hr⁻¹
 - Gorputz-gainazala = 1,40 m²
 - Orduko energia-gastua = 34 x 1,40 = 47,6 kcal
 - Egunean: 47,6 x 24 = 1142 kcal



Energia-gastua: mugimenduaren ekonomia



- Mugimendu-ekonomian, jarduera zehatz bat egiteko, behar den energia-kantitatea garrantzitsua da (errendimenduaren kalitatea!!).
 - Goi mailako kirolariaren eta hasiberriaren arteko ezberdintasunak (energia-gastuaren alferria).
- VO_2 -k ekonomia isladatzen du.
 - Egoera egonkorrean, abiadura submaximo zehatz batekiko, mugimendu-ekonomia handiagoa duen kirolariak oxigeno gutxiago kontsumitzen du.

Kostu energetikoa (Cr)



- Di Prampero eta lank. (1993): Kostu energetikoa, atsedenaldiaren gainera beharrezko energia da, subjektuaren gorputza garraiatzeko distantzia zehatz batean.
- $Cr = (VO_2 - 0,083)/v$
 - 0,083: VO_2 -aren atsedenaldirako balioa.
- Unitateak: $mlO_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ edo $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ ($1 mlO_2 = 20,9 J$)
- Oxigeno-kostua = Kostu metabolikoa = Lasterketaren Kostu energetikoa = lasterketaren ekonomia (BALIOKIDEAK DIRA).
- Termino guztiek VO_2 egoera egonkorrean abiadura submaximo batean adierazten dute. Era onena jardueraren energia-beharrak adierazteko.



Kostu energetikoa korrikan (Cr)

	VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	Maratoi-denbora (hr:min:s)
Alberto Salazar	76,0	2:08:13
Grete Waitz	73,0	2:25:29
Cavin Woodward	74,2	2:19:50

- Goi errendimenduan, antzeko eta altuko VO_{2max} balioak ez dira iragarle errendimendu-marketarako.
- Goi mailako korrikariek ez dute ezberdintasun handirik aurkezten ezta VO_{2max}-etan, ezta %VO_{2max}-etan korrika egiteko. Beraz, non daude ezberdintasunak errendimendu ezberdinak gerta daitezzen?

Kostu energetikoa korrikan (Cr)

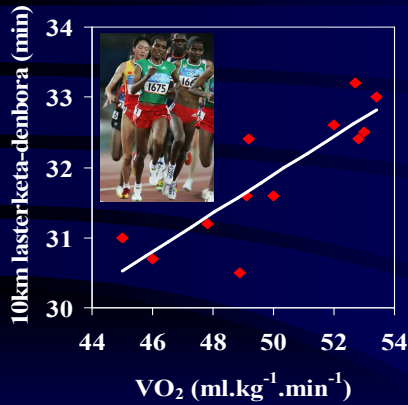
Non daude ezberdintasunak?



- Lasterketan zehar behar duten abiadura zehatz batekiko oxigenoan.
- Ezberdintasun hauek, oxigeno-erabilpenaren eraginkortasunean, faktore nagusietariko bat izan litezke lasterketa-errendimenduarekiko ezberdintasunak azaltzeko.
- Norengan? VO_{2max} balore berdinak dituzten kirolariengan.



Kostu energetikoa (Cr)

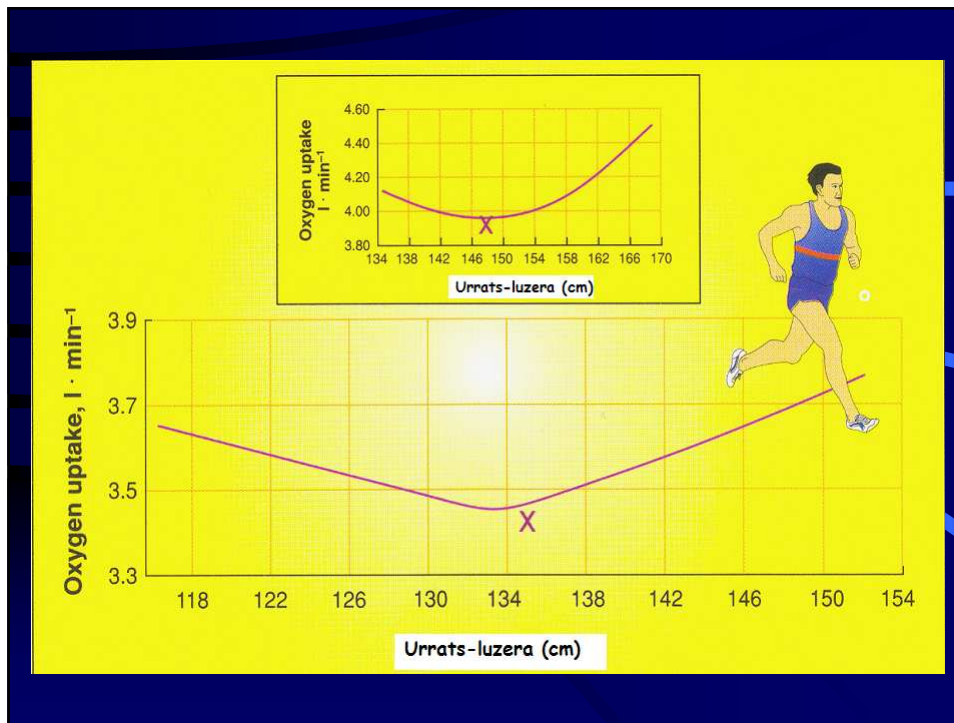


Conley eta Krahenbuhl (1980)

- Erresistentzia probetan lasterketa-ekonomiaren, (abiadura submaximo zehatz batekiko VO_2), eta errendimenduaren arteko korrelazio handia dago; batez ere VO_{2max} homogeneoak dauzkaten korrikalarien artean.
- Irudian: lasterketa-ekonomiak 10 km-ko errendimenduan emandako aldakuntzak justifikatzen ditu.
- Goi-errendimenduan, VO_{2max} altua izateaz gain, Cr baxua izatea derrigorrezkoa da.

Eraginkortasunean eragina duten faktoreak

- **Muskulu-zuntzak:** kirolariak zuntz motel gehiagorekin (mota I) ekonomikoagoak dira. Zuntz motelak eraginkorragoak dira zuntz azkarrekin konparatuz.
- **Urrats-luzerak** eragin handia du lasterketa-ekonomian.
 - Eraginkortasun handiagoa urrats-luzera norberaren hautatua denean, hau da, VO_2 gutxiago dago.
 - Badago luzera eta maiztasunaren arteko konbinazio hobereana.
- **Umeeak** helduek baino eraginkortasun gutxiago dute:
 - Oinarrizko-metabolismoa altuagoa.
 - Lasterketa-teknika ez dago finkatuta.
 - Gaitasun anaerobikoa garatu gabe.



Eraginkortasunean eragina duten faktoreak (2)

- **Oinetakoak:** Energia gehiago behar da oinetan gehitutako pisua eramateko, bularrean baino.
 - Oinetako bakoitzean 100g gehiago eramateak VO₂-aren %1 gehikuntza dago, neurrizko lasterketan.
 - Oinetakoaren indargetzeak ere mugimendu-ekonomian eragina du: zola bigunak oxigeno-kostua murrizten du.
- Kirolariaren **pisua:** gorputz-gantzaren portzentajeen gehikuntzak energia-beharrak gehitzen ditu.
- **Aire erresistentzia.**